



(10) **DE 10 2016 104 760 A1** 2017.06.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 104 760.0**

(22) Anmeldetag: **15.03.2016**

(43) Offenlegungstag: **22.06.2017**

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

G01L 9/10 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2015 122 544.1 22.12.2015

(71) Anmelder:

**Endress + Hauser GmbH + Co. KG, 79689
Maulburg, DE**

(74) Vertreter:

**Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79576 Weil
am Rhein, DE**

(72) Erfinder:

**Ponath, Nils, 79539 Lörrach, DE; Uehlin, Thomas,
79650 Schopfheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2009 027 132 A1

DE 10 2013 114 734 A1

DE 11 2013 004 052 T5

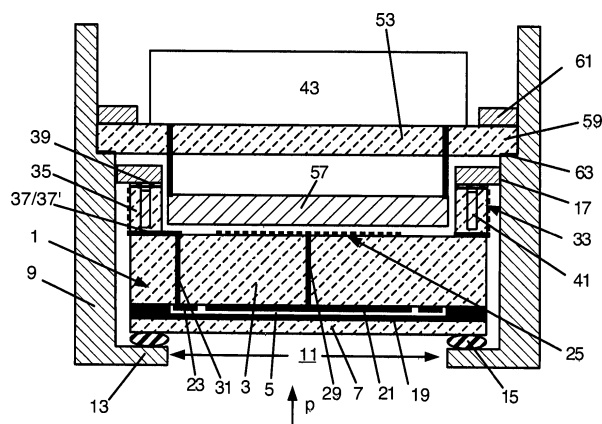
WO 2003/ 106 952 A2

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 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 kapazitiven 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) verformbaren Messmembran (7), der eine auf der Messmembran (7) angeordnete Membranelektrode (19, 19a) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Messelektrode (21) umfassenden Messkondensator (C_P) mit einer von der druckabhängigen Verformung der Messmembran (7) abhängigen Kapazität aufweist, und einen eine auf der Messmembran (7) angeordnete Membranelektrode (19, 19b) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Referenzelektrode (23) umfassenden Referenzkondensator (C_R) aufweist, beschrieben, die sich dadurch auszeichnet, dass ein erster induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Messkondensator (C_P) und eine daran angeschlossene Sensorinduktivität (L_P) umfasst, und ein zweiter induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Referenzkondensator (C_R) und eine daran angeschlossene Referenzinduktivität (L_R) umfasst.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Druckmesseinrichtung mit einem kapazitiven Drucksensor mit einem Grundkörper und einer unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordneten, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbaren Messmembran, der einen eine auf der Messmembran angeordnete Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Messelektrode umfassenden Messkondensator mit einer von der druckabhängigen Verformung der Messmembran abhängigen Kapazität aufweist, und einen eine auf der Messmembran angeordnete Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Referenzelektrode umfassenden Referenzkondensator aufweist.

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

[0003] In Druckmesseinrichtungen können z.B. als Halbleiter-Chips ausgebildete kapazitive mikro-elektromechanische Drucksensoren eingesetzt werden, wie sie z.B. in der WO 03/106952 A2 beschrieben sind.

[0004] Die in der WO 03/106952 A2 beschriebenen kapazitiven 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 Grundkörper angeordneten, starren Gegenelektrode einen Messkondensator bildet, dessen Kapazität sich in Abhängigkeit von einer druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran verändert. Der Grundkörper 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 mikro-elektromechanische 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 in der Regel nicht unmittelbar einem unter dem zu messenden Druck stehenden Medium aus-

gesetzt werden. Stattdessen wird der zu messende Druck der Messmembran über vorgeschaltete mit einer Druck übertragenden Flüssigkeit gefüllte Druckmittler zugeführt.

[0006] Dementsprechend weisen diese Messeinrichtungen 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, bei denen die 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 mit einem unter dem zu messenden Druck stehenden Medium beaufschlagt werden kann.

[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 Ebene der 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 kann ein temperaturabhängiger Messfehler eines kapazitiven keramischen Drucksensors auf die in der DE 10 2009 027 742 A1 und der DE 10 2013 106 045 A1 erwähnte Weise reduziert werden. Hierzu umfasst der Drucksensor

- einen Grundkörper und eine unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbare Messmembran,
- einen eine auf der Messmembran angeordnete Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Messelektrode umfassenden Messkondensator, und
- einen die Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Referenzelektrode umfassenden Referenzkondensator.

[0010] Dabei sind die beiden Kondensatoren vorzugsweise derart bemessen, dass die Kapazität des Messkondensators gleich der Kapazität des Referenzkondensators ist, wenn sich die Messmembran in deren Ruhelage befindet. Da die druckabhängig Verformung im Zentralbereich der Messmembran größer ist im Randbereich der Messmembran ist, ist die Kapazität des Messkondensators in deutlich stärkerem Maße vom zu messenden Druck abhängig als die Kapazität des Referenzkondensators. Bei diesen Drucksensoren werden die Kapazitäten der beiden Kondensatoren gemessen und der zu messende Druck anhand der beiden Kapazitäten bestimmt.

[0011] Bei keramischen Drucksensoren mit Mess- und Referenzkondensatoren besteht das Problem, dass die Kapazitätsmessungen aufgrund der Störfempfindlichkeit unverstärkter Kapazitätsmesssignale regelmäßig eine vorzugsweise in unmittelbarer Nähe der Kondensatoren angeordnete Vorortelektronik benötigen, die regelmäßig über durch Lötungen zu verbindende Anschlüsse oder Anschlussleitungen an die Kondensatoren angeschlossen werden muss. Der Temperaturbereich, indem Lötungen zuverlässige elektrische und mechanische Verbindungen bewirken ist abhängig von der Schmelztemperatur des verwendeten Lots und somit regelmäßig deutlich geringer, als der Temperaturbereich, in dem kapazitive keramische Drucksensoren ansonsten ohne weiteres eingesetzt werden könnten.

[0012] Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine Druckmesseinrichtung mit einem kapazitiven, keramischen Drucksensor anzugeben, die in einem großen Temperaturbereich einsetzbar ist.

[0013] Hierzu umfasst die Erfindung eine Druckmesseinrichtung, mit

- einem kapazitiven Drucksensor mit einem Grundkörper und einer unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordneten, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbaren Messmembran, der
- einen eine auf der Messmembran angeordnete Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Messelektrode umfassenden Mess-

- kondensator mit einer von der druckabhängigen Verformung der Messmembran abhängigen Kapazität aufweist, und
- einen eine auf der Messmembran angeordnete Membranelektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Referenzelektrode umfassenden Referenzkondensator aufweist, der sich dadurch auszeichnet, dass
- ein erster induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Messkondensator und eine daran angeschlossene Sensorinduktivität umfasst, und
- ein zweiter induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Referenzkondensator und eine daran angeschlossene Referenzinduktivität umfasst.

[0014] Eine erste Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- der erste Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Messkondensators und der Sensorinduktivität abhängige Resonanzfrequenz aufweist,
- der zweite Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Referenzkondensators und der Referenzinduktivität abhängige Resonanzfrequenz aufweist, und
- die Resonanzfrequenzen der beiden Schwingkreise verschieden sind.

[0015] Eine bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass die Kapazität des Messkondensators im Wesentlichen gleich der Kapazität des Referenzkondensators ist, wenn sich die Messmembran in deren Ausgangslage befindet.

[0016] Eine zweite Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensorinduktivität und die Referenzinduktivität verschiedene Induktivitäten aufweisen.

[0017] Eine dritte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensorinduktivität eine auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, Planarspule umfasst.

[0018] Eine vierte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Referenzinduktivität eine auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, Planarspule umfasst, oder
- die Referenzinduktivität eine dreidimensionale Spule, insb. eine auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran abgewandten Rück-

seite des Grundkörpers angeordneten Isolators aufgebracht, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebracht, dreidimensionale Spule, umfasst.

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

- die Referenzinduktivität eine auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers angeordneten Isolators aufgebracht, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebracht, dreidimensionale Spule umfasst, und
- der Isolator mit einem Element, insb. einem Ferrit-Ring, aus einem Material mit hoher Permeabilität ausgestattet ist.

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

- die Referenzinduktivität eine auf eine Mantelfläche eines auf einem äußeren Rand der von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers angeordneten Isolators aufgebracht dreidimensionale Spule umfasst, und
- die dreidimensionale Spule über eine auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers aufgebracht, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebracht, elektrisch leitfähige Beschichtung, die in elektrisch leitendem Kontakt zu einem durch den Grundkörper zur Referenzelektrode verlaufenden Kontaktstift steht, und eine auf eine dem Grundkörper zugewandte Stirnseite des Isolators aufgebracht, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebracht elektrisch leitfähige Beschichtung in elektrisch leitendem Kontakt zur Referenzelektrode steht.

[0021] Eine weitere Weiterbildung der erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung oder der Druckmesseinrichtung gemäß der letztgenannten Weiterbildung sieht vor, dass

- der Drucksensor mittels einer Einspannvorrichtung in einem Gehäuse eingespannt ist,
- wobei die Einspannvorrichtung insb. derart ausgebildet ist, dass sie eine Einspannung, insb. eine 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 Referenzinduktivität ausgestatteten Isolators, bewirkt.

[0022] Eine siebte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Membranelektroden von Messkondensator und Referenzkondensator voneinander getrennte Elektroden sind, oder
- die Membranelektroden von Messkondensator und Referenzkondensator durch eine beiden Kondensatoren gemeinsame Membranelektrode gebildet sind.

[0023] Eine achte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass eine induktiv an die Schwingkreise angekoppelte Messeinheit vorgesehen ist, die derart ausgebildet, dass sie die Schwingkreise induktiv in Schwingungen versetzt und über eine induktive Kopplung zum ersten Schwingkreis von der Kapazität des Messkondensators und über eine induktive Kopplung zum zweiten Schwingkreis von der Kapazität des Referenzkondensators abhängige Messgrößen bestimmt, anhand derer sie die Kapazitäten von Messkondensator und Referenzkondensator bestimmt.

[0024] Eine neunte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass eine Messeinheit vorgesehen ist, die zwei Messeinrichtungen umfasst,

- von denen eine eine induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte Messinduktivität, insb. eine auf einer der von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers zugewandten Stirnseite eines Trägers aus einem Isolator aufgebracht Planarspule, umfasst,
- von denen die andere eine induktiv an die Referenzinduktivität gekoppelte Messinduktivität, insb. eine auf einer der von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers zugewandten Stirnseite eines Trägers aus einem Isolator aufgebracht Planarspule, umfasst,
- die jeweils eine Erregereinrichtung umfassen, die eine Wechsellspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die an einem ersten Anschluss der Messinduktivität der jeweiligen Messeinrichtung anliegt, und
- die jeweils eine an die Messinduktivität der jeweiligen Messeinrichtung angeschlossene Messelektronik umfassen, die anhand des dabei über die jeweilige Messinduktivität fließenden Messsignals mindestens eine von der Kapazität des Messkondensators und/oder der Kapazität des Referenzkondensators abhängige Messgröße bestimmt.

[0025] Eine Weiterbildung der letztgenannten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Schwingkreise im Wesentlichen entkoppelte Schwingkreise sind,
- die Messelektronik der die induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte Messinduktivität umfassenden Messeinrichtung derart ausgebildet ist, dass sie eine von der Kapazität des Messkondensators abhängige Frequenz bestimmt, bei der eine Gesamtimpedanz einer durch diese Messin-

duktivität und den daran gekoppelten den Messkondensator umfassenden Schwingkreis gebildeten Einheit ein Maximum aufweist, und

- die Messelektronik der die induktiv an die Referenzinduktivität gekoppelte Messinduktivität umfassenden Messeinrichtung derart ausgebildet ist, dass sie eine von der Kapazität des Referenzkondensators abhängige Frequenz bestimmt, bei der die Gesamtimpedanz eines durch diese Messinduktivität und den daran gekoppelten den Referenzkondensator umfassenden Schwingkreis gebildeten Einheit ein Maximum aufweist.

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

- die Schwingkreise induktiv und/oder kapazitiv gekoppelte Schwingkreise sind,
- eine Messeinrichtung vorgesehen ist,
- die eine induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte Messinduktivität, eine induktiv an die Referenzinduktivität gekoppelte Messinduktivität oder eine sowohl induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte als auch induktiv an die Referenzinduktivität gekoppelte Messinduktivität, insb. eine dreidimensionale Messspule, insb. eine Luftspule, oder zwei in Serie geschaltete Messspulen, insb. zwei über eine Leitung verbundene auf einer von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers zugewandten Stirnseite eines Trägers aus einem Isolator aufgebraute Planarspulen, umfasst,
- die eine Erregereinrichtung umfasst, die eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die an einem ersten Anschluss der Messinduktivität anliegt, und
- die eine an die Messinduktivität angeschlossene Messelektronik umfasst, die derart ausgebildet ist, dass sie
- zwei verschiedene, auf unterschiedliche Weise von der Kapazität des Messkondensators und der Kapazität des Referenzkondensators abhängige Frequenzen bestimmt, bei denen eine Gesamtimpedanz einer durch die Messinduktivität und die beiden daran gekoppelten Schwingkreise gebildete Einheit jeweils ein Maximum aufweist, und
- anhand der beiden Frequenzen die Kapazität des Messkondensator und die Kapazität des Referenzkondensators bestimmt.

[0027] 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.

[0028] Eine weitere Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- Messkondensator und Referenzkondensator eine beiden Kondensatoren gemeinsame Membranelektrode umfassen, und
- eine räumlich zwischen Messelektrode und Referenzelektrode angeordnete Trennelektrode vorgesehen ist, die elektrisch auf dem Potential der Membranelektrode liegt.

[0029] Die Erfindung bietet den Vorteil, dass die beiden Kapazitäten mittels einer induktiv an die Schwingkreise angekoppelten Messeinheit bestimmt werden können. Induktive Kopplungen erfolgen drahtlos. Dementsprechend werden zur Messung der Kapazitäten keine Lötungen erfordernde, leitungsgebundene Anschlüsse der Kondensatoren an die Messeinheit benötigt. Die Druckmesseinrichtungen können somit in einem deutlich größeren Temperaturbereich eingesetzt werden.

[0030] Darüber hinaus bietet die Erfindung aufgrund der induktiven Messgrößenerfassung den Vorteil, dass die Messeinheit bei Bedarf ausgetauscht werden kann, ohne dass der Drucksensor hierzu aus seiner Einspannung gelöst werden muss. Da sich die Einspannverhältnisse des Drucksensors beim Austausch der Messeinheit 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 Druck von den beiden Kapazitäten erforderlich ist.

[0031] 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.

[0032] Fig. 1 zeigt: eine Druckmesseinrichtung mit einem Drucksensor mit zwei Planarspulen;

[0033] Fig. 2 zeigt: eine Druckmesseinrichtung mit einem Drucksensor mit einer Planarspule und einem mit einer dreidimensionalen Spule ausgestatteten Isolator;

[0034] Fig. 3 zeigt: eine Draufsicht auf eine vom der Messmembran abgewandte Rückseite des Drucksensors von Fig. 1;

[0035] Fig. 4 zeigt: eine Draufsicht auf eine vom der Messmembran abgewandte Rückseite des Drucksensors von Fig. 2;

[0036] Fig. 5 zeigt: eine elektrisches Ersatzschaltbild der Druckmesseinrichtung von Fig. 1;

[0037] Fig. 6 zeigt: eine elektrisches Ersatzschaltbild der Druckmesseinrichtung von Fig. 2;

[0038] Fig. 7 zeigt: einen mit einer Trennelektrode ausgestatteten Drucksensor;

[0039] Fig. 8 zeigt: eine der Messmembran zugewandte Stirnseite des Grundkörpers des Drucksensors von Fig. 7; und

[0040] Fig. 9 zeigt: eine dem Grundkörper zugewandte Innenseite der Messmembran des Drucksensors von Fig. 7.

[0041] Um Komponenten sehr unterschiedlicher Baugröße darstellen zu können, wurde in allen Figuren eine nicht maßstabgetreue Darstellung gewählt.

[0042] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen jeweils ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Druckmess-einrichtung. Die Druckmess-einrichtungen umfassen jeweils einen kapazitiven Drucksensor **1** mit einem Grundkörper **3** und einer unter Einschluss einer Druckkammer **5** auf dem Grundkörper **3** angeordneten Messmembran **7**. Die Drucksensoren **1** sind vorzugsweise keramische Drucksensoren, deren Messmembran **7** aus einer Keramik, z.B. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht. Vorzugsweise bestehen auch die Grundkörper **3** aus Keramik, z.B. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3). Die Messmembranen **7** der Drucksensoren **1** werden im Messbetrieb mit einem zu messenden Druck p beaufschlagt, der eine vom zu messenden Druck p abhängige Verformung der jeweiligen Messmembran **7** bewirkt.

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

[0044] Die Drucksensoren **1** sind z.B. mittels einer Einspannvorrichtung in einem Gehäuse **9** eingespannt, das eine Öffnung **11** aufweist, über die eine Außenseite der Messmembran **7** mit dem zu messenden Druck p beaufschlagbar ist. Die Einspannvorrichtung 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** außenseitlich 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 die Drucksensoren **1** erfindungsgemäßer Druckmess-einrichtungen natürlich auch auf andere Weise als mittels der hier beschriebenen Einspannvor-

richtung an einem Einsatzort montiert und mit einem zu messenden Druck p beaufschlagt werden.

[0045] Die Drucksensoren **1** umfassen jeweils einen Messkondensator C_p und einen Referenzkondensator C_R . Der Messkondensator C_p umfasst eine auf der Messmembran **7** angeordnete Membranelektrode **19**, **19a** und eine auf der der Messmembran **7** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** angeordnete Messelektrode **21**. Der Referenzkondensator C_R umfasst eine auf der Messmembran **7** angeordnete Membranelektrode **19**, **19b** und eine auf der der Messmembran **7** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** angeordnete Referenzelektrode **23**.

[0046] Die Messelektrode **21** ist vorzugsweise derart bemessen, dass sie einen der Mitte der Messmembran **7** gegenüberliegenden Bereich der Innenseite des Grundkörpers **3** überdeckt. Hierzu kann sie beispielsweise kreisscheibenförmig sein. Die Referenzelektrode **23** ist vorzugsweise derart bemessen, dass sie einen einem äußeren Rand der Messmembran **7** gegenüberliegenden Bereich der Innenseite des Grundkörpers **3** überdeckt und von der Messelektrode **21** beabstandet ist. Hierzu kann sie beispielsweise als kreisringscheibenförmige Elektrode ausgebildet sein, die die Messelektrode **21** außenseitlich allseitig umgibt.

[0047] Die Membranelektroden **19a**, **19b** von Messkondensator C_p und Referenzkondensator C_R können als zwei voneinander getrennte Elektroden ausgebildet sein. In dem Fall weist die Membranelektrode **19a** des Messkondensator C_p vorzugsweise die gleiche Form auf, wie die ihr gegenüber liegende Messelektrode **21** und die Membranelektrode **19b** des Referenzkondensators C_R weist vorzugsweise die gleiche Form auf, wie die ihr gegenüber liegende Referenzelektrode **23**. Diese Ausführungsform ist in Fig. 1 dargestellt.

[0048] Alternativ kann eine einzige, beiden Kondensatoren gemeinsame Membranelektrode **19** vorgesehen werden, die einen an die Druckkammer **5** angrenzenden Bereich der Innenseite der Messmembran **7** vollständig überdeckt. Diese Variante ist in Fig. 2 dargestellt.

[0049] Erfindungsgemäße Druckmess-einrichtungen zeichnen sich dadurch aus, sie einen ersten und einen zweiten induktiv zu Schwingungen anregbaren elektrischen Schwingkreis umfassen. Der erste Schwingkreis umfasst den Messkondensator C_p und eine daran angeschlossene Sensorinduktivität L_p . Der zweite Schwingkreis umfasst den Referenzkondensator C_R und eine daran angeschlossene Referenzinduktivität L_R .

[0050] Die Sensorinduktivität L_p und/oder die Referenzinduktivität L_R können jeweils eine auf eine

von der Messmembran **7** abgewandte Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebrachte Planarspule **25**, **27** umfassen. Bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel sind beide Induktivitäten als Planarspulen **25**, **27** ausgebildet. **Fig. 3** zeigt hierzu eine Draufsicht auf die Rückseite des Grundkörpers **3**. Bei dieser Variante ist die Sensorinduktivität L_P vorzugsweise auf einem zentralen Bereich der Rückseite des Grundkörpers **3** vorgesehen und außenseitlich von der auf einem äußeren Rand der Rückseite des Grundkörpers **3** vorgesehenen, die Sensorinduktivität L_R bildenden Planarspule **27** beabstandet.

[0051] Die Planarspulen **25**, **27** sind vorzugsweise elektrisch leitfähige Beschichtungen, wie z.B. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern, auf die Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebrachte Beschichtungen. Der elektrische Anschluss der Planarspulen **25**, **27** erfolgt vorzugsweise jeweils über einen elektrisch leitfähigen, durch den Grundkörper **3** hindurch zur Messelektrode **21** bzw. zur Referenzelektrode **23** verlaufenden Kontaktstift **29**, **31**. Dabei können zur Herstellung der Elektroden der beiden Kondensatoren und der beiden Planarspulen **25**, **27** die gleichen Werkstoffe und die gleichen Beschichtungsverfahren eingesetzt werden. Durch physikalische Gasphasenabscheidungen aufgebrachte Beschichtungen bieten den Vorteil, dass sie beim Aufbringen unmittelbar eine in hohem Maße temperaturbeständige, elektrisch leitfähige Verbindung zu den Kontaktstiften **29**, **31** eingehen.

[0052] Bei dem in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Sensorinduktivität L_P eine von der Messmembran **7** abgewandte Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebrachte Planarspule **25** und die Referenzinduktivität L_R umfasst eine dreidimensionale Spule **33**. Bei dieser Variante weist die dreidimensionale Spule **33** vorzugsweise eine Längsachse auf, die senkrecht zur Ebene der die Sensorinduktivität L_R bildenden Planarspule **25** verläuft. Auch bei dieser Variante ist die Sensorinduktivität L_P vorzugsweise auf einem zentralen Bereich der Rückseite des Grundkörpers **3** vorgesehen. **Fig. 4** zeigt hierzu eine Draufsicht auf die Rückseite des Grundkörpers **3** des Drucksensors **1** von **Fig. 2**. Demgegenüber ist die die Referenzinduktivität L_R bildende dreidimensionale Spule **33** vorzugsweise auf einer äußeren Mantelfläche eines auf der Rückseite des Grundkörpers **3** angeordneten Isolators **35** vorgesehen. Dabei erfolgt der Anschluss der dreidimensionalen Spule **33** vorzugsweise über eine auf die Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebrachte elektrisch leitfähige Beschichtung **37**, die in elektrisch leitendem Kontakt zu dem durch den Grundkörper **3** zur Referenzelektrode **23** verlaufenden Kontaktstift **31** steht, und eine auf eine dem Grundkörper **3** zugewandte Stirnseite des Isolators **35** aufgebrachte Beschichtung **37'**. Auch hier bestehen die dreidimensionale Spule **33** und die Beschichtungen **37**, **37'** vorzugsweise aus dem Material

der Elektroden der Kondensatoren und werden vorzugsweise durch physikalische Gasphasenabscheidung aufgebracht.

[0053] Der Isolator **35** 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 **35** vorzugsweise als auf einem äußeren Rand des Grundkörpers **3** angeordneter Ring ausgebildet, der mittels der Einspannvorrichtung in axialer, also parallel zur Flächennormalen auf die Messmembran **7** verlaufender Richtung, gegen den äußeren Rand der Rückseite des Grundkörpers **3** gespannt ist. Dabei kann die durch den Isolator **35** bewirkte Reduktion von in radiale Richtung wirkenden thermomechanischen Spannungen zusätzlich durch eine zwischen dem Isolator **35** und dem Druckring **17** angeordnete Folie **39**, z.B. eine Flachdichtung aus Polytetrafluorethylen (PTFE), erhöht werden.

[0054] In seiner Funktion als Entkopplungsring ist der Isolator **35** vorzugsweise als separates Bauteil ausgebildet, das auf dem äußeren Rand des Grundkörpers **3** aufliegt. Dabei wird die elektrisch leitfähige Verbindung zwischen der Referenzinduktivität L_R und dem Referenzkondensator C_R über den von der Einspannvorrichtung auf die aufeinander aufliegenden Beschichtungen **37**, **37'** ausgeübten Einspanndruck sichergestellt.

[0055] Der Entkopplungsring besteht vorzugsweise aus dem Material des Grundkörpers **3** und kann natürlich – in dem Fall ohne dreidimensionale Spule **33** – auch bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel eingesetzt werden.

[0056] Die Sensorinduktivität L_P und die Referenzinduktivität L_R weisen jeweils eine im Wesentlichen konstante Induktivität auf. Dementsprechend weist der erste Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Messkondensators C_P und der Sensorinduktivität L_P abhängige Resonanzfrequenz $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$ auf. Genauso weist der zweite Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Referenzkondensators C_R und der Referenzinduktivität L_R abhängige Resonanzfrequenz $\omega_{\text{res}}(C_R, L_P)$ auf. Die Schwingungseigenschaften der beiden Schwingkreise werden somit maßgeblich durch die jeweils darin enthaltene Kapazität bestimmt.

[0057] Sofern dies im Hinblick auf die Schwingungseigenschaften der Schwingkreise gewünscht ist, kann der Isolator **35** mit einem Element **41** aus einem Material mit hoher magnetischer Permeabilität ausgestattet werden. Das Element **41** bewirkt eine Reduktion der Resonanzfrequenz des zugehörigen Schwingkreises. Darüber hinaus kann es gezielt dazu eingesetzt werden einen Frequenzabstand zwischen

den Resonanzfrequenzen der beiden Schwingkreise zu vergrößern. Als Element **41** eignet sich insb. ein in den Isolator **35** eingesetzter Ferrit-Ring.

[0058] Erfindungsgemäße Druckmesseinrichtungen weisen den Vorteil auf, dass die Kapazitäten von Messkondensator C_p und Referenzkondensator C_R mittels einer induktiv an die Schwingkreise angekoppelten Messeinheit bestimmt werden können. Die Messeinheit ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie die Schwingkreise induktiv in Schwingungen versetzt und über eine induktive Kopplung zum ersten Schwingkreis von der Kapazität des Messkondensators C_p und über eine induktive Kopplung zum zweiten Schwingkreis von der Kapazität des Referenzkondensators C_R abhängige Messgrößen bestimmt, anhand derer sie dann die Kapazitäten von Messkondensator C_p und Referenzkondensator C_R bestimmt.

[0059] Im Unterschied zu herkömmlichen Druckmesseinrichtungen mit keramischen Drucksensoren sind hierzu keine über Lötungen an die Messelektrode **21** und die Referenzelektrode **23** anzuschließenden Leitungen erforderlich. Entsprechend können erfindungsgemäße Druckmesseinrichtungen in einem deutlich größeren Temperaturbereich eingesetzt werden.

[0060] Sofern die beiden Schwingkreise untereinander in ausreichendem Maße entkoppelt sind, können sie als getrennte Schwingkreise betrachtet werden. In dem Fall kann die Messeinheit für jeden Schwingkreis eine separate Messeinrichtung **43** umfassen, von denen eine in der Nähe der Sensorinduktivität L_P und die andere eine in der Nähe der Referenzinduktivität L_R angeordnete Messinduktivität L_{S1} , L_{S2} umfasst. Dabei ist der Abstand zwischen der Sensorinduktivität L_P und der einen Messinduktivität L_{S1} derart bemessen, dass zwischen diesen beiden Induktivitäten eine induktive Kopplung besteht. Analog ist der Abstand zwischen der Referenzinduktivität L_R und der anderen Messinduktivität L_{S2} derart bemessen, dass auch zwischen diesen beiden Induktivitäten eine induktive Kopplung besteht. **Fig. 5** zeigt ein Ausführungsbeispiel einer mit zwei Messeinrichtungen **43** ausgestatteten Messeinheit zusammen mit einem Ersatzschaltbild der über die jeweilige Messinduktivität L_{S1} , L_{S2} an die jeweilige Messeinrichtung **43** gekoppelten Schwingkreise des in **Fig. 1** dargestellten Drucksensors **1**.

[0061] Dabei können die Messinduktivitäten L_{S1} , L_{S2} z.B. als Planarspulen **49**, **51** ausgebildet sein, die auf eine der Rückseite des Grundkörpers **3** zugewandte Stirnseite eines in das Gehäuse **9** eingesetzten Trägers **53** aus einem Isolators aufgebracht sind. In dem Fall weisen die Planarspulen **49**, **51** vorzugsweise eine Formgebung und eine Anordnung auf, die der in **Fig. 3** dargestellten Formgebung und Anordnung

von Sensorinduktivität **25** und Referenzinduktivität **27** entspricht.

[0062] Planarspulen weisen den Vorteil auf, dass das sie umgebende elektromagnetisches Feld räumlich vergleichsweise eng begrenzt ist. Entsprechend wird über die Ausbildung der Messinduktivitäten L_{S1} , L_{S2} , der Sensorinduktivität L_P und der Referenzinduktivität L_R als Planarspulen **25**, **27**, **49** und **51** eine über die Spulen bewirkte induktive Kopplung der Schwingkreise untereinander weitgehend vermieden.

[0063] Zur Messung der beiden Kapazitäten können z.B. Messeinrichtungen **43** eingesetzt werden, die jeweils eine Erregereinrichtung **45** umfassen, die eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die über einen Vorwiderstand R an einem ersten Anschluss der zugehörigen Messinduktivität L_{S1} , L_{S2} anliegt. Als Wechselspannungsquelle eignet sich z.B. ein über einen Sägezahn-generator gesteuerter spannungsgesteuerter Oszillator. Darüber hinaus umfassen die Messeinrichtungen **43** jeweils eine an deren Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} angeschlossene Messelektronik **47**, die anhand des dabei über dessen Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} fließenden Messsignals eine von der Kapazität des an dessen Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} angekoppelten Schwingkreises enthaltenen Kondensators abhängige Messgröße bestimmt.

[0064] Eine solche Messgröße ist z.B. die Frequenz, bei der die Gesamtimpedanz $Z^1_{ges}(\omega)$, $Z^2_{ges}(\omega)$ der durch die jeweilige Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} und den unmittelbar daran gekoppelten Schwingkreis gebildeten Einheit ein von der zu messenden Kapazität des unmittelbar daran gekoppelten Schwingkreises abhängiges Maximum aufweist. Die Gesamtimpedanz $Z^1_{ges}(\omega)$, $Z^2_{ges}(\omega)$ kann z.B. anhand des Spannungsabfalls $U(Z^1_{ges}(\omega))$, $U(Z^2_{ges}(\omega))$ des über die jeweilige Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} fließenden Messsignals bestimmt werden.

[0065] Bei herkömmlichen Druckmesseinrichtungen mit kapazitiven keramischen Drucksensoren hängt die Messgenauigkeit entscheidend davon ab, die sehr kleinen, typischer Weise im Bereich von Femtofarad liegenden Kapazitäten von Mess- und Referenzkondensator C_p , C_R möglichst genau zu messen. Demgegenüber findet bei den erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtungen über die induktive Kopplung eine Transformation in den Frequenzraum statt, die es ermöglicht Frequenzänderungen anstelle von sehr kleinen Kapazitäten zu messen.

[0066] Besteht zwischen den beiden Schwingkreisen eine induktive und/oder eine kapazitive Kopplung, so können die Kapazitäten von Messkondensator C_p und Referenzkondensator C_R nicht mehr unabhängig voneinander ausgelesen werden. Eine kapazitive Kopplung ist bei dem in **Fig. 2** dargestellten

Ausführungsbeispiel über die dem Messkondensator C_P und dem Referenzkondensator C_R gemeinsame Membranelektrode **19** gegeben. Darüber hinaus kann je nach Ausgestaltung von Sensorinduktivität L_P und die Referenzinduktivität L_R zusätzlich auch eine induktive Kopplung zwischen den beiden Schwingkreisen bestehen.

[0067] Sofern die Schwingkreise gekoppelte Schwingkreise sind, werden sie erfindungsgemäß derart ausgebildet, dass der erste Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Messkondensators C_P und der Sensorinduktivität L_P abhängige Resonanzfrequenz $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$ aufweist, der zweite Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Referenzkondensators C_R und der Referenzinduktivität L_R abhängige Resonanzfrequenz $\omega_{\text{res}}(C_R, L_P)$ aufweist, und die Resonanzfrequenzen $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$, $\omega_{\text{res}}(C_R, L_P)$ der beiden Schwingkreise verschieden sind. Hierzu werden die Schwingkreise vorzugsweise derart ausgebildet, dass das Produkt der Kapazität des Messkondensators C_P und der Induktivität der Sensorinduktivität L_P von dem Produkt der Kapazität des Referenzkondensators C_R und der Induktivität der Referenzinduktivität L_R verschieden ist.

[0068] Über die verschiedenen Resonanzfrequenzen $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$, $\omega_{\text{res}}(C_R, L_P)$ der Schwingkreise wird erreicht, dass die Gesamtimpedanz $Z_{\text{ges}}(\omega)$ einer durch eine Messinduktivität und die beiden daran gekoppelten Schwingkreise gebildeten Einheit zwei Maxima aufweist, die bei unterschiedlichen Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$ auftreten. Über die beiden Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$, stehen somit zwei in unterschiedlicher Weise von der Kapazität des Messkondensators C_P und der Kapazität des Referenzkondensators C_R abhängige Messgrößen zur Verfügung, anhand derer dann die beiden Kapazitäten bestimmt werden können. Hierzu werden die Abhängigkeiten der Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$ von den beiden Kapazitäten vorzugsweise vorab in einem Kalibrationsverfahren bestimmt und z.B. in Form von Kennlinien o.ä., in der Messeinheit hinterlegt.

[0069] Zur Bestimmung der Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$ kann z.B. die in **Fig. 5** dargestellte Messeinheit verwendet werden. In dem Fall können die beiden Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$, anhand derer die Kapazität des Messkondensators C_P und die Kapazität des Referenzkondensators C_R bestimmt werden, mit jeder der beiden Messelektroniken **47** bestimmt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Abhängigkeiten der Frequenzen $\omega_{\text{res}1}$, $\omega_{\text{res}2}$ von den beiden Kapazitäten aufgrund der unterschiedlichen Messinduktivitäten L_{S1} , L_{S2} der beiden Messeinrichtungen **43** verschieden sein können.

[0070] Alternativ kann eine Messeinheit eingesetzt werden, die nur eine der beiden in **Fig. 5** dargestellten

Messeinrichtungen **43** umfasst, deren Messinduktivität L_{S1} bzw. L_{S2} über die dazu benachbarte Sensorinduktivität L_P bzw. die dazu benachbarte Referenzinduktivität L_R direkt an den diese umfassenden Schwingkreis und indirekt an den jeweils anderen Schwingkreis gekoppelt ist.

[0071] Vorzugsweise wird jedoch eine Messeinheit eingesetzt, die nur eine der in **Fig. 5** dargestellten Messeinrichtungen **43** umfasst, deren Messinduktivität L_S derart ausgebildet und angeordnet ist, dass über sie eine direkte induktive Kopplung zur Sensorinduktivität L_P und zur Referenzinduktivität L_R besteht. Diese Variante ist in **Fig. 6** dargestellt, die die Messeinrichtung **43** zusammen mit einem Ersatzschaltbild der über die Messinduktivität L_S an die Messeinrichtung **43** gekoppelten Schwingkreise der in **Fig. 2** dargestellten Druckmesseinrichtung zeigt. Bei dieser Variante ist die Messinduktivität L_S vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie einen in geringem Abstand zur Sensorinduktivität L_P angeordneten Induktivitätsbereich und einen in geringem Abstand zur Referenzinduktivität L_R angeordneten Induktivitätsbereich umfasst. Die Abstände sind auch hier wieder derart zu bemessen, dass eine induktive Kopplung der Messinduktivität L_S zur Sensorinduktivität L_P und zur Referenzinduktivität L_R besteht. Hierzu kann die Messinduktivität L_S zwei in Serie geschaltete Messspulen umfassen, die jeweils einen der beiden Induktivitätsbereiche bilden. Als Messspulen eignen sich z.B. die bereits anhand von **Fig. 1** und **Fig. 3** beschriebenen Planarspulen **49**, **51**, die in dem Fall über eine in **Fig. 3** gestrichelt dargestellte, auf die Stirnseite des Trägers **53** aufgebrachte Leitung **55** seriell verbunden sind.

[0072] Alternativ kann die Messinduktivität L_S als dreidimensionale Messspule **57**, z.B. als spiralförmige Luftspule, ausgebildet sein. Diese Variante ist in **Fig. 2** schematisch dargestellt. In dem Fall ist die Messspule **57** 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 Referenzinduktivität L_R tragenden Isolator **35** befinden. Die Abstände sind auch hier wieder derart zu bemessen, dass eine induktive Kopplung der Messspule **57** zur Sensorinduktivität L_P und zur Referenzinduktivität L_R besteht.

[0073] Analog können natürlich auch die hier anhand der Ausführungsbeispiele von **Fig. 1** und **Fig. 5** beschriebenen Druckmesseinrichtungen mit entkoppelten Schwingkreisen auf die anhand der Ausführungsbeispiele von **Fig. 2** und **Fig. 6** beschriebene Weise derart ausgebildet sein, dass sie für sich genommen unterschiedliche Resonanzfrequenzen $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$, $\omega_{\text{res}}(C_R, L_R)$ aufweisen. Hierdurch erhöht sich der Grad der Entkopplung der beiden Schwingkrei-

se. Darüber hinaus ermöglicht es diese Maßnahme die Bestimmung der Kapazität des Messkondensators C_P in einem Frequenzbereich durchzuführen, der von dem zur Bestimmung der Kapazität des Referenzkondensators C_R verwendeten Frequenzbereich verschieden ist. Auch hierüber wird eine weitere Entkopplung der beiden Schwingkreise während der Messung erzielt. Dabei entsteht auch hier ein Frequenzabstand, zwischen den Frequenzen, bei denen die Gesamtimpedanzen, die von der Kapazität des jeweiligen Kondensators C_P , C_R abhängigen Maxima aufweisen. Dieser Frequenzabstand ermöglicht es, anhand dieser beiden Frequenzen eine zur Korrektur eines durch eine Restkopplung zwischen den beiden Schwingkreisen verursachten Messfehlers vorzunehmen.

[0074] Die unterschiedlichen Resonanzfrequenzen $\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$, $\omega_{\text{res}}(C_R, L_R)$ der Schwingkreise erfindungsgemäßer Druckmesseinrichtungen werden vorzugsweise dadurch erzielt, dass die Sensorinduktivität L_P und die Referenzinduktivität L_R verschiedene Induktivitäten aufweisen.

[0075] Dabei ist es bei erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtungen insb. im Hinblick auf eine Gleichtaktunterdrückung von sich gleichermaßen auf beide Kapazitäten auswirkenden Störsignalen von Vorteil, wenn die Kapazität des Messkondensators C_P derart bemessen ist, dass sie im Wesentlichen gleich der Kapazität des Referenzkondensators C_R ist, wenn sich die Messmembran **7** in deren Ausgangslage befindet.

[0076] Abschließend wird der zu messende Druck p anhand der Kapazitäten von Messkondensator C_P und Referenzkondensator C_R bestimmt. Dies geschieht vorzugsweise anhand von in einem Kalibrationsverfahren bestimmten Sensor肯ndaten, die die Abhängigkeiten des zu messenden Drucks p von den Kapazitäten von Messkondensator C_P und Referenzkondensator C_R wiedergeben.

[0077] Dabei kann die Druckbestimmung z.B. anhand einer differentiellen Änderung g der beiden Kapazitäten C_P , C_R , erfolgen, die z.B. anhand des Verhältnisses der Differenz $C_P - C_R$ der beiden Kapazitäten zur Messkapazität C_P gemäß: $g = (C_P - C_R)/C_P$ bestimmt wird. Die differentielle Änderung g weist eine in hohem Maße lineare Abhängigkeit vom zu messenden Druck p auf. Zugleich wird durch diese Form der Druckbestimmung eine hochwertige Gleichtaktunterdrückung von sich auf beide Kapazitäten gleichermaßen auswirkenden Störsignalen, sowie eine Kompensation von temperaturabhängigen Kapazitätsänderungen erzielt.

[0078] Die Messeinheit der erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung ist vorzugsweise als Bestandteil eines Messmoduls ausgebildet, das mittels einer

lösbaeren, in **Fig. 1** und **Fig. 2** nur schematisch dargestellten, mechanischen Befestigungsvorrichtung an einem auf der von der Messmembran **7** abgewandten Seite des Drucksensors befindlichen Ort montiert werden kann. Hierzu können die Messmodule z.B. mit einem sich radial nach außen erstreckenden Absatz **59** ausgestattet werden, der mittels eines Druckrings **61** auf einem im Gehäuse **9** vorgesehenen Anschlag **63** montiert wird. Dabei ist über den Anschlag **63** eine definierte, reproduzierbare Positionierung der Messinduktivität L_S bzw. der Messinduktivitäten L_{S1} , L_{S2} gewährleistet.

[0079] Als Messmodul ausgebildete Messeinheiten bieten den Vorteil, dass sie bei Bedarf ausgetauscht werden können, ohne dass der Drucksensor **1** aus der Einspannvorrichtung gelöst werden muss. Da sich die Einspannverhältnisse des Drucksensors beim Austausch der Messeinheit 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 Druck von den beiden Kapazitäten erforderlich ist.

[0080] Optional können die Messeigenschaften erfindungsgemäßer Druckmesseinrichtungen mit über eine dem Messkondensator C_P und dem Referenzkondensator C_R gemeinsame Membranelektrode **19b** kapazitiv gekoppelten Schwingkreisen durch Maßnahmen verbessert werden, die eine Reduktion der Kopplung bewirken. Eine solche optionale Maßnahme besteht darin, die zwischen der Messelektrode **21** und der Referenzelektrode **23** bestehende unmittelbare kapazitive Kopplung durch eine räumlich zwischen diesen beiden Elektroden angeordnete, auf dem Potential der Membranelektrode **19** liegende Trennelektrode **65** zu reduzieren. **Fig. 7** zeigt hierzu ein Ausführungsbeispiel eines entsprechend ausgebildeten Drucksensors. **Fig. 8** zeigt eine Ansicht der der Messmembran **7** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** des Drucksensors von **Fig. 7** und **Fig. 9** eine Ansicht der dem Grundkörper **3** zugewandten Innenseite von dessen Messmembran **7**.

[0081] Die Trennelektrode **65** weist vorzugsweise eine einen geschlossenen Ring bildende Elektrodenfläche auf, die die davon beabstandete Messelektrode **21** außenseitlich allseitig umgibt. Der elektrische Anschluss der Trennelektrode **65** an das Potential der Membranelektrode **21** erfolgt vorzugsweise über eine die Druckkammer **5** außenseitlich allseitig umgebende, einen äußeren Rand **67** des Grundkörpers **3** mit einem äußeren Rand **69** der Messmembran **7** verbindende, elektrisch leitfähige Fügung **71**. Bei keramischen Drucksensoren ist die Fügung **71** vorzugsweise eine Aktivhartlötung, insb. eine mittels einer Zr-Ni-Legierung und Titan aufweisenden ternären Aktivhartlötung ausgeführte Aktivhartlötung.

tung. Entsprechende Aktivhartlote sind z.B. in der EP 0 490 807 A2 beschrieben.

[0082] Hierzu weist die Referenzelektrode **23** vorzugsweise eine einen nahezu vollständig geschlossenen Ring bildende Elektrodenfläche auf, die die davon beabstandete Trennelektrode **65** außenseitlich umgibt. Der durch die Referenzelektrode **23** gebildete Ring ist in einem Ringsegmentbereich **73** unterbrochen. Diese Unterbrechung ermöglicht es die Trennelektrode **65** über einen daran angrenzenden, durch den Ringsegmentbereich **73** verlaufenden Elektrodenfortsatz **75** mit der Fügung **71** zu verbinden. Auf diese Weise steht die Trennelektrode **65** über den Elektrodenfortsatz **75** und die Fügung **71** in elektrisch leitendem Kontakt zu der membranseitig an die Fügung **71** angrenzenden Membranelektrode **19**.

[0083] Beim Einsatz dieses Drucksensors in einer erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung ist natürlich auch hier eine in **Fig. 7** nicht dargestellte, an die Messkapazität C_P angeschlossenen Sensorinduktivität L_P und eine an die Referenzkapazität C_R angeschlossenen Referenzinduktivität L_R vorzusehen, was z.B. auf die anhand von **Fig. 1** oder die anhand von **Fig. 2** beschriebene Weise erfolgen kann.

63	Anschlag
65	Trennelektrode
67	Rand des Grundkörpers
69	Rand der Messmembran
71	Fügung
73	Ringsegmentbereich
75	Elektrodenfortsatz

Bezugszeichenliste

1	Drucksensor
3	Grundkörper
5	Druckkammer
7	Messmembran
9	Gehäuse
11	Öffnung
13	Schulter
15	Dichtung
17	Druckring
19	Membranelektrode
21	Messelektrode
23	Referenzelektrode
25	Sensorinduktivität
27	Referenzinduktivität
29	Kontaktstift
31	Kontaktstift
33	dreidimensionale Spule
35	Isolator
37	Beschichtung
39	Folie
41	Element
43	Messeinrichtung
45	Erregereinrichtung
47	Messelektronik
49	Planarspule
51	Planarspule
53	Träger
55	Leitung
57	dreidimensionale Messspule
59	Absatz
61	Druckring

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 102009027742 A1 [0009]
- DE 102013106045 A1 [0009]
- EP 0490807 A2 [0081]

Patentansprüche

1. Druckmesseinrichtung, mit

- einem kapazitiven 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) verformbaren Messmembran (7), der
- einen eine auf der Messmembran (7) angeordnete Membranelektrode (19, 19a) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Messelektrode (21) umfassenden Messkondensator (C_P) mit einer von der druckabhängigen Verformung der Messmembran (7) abhängigen Kapazität aufweist, und
- einen eine auf der Messmembran (7) angeordnete Membranelektrode (19, 19b) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Referenzelektrode (23) umfassenden Referenzkondensator (C_R) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- ein erster induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Messkondensator (C_P) und eine daran angeschlossene Sensorinduktivität (L_P) umfasst, und
- ein zweiter induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Referenzkondensator (C_R) und eine daran angeschlossene Referenzinduktivität (L_R) umfasst.

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

- der erste Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Messkondensators (C_P) und der Sensorinduktivität (L_P) abhängige Resonanzfrequenz ($\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$) aufweist,
- der zweite Schwingkreis für sich alleine betrachtet eine von der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) und der Referenzinduktivität (L_R) abhängige Resonanzfrequenz ($\omega_{\text{res}}(C_R, L_R)$) aufweist, und
- die Resonanzfrequenzen ($\omega_{\text{res}}(C_P, L_P)$, $\omega_{\text{res}}(C_R, L_R)$) der beiden Schwingkreise verschieden sind.

3. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kapazität des Messkondensators (C_P) im Wesentlichen gleich der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) ist, wenn sich die Messmembran (7) in deren Ausgangslage befindet.

4. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensorinduktivität (L_P) und die Referenzinduktivität (L_R) verschiedene Induktivitäten aufweisen.

5. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensorinduktivität (L_P) eine auf eine von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der

Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, Planarspule (25) umfasst.

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

- die Referenzinduktivität (L_R) eine auf eine von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, Planarspule (27) umfasst, oder
- die Referenzinduktivität (L_R) eine dreidimensionale Spule (33), insb. eine auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) angeordneten Isolators (35) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, dreidimensionale Spule (33), umfasst.

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

- die Referenzinduktivität (L_R) eine auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) angeordneten Isolators (35) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, dreidimensionale Spule (33) umfasst, und
- der Isolator (35) mit einem Element (41), insb. einem Ferrit-Ring, aus einem Material mit hoher Permeabilität ausgestattet ist.

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

- die Referenzinduktivität (L_R) eine auf eine Mantelfläche eines auf einem äußeren Rand der von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) angeordneten Isolators (35) aufgebrachte dreidimensionale Spule (33) umfasst, und
- die dreidimensionale Spule (33) über eine auf eine von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, elektrisch leitfähige Beschichtung (37), die in elektrisch leitendem Kontakt zu einem durch den Grundkörper (3) zur Referenzelektrode (23) verlaufenden Kontaktstift (31) steht, und eine auf eine dem Grundkörper (3) zugewandte Stirnseite des Isolators (35) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte elektrisch leitfähige Beschichtung (37') in elektrisch leitendem Kontakt zur Referenzelektrode (23) steht.

9. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1 oder 8, **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. ei-

ne 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 Entkopplungsring, insb. eines mit der Referenzinduktivität (L_R) ausgestatteten Isolators (35), bewirkt.

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

- die Membranelektroden (19a, 19b) von Messkondensator (C_P) und Referenzkondensator (C_R) voneinander getrennte Elektroden sind, oder
- die Membranelektroden (19) von Messkondensator (C_P) und Referenzkondensator (C_R) durch eine beiden Kondensatoren gemeinsame Membranelektrode (19) gebildet sind.

11. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine induktiv an die Schwingkreise angekoppelte Messeinheit vorgesehen ist, die derart ausgebildet, dass sie die Schwingkreise induktiv in Schwingungen versetzt und über eine induktive Kopplung zum ersten Schwingkreis von der Kapazität des Messkondensators (C_P) und über eine induktive Kopplung zum zweiten Schwingkreis von der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) abhängige Messgrößen bestimmt, anhand derer sie die Kapazitäten von Messkondensator (C_P) und Referenzkondensator (C_R) bestimmt.

12. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Messeinheit vorgesehen ist, die zwei Messeinrichtungen (43) umfasst,

- von denen eine induktiv an die Sensorinduktivität (L_P) gekoppelte Messinduktivität (L_{S1}), insb. eine auf einer der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) zugewandten Stirnseite eines Trägers (53) aus einem Isolator aufgebrachte Planarspule (49), umfasst,
- von denen die andere induktiv an die Referenzinduktivität (L_R) gekoppelte Messinduktivität (L_{S2}), insb. eine auf einer der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) zugewandten Stirnseite eines Trägers (53) aus einem Isolator aufgebrachte Planarspule (51), umfasst,
- die jeweils eine Erregereinrichtung (45) umfassen, die eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die an einem ersten Anschluss der Messinduktivität (L_{S1} , L_{S2}) der jeweiligen Messeinrichtung (43) anliegt, und
- die jeweils eine an die Messinduktivität (L_{S1} , L_{S2}) der jeweiligen Messeinrichtung (43) angeschlossene Messelektronik (47) umfassen, die anhand des dabei über die jeweilige Messinduktivität (L_{S1} , L_{S2}) fließenden Messsignals mindestens eine von der Kapazität des Messkondensators (C_P) und/oder der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) abhängige Messgröße bestimmt.

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

- die Schwingkreise im Wesentlichen entkoppelte Schwingkreise sind,
- die Messelektronik (47) der induktiv an die Sensorinduktivität (L_P) gekoppelte Messinduktivität (L_{S1}) umfassenden Messeinrichtung (43) derart ausgebildet ist, dass sie eine von der Kapazität des Messkondensators (C_P) abhängige Frequenz bestimmt, bei der eine Gesamtimpedanz ($Z_{ges}^1(\omega)$) einer durch diese Messinduktivität (L_{S1}) und den daran gekoppelten Messkondensator (C_P) umfassenden Schwingkreis gebildeten Einheit ein Maximum aufweist, und
- die Messelektronik (47) der induktiv an die Referenzinduktivität (L_R) gekoppelte Messinduktivität (L_{S2}) umfassenden Messeinrichtung (43) derart ausgebildet ist, dass sie eine von der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) abhängige Frequenz bestimmt, bei der die Gesamtimpedanz ($Z_{ges}^2(\omega)$) eines durch diese Messinduktivität (L_{S2}) und den daran gekoppelten Referenzkondensator (C_R) umfassenden Schwingkreis gebildeten Einheit ein Maximum aufweist.

14. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Schwingkreise induktiv und/oder kapazitiv gekoppelte Schwingkreise sind,
- eine Messeinrichtung (43) vorgesehen ist,
- die eine induktiv an die Sensorinduktivität (L_P) gekoppelte Messinduktivität (L_{S1}), eine induktiv an die Referenzinduktivität (L_R) gekoppelte Messinduktivität (L_{S2}) oder eine sowohl induktiv an die Sensorinduktivität (L_P) als auch induktiv an die Referenzinduktivität (L_R) gekoppelte Messinduktivität (L_S), insb. eine dreidimensionale Messspule (57), insb. eine Luftspule, oder zwei in Serie geschaltete Messspulen, insb. zwei über eine Leitung (55) verbundene auf einer von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) zugewandten Stirnseite eines Trägers (53) aus einem Isolator aufgebrachte Planarspulen (49, 51), umfasst,
- die eine Erregereinrichtung (45) umfasst, die eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die an einem ersten Anschluss der Messinduktivität (L_S , L_{S1} , L_{S2}) anliegt, und
- die eine an die Messinduktivität (L_S , L_{S1} , L_{S2}) angeschlossene Messelektronik (47) umfasst, die derart ausgebildet ist, dass sie
- zwei verschiedene, auf unterschiedliche Weise von der Kapazität des Messkondensators (C_P) und der Kapazität des Referenzkondensators (C_R) abhängige Frequenzen (ω_{res1} , ω_{res2}) bestimmt, bei denen eine Gesamtimpedanz ($Z_{ges}(\omega)$) einer durch die Messinduktivität (L_S , L_{S1} , L_{S2}) und die beiden daran gekoppelten Schwingkreise gebildete Einheit jeweils ein Maximum aufweist, und
- anhand der beiden Frequenzen (ω_{res1} , ω_{res2}) die Kapazität des Messkondensators (C_P) und die Kapazität des Referenzkondensators (C_R) bestimmt.

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

16. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
– Messkondensator (C_p) und Referenzkondensator (C_R) eine beiden Kondensatoren gemeinsame Membranelektrode (19) umfassen, und
– eine räumlich zwischen Messelektrode (21) und Referenzelektrode (23) angeordnete Trennelektrode (65) vorgesehen ist, die elektrisch auf dem Potential der Membranelektrode (19) liegt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

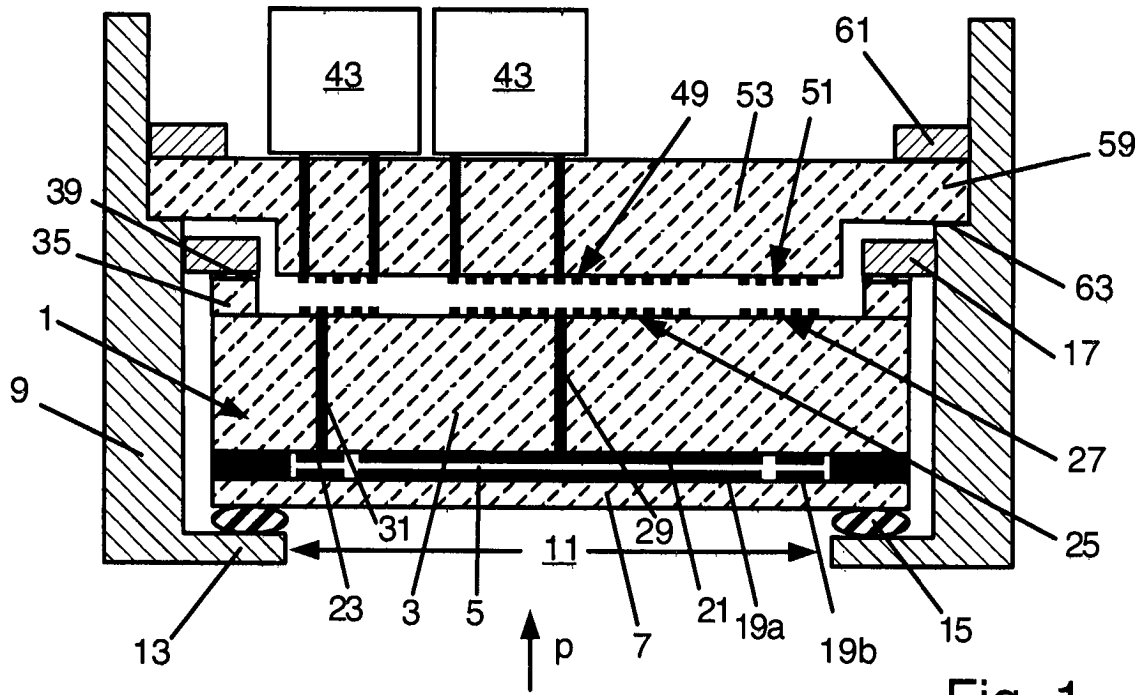


Fig. 1

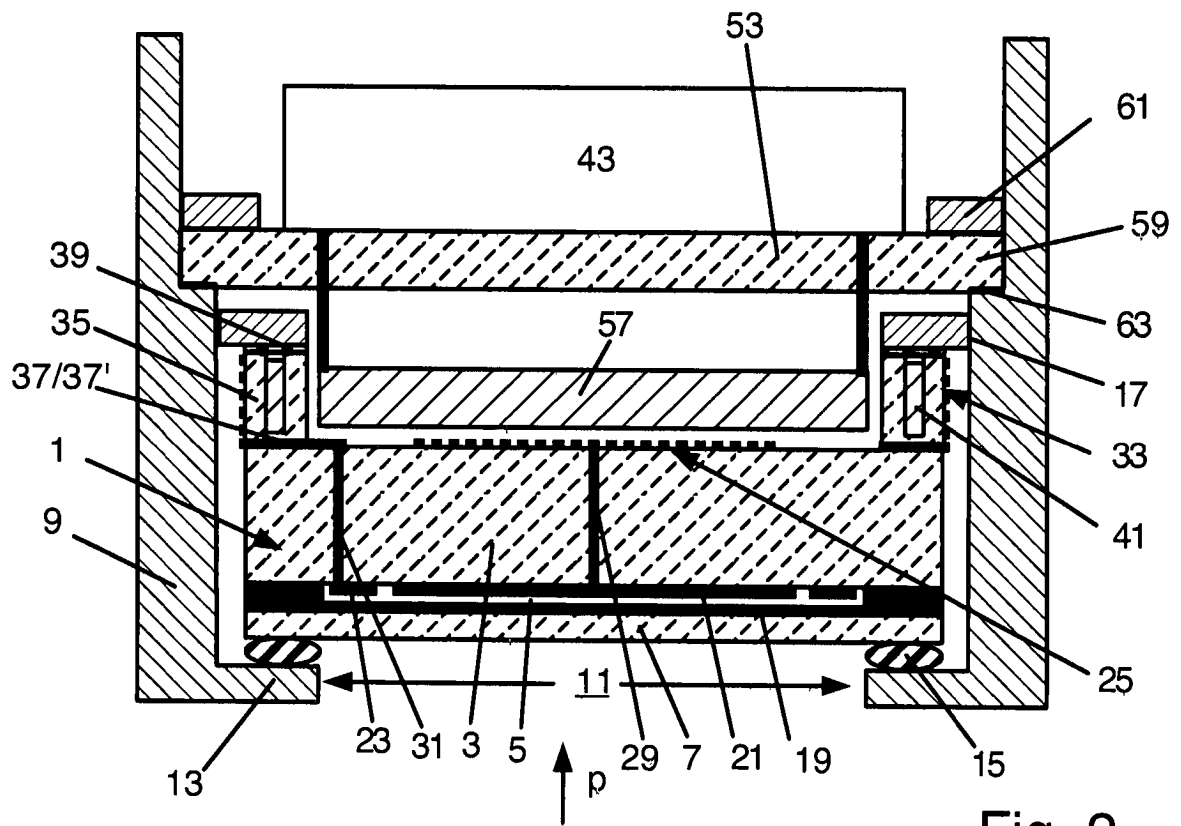


Fig. 2

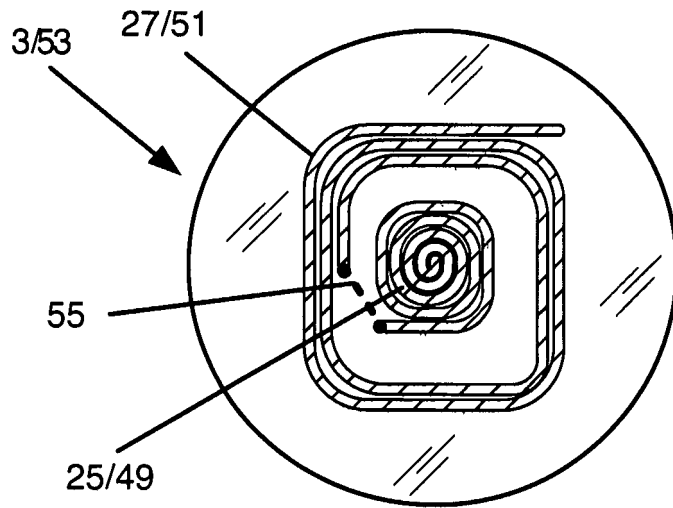


Fig. 3

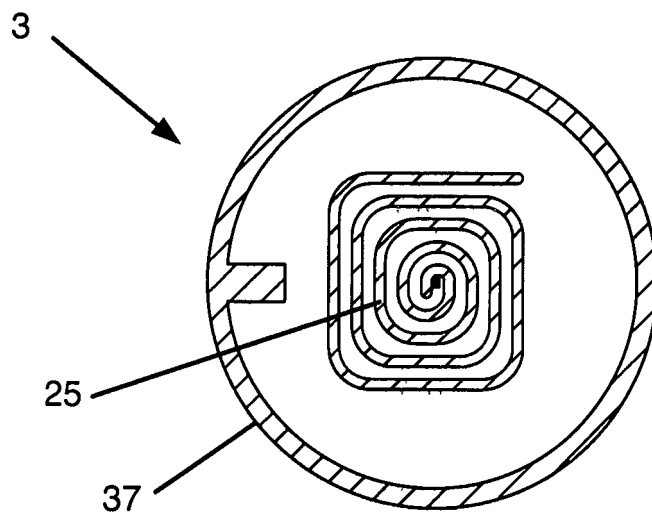


Fig. 4

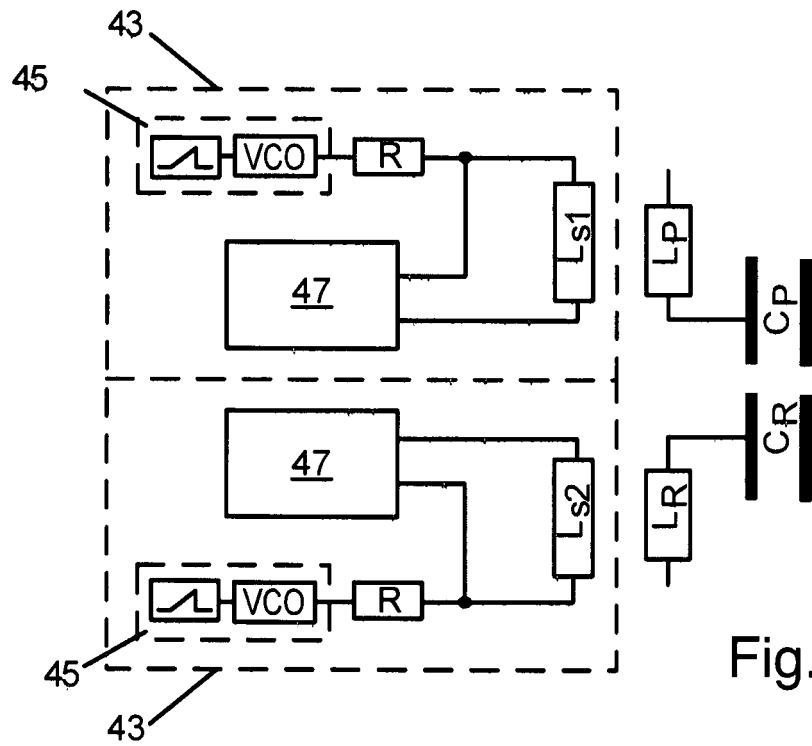


Fig. 5

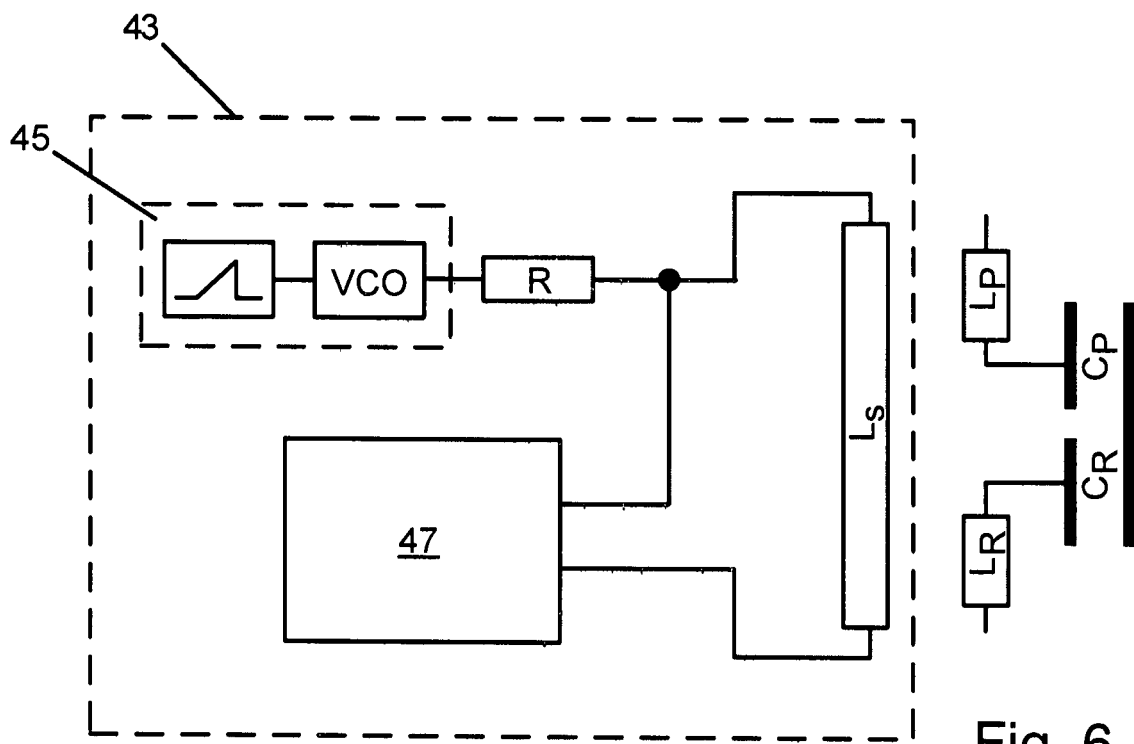


Fig. 6

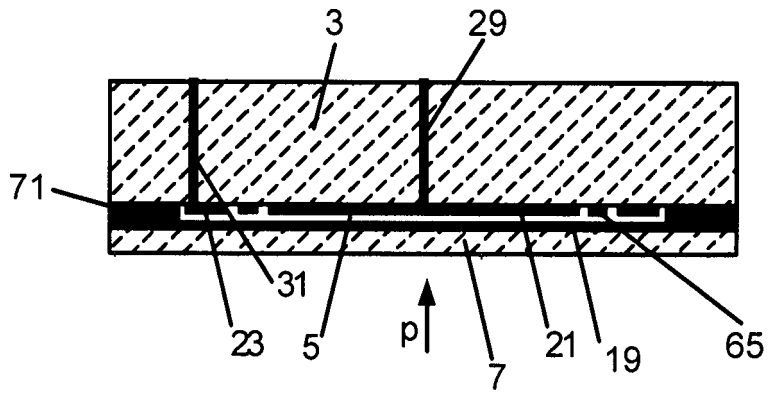


Fig. 7

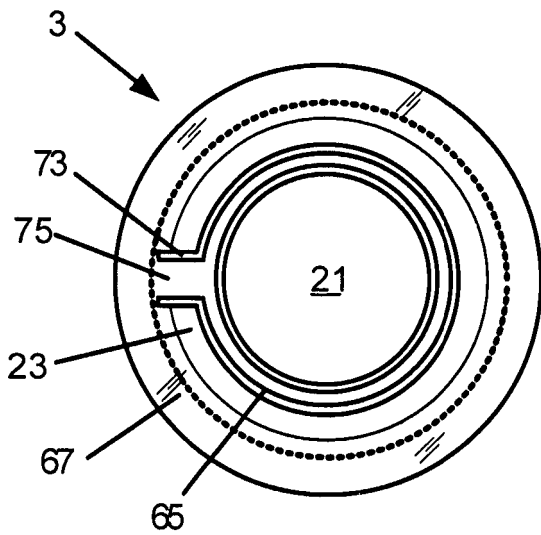


Fig. 8

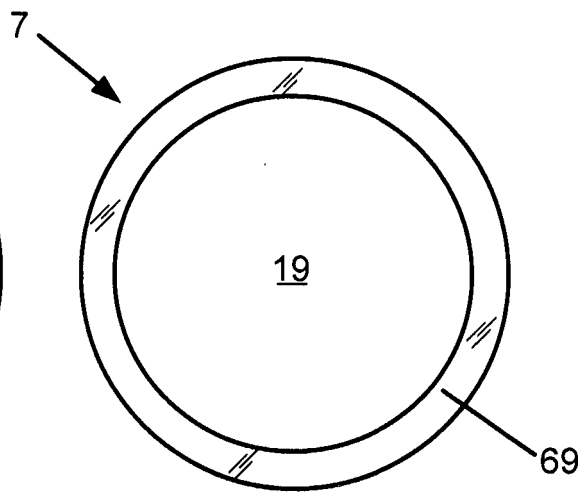


Fig. 9