

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
3. Juli 2014 (03.07.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/102035 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01L 9/00 (2006.01) G01L 19/00 (2006.01)
G01L 9/12 (2006.01) G01L 21/00 (2006.01)
G01L 13/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/074313

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2013 (20.11.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
2938/12 24. Dezember 2012 (24.12.2012) CH

(71) Anmelder: INFICON GMBH [CH/CH]; Hintergasse
15B, CH-7310 Bad Ragaz (CH).

(72) Erfinder: MULLIS, Felix; Pradasolstrasse 1a, CH-8890
Flums (CH). WUEST, Martin; Lehengasse 7, CH-7208
Malans (CH).

(74) Anwalt: TROESCH SCHEIDEGGER WERNER AG;
Peter D. Rigling, Schwänthenmos 14, CH-8126 Zumikon
(CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

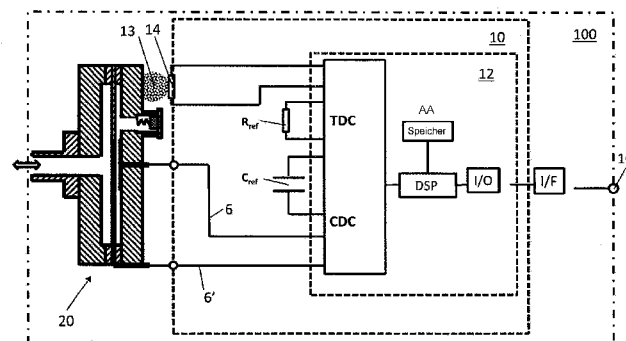
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING A VACUUM PRESSURE USING A MEASURING CELL
ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VAKUUMDRUCKMESSUNG MIT EINER
MESSZELLENANORDNUNG

Fig. 1



AA memory unit

(57) Abstract: The invention relates to a measuring cell arrangement (100) containing a capacitive diaphragm pressure-measuring cell (20) for measuring a vacuum pressure using a diaphragm (2) as a pressure transducer, comprising a printed circuit board (10) which is positioned relative to the diaphragm pressure-measuring cell (20) such that the component which acts as the temperature sensor thermally contacts the first housing body via a heat transfer zone (13). Another electronic component is designed as a microchip (12), and the microchip contains a digital signal processor (DSP) with a temperature-to-digital converter (TDC) and a capacitance-to-digital converter (CDC) which operates using the time measuring method. The temperature-to-digital converter and the capacitance-to-digital converter ascertain the temperature (T_x) and the capacitance (C_x) of the diaphragm pressure-measuring cell (20) in comparison to a reference resistor (R_{ref}) for the temperature and a reference capacitor (C_{ref}) for the capacitance (C_x), said resistor and capacitor being arranged on the printed circuit board. The capacitance forms the measurement for the pressure to be measured dependent on the deformation of the diaphragm (2). A temperature-corrected pressure signal is derived from the two measured signals using correlation means, said

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/102035 A1



CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

measured signals having been ascertained in advance from a calibrating process, and the pressure signal is output as a pressure signal $p=f(C_x, T_{eff})$ at the signal output (16) for further processing. In this manner, a quick pressure measurement is allowed with a high measuring accuracy.

(57) Zusammenfassung: Eine Messzellenanordnung (100) enthaltend eine kapazitive Membrandruckmesszelle (20) zur Messung von Vakuumdruck mit einer Membran (2) als Druckwandler, mit einer Leiterplatte (10), die derart gegenüber der Membrandruckmesszelle (20) positioniert angeordnet wird, dass diejenige Komponente, die als Temperatursensor wirkt den ersten Gehäusekörper über eine Wärmeübergangszone (13) thermisch kontaktiert und dass eine weitere elektronische Komponente als Mikrochip (12) ausgebildet ist und dieser einen Digitalen Signal Prozessor (DSP) enthält mit einem Temperatur zu Digital Converter (TDC) und einem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC) der nach dem Zeitmessverfahren arbeitet, welche die Temperatur (T_x) und die Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle (20) ermitteln im Vergleich mit einem an der Leiterplatte angeordnetem Referenzwiderstand (R_{ref}) für die Temperatur und einem Referenzkondensator (C_{ref}) für die Kapazität (C_x), welche das Mass bildet für den zu messenden Druck abhängig von der Deformation der Membran (2), wobei aus beiden gemessenen Signalen mit Korrelationsmitteln, welche vorgängig aus einem Kalibriervorgang ermittelt wurden, ein Temperatur korrigiertes Drucksignal abgeleitet wird, welches als Drucksignal $p=f(C_x, T_{eff})$ am Signalausgang (16) ausgegeben wird zur weiteren Verarbeitung. Hierdurch wird eine rasche Druckmessung ermöglicht bei hoher Messgenauigkeit.

Verfahren und Vorrichtung zur Vakuumdruckmessung mit einer Messzellenanordnung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Druckmessung mit einer Messzellenanordnung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, sowie auf eine
5 Vorrichtung hierzu gemäss Anspruch 18.

Es ist bekannt, Drücke bzw. Druckdifferenzen dadurch zu messen, indem eine dünne Membran druckbeaufschlagt wird und ihre daraus bewirkte Durchbiegung
10 gemessen wird. Eine bekannte und geeignete Methode, die Durchbiegung solcher Membranen zu messen besteht darin, dass die Membrananordnung als variable elektrische Kapazität ausgebildet wird, wobei über eine Messelektronik in bekannter Weise die Kapazitätsänderung ausgewertet wird, welche mit der Druckänderung korreliert. Die Kapazität wird ausgebildet, indem die dünne, biegsame Membranfläche in geringem Abstand gegenüber einer weiteren Fläche eines Körpers
15 angeordnet ist und beide einander gegenüberliegenden Oberflächen elektrisch leitend ausgebildet sind. Wenn die Membran und der Körper aus nicht leitendem, dielektrischen Material besteht werden dazu die Oberflächen beispielsweise mit einem elektrischen Belag beschichtet, wodurch die Kondensatorelektroden ausgebildet werden. Die Membran und / oder der Körper können auch selbst aus elektrisch leitendem Material gefertigt, wobei dann die Oberflächen wiederum die Kondensatorelektroden bilden. Bei Druckbeaufschlagung der Membran verändert sich durch die Durchbiegung der Abstand zwischen den beiden Elektroden, was zu einer auswertbaren Kapazitätsänderung der Anordnung führt. Sensoren dieser
20 Art werden in grossen Stückzahlen beispielsweise aus Silizium hergestellt. Sowohl der flächige Grundkörper wie auch die Membran bestehen hierbei oft vollständig aus Silizium - Material. Es gibt auch Ausführungen mit kombinierter Materialzusammensetzung z.B. Silizium mit Glasunterlage. Die Sensoren lassen sich dadurch kostengünstig herstellen. Drucksensoren dieser Art sind in der Regel nur
25 für höhere Druckbereiche im Bereich von ca. 10^{-1} mbar bis einige bar einsetzbar. Hohe Auflösung bei tieferen Drücken ab etwa 10^{-1} mbar sind mit dem Werkstoff Silizium nicht mehr realisierbar. Für typische Vakuumanwendungen sind Sensoren

dieser Art nicht geeignet. Für Messungen von Drucken im Vakuum wird oft zwischen Atmosphäre und 10^{-6} mbar gemessen für die verschiedenen zu kontrollierenden Vakuumprozesse. Derartige Messungen erfordern eine hohe Empfindlichkeit mit hoher Auflösung und Reproduzierbarkeit der Vakuumdruckmessung, wozu
5 nur speziell ausgebildete Messzellen in der Lage sind, die von der Bauweise der Hochdruckmesszellen völlig abweichen.

Für die Vakuumdruckmessung sind kapazitive Membrandruckmesszellen besonders geeignet die aus korrosionsfesten Materialien wie Al_2O_3 hergestellt sind. In dem EP 1 070 239 B1 (die integrierender Bestandteil der vorliegenden Anmeldung bildet) wird eine kapazitive Vakuummesszelle, welche im wesentlichen vollständig
10 aus Keramik aufgebaut und somit in hohem Masse korrosionsfest ist, beschrieben. Um sehr tiefe Drücke bis 10^{-6} mbar bei hoher Genauigkeit messen zu können, wird eine sehr dünne Keramikmembran von beispielsweise $< 250 \mu\text{m}$ Dicke verwendet, welche spannungsfrei und symmetrisch in einem Keramikgehäuse angeordnet ist.
15 Der Abstand der Kondensatorelektroden bzw. der Membranoberfläche von der Oberfläche des Gehäusekörpers liegt hierbei bevorzugt im Bereich von 2 bis 50 μm . Die Durchmesser derartiger Membrandruckmesszellen liegen bevorzugt im Bereich von 5 bis 80 mm. Die dadurch gebildeten und zu messenden Kapazitäten bei derartigen Membrandruckmesszellen liegen im Bereich von 10 pF bis 32 pF.
20 Die gemessene Kapazität dient hierbei als Mass für den zu messenden Druck. Bei druckabhängiger Verbiegung der Membran verändert sich diese Kapazität entsprechend, wodurch der an der Membran anliegende Druck erfasst werden kann. Diese Kapazitätsmessung muss sehr präzise erfolgen und ist bei diesen kleinen Kapazitätswerten nicht ganz einfach. Nach dem heutigen Stand der Technik werden die kleinen störanfälligen Kapazitäten üblicherweise mit einem Sigma-Delta
25 Capacitance-to-Digital-Converter (CDC) digitalisiert. Die dazu notwendige Elektronik ist auf einer kleinen Leiterplatte hinter der Membrandruckmesszelle angeordnet und über eine Leitung mit den Kondensatorelektroden der Messzelle verbunden. Das digitalisierte Signal wird dann in einer weiteren Elektronik, die einen Mikroprozessor enthält und auf einer weiteren Leiterplatte angeordnet ist, aufbereitet
30 und kalibriert. Eine Derartige Messzellenanordnung zur Messung von Vakuum

enthält folglich eine kapazitive Membrandruckmesszelle und eine daran angebaute Elektronik für die Signalaufbereitung. Diese Messzellenanordnung wird in üblicher Weise an die zu messenden Vakuumkomponenten angeschlossen, wie beispielsweise Vakuumbehälter oder Vakuumleitungen, welche die zu messenden gasförmigen Medien enthalten.

Die Messung von kleinen Kapazitäten wird vielfältig für die Auslesung der zu messenden Werte von Sensoren verwendet. Allerdings ist die präzise Messung derartig kleiner Kapazitäten nicht ganz einfach.

In dem Buch von Baxter (Larry K. Baxter, *Capacitive Sensors*, IEEE Press, NJ 1997) ist eine Vielzahl der möglichen Schaltungskonzepte dargestellt. Überwiegend waren diese Schaltungen so konzipiert, dass sich möglichst ein linearer Zusammenhang zur Messgrösse ergibt, so dass das Messsignal direkt analog weiterverarbeitet werden kann.

Die Schaltungskonzepte haben sich bis heute nicht grundsätzlich verändert, lediglich die Möglichkeit der Integration hat einige interessante ergänzende Lösungen hervorgebracht. So hat beispielsweise Analog Devices mit ihrer CDC Reihe von integrierten Schaltungen eine Ladungswaage mit einem Delta-Sigma Wandler kombiniert und einen sehr leistungsfähigen Mikrochip entwickelt, wie beispielsweise den Mikrochip mit der Bezeichnung AD7745. Ein grosser Vorteil dieser integrierten Lösung ist die Möglichkeit Probleme mit der Temperaturkompensation weiter reduzieren zu können und eine bessere Abschirmung eines Grossteils der kritischen Elemente im Chipgehäuse zu ermöglichen.

Eine weitere Möglichkeit Kapazitäten zu messen besteht darin, die Ladezeit eines Kondensators zu messen, was vom Prinzip her relativ einfach realisierbar ist. Hierbei wird üblicherweise der zu messende Kondensator mit einem Strom, beispielsweise über eine Konstantstromquelle oder über einen Ladewiderstand aufgeladen. Die Spannung, der Strom und die zur Aufladung benötigte Zeit wird gemessen und daraus die Kapazität bestimmt. Bei kleinen Kapazitäten ergeben sich hierbei Probleme mit der Messung der sehr kleinen Ströme und der sehr kurzen Messzeiten.

Kapazitäten können auch in einer Brückenschaltung in Anlehnung an Wheatstone gemessen werden. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Mess-Schaltung bei welcher ein Diodenarray als Gleichrichter verwendet wird. In einem solchen Schaltungskonzept wird eine amplitudenstabilisierte Sinusquelle eingesetzt. Dies kann
5 beispielsweise ein amplitudenstabilisierter Wien-Oszillator sein. Zusätzlich müssen hierbei die vergleichsweise grossen Temperaturkoeffizienten der Gleichrichter berücksichtigt werden. Ein derartiges Schaltungskonzept führt zu einer aufwendigen Schaltungstechnik.

10 Kapazitive Membrandruckmesszellen werden in Vakuumprozessen zur exakten Druckbestimmung eingesetzt. Derartige Vakuumprozesse umfassen verschiedenste Verfahren, wie beispielsweise Beschichtungsprozesse, Ätzprozesse, thermische Behandlung von Werkstücken etc. Diese Prozesse werden oft auch mit unterstützenden Gasen betrieben, die sowohl aktiv als Reaktivgas oder auch
15 als Inertgas im Prozess benötigt werden. Die Gase werden hierzu dem Vakuumsystem über ein Druck- bzw. Flussregelsystem zugeführt. Eine kapazitive Membrandruckmesszelle kann, in diesem Fall, als Drucksensor für das Regelsystem dienen. Für eine präzise Prozessführung ist es notwendig, dass die Membrandruckmesszelle möglichst präzise misst aber insbesondere auch schnell misst.

20 Eine weitere wichtige Anwendung derartiger Membrandruckmesszellen ist auch das Kalibrieren von Hochvakuumdruckmesszellen der verschiedensten Bauart, wie beispielsweise der Art Pirani, Penning, Membrandruckmesszellen etc. In diesem Fall kann eine Membrandruckmesszelle als Referenzdruckmesszelle dienen
25 zur Abgleichung mit den zu kalibrierenden Messzellen, beispielsweise durch Vergleichsmessung. Eine wichtige bekannte Methode ist auch bekannt geworden als statisches Expansionsverfahren welches genauer beschrieben ist in dem Buch "Wutz, Handbuch Vakuumtechnik" (10. Auflage, Karl Jousten (Hrsg.), Vieweg + Teubner, Wiesbaden 2010, ISBN 978-3-8348-0695-6).

30 Bei der Anwendung der kapazitiven Membrandruckmesszelle als Referenzdruckmesszelle in Kalibriereinrichtungen ist neben der Messpräzision insbesondere auch eine hohe Messgeschwindigkeit wichtig, um möglichst bei Druckänderungen

die tatsächlich aktuellen Druckwerte auch mit hoher Genauigkeit erfassen zu können. Auch die Temperatureinflüsse auf die Messgenauigkeit der Referenzdruckmesszelle sind hierbei wichtig und müssen möglichst gut beherrscht werden.

Die heute bekannten Membrandruckmesszellenanordnungen sind diesbezüglich
5 langsam und liegen bei Messzeiten, die grösser sind als 8 ms oder sogar grösser als 30ms. Auch ist die erzielbare Messgenauigkeit von 0.15% bis 0.4% vom Messwert oft ungenügend, vor allem über grössere Temperaturbereiche von 5 bis 220 °C. Der zu messende Messbereich bzw. die maximal messbare Kapazität der Membrandruckmesszelle ist beschränkt beim Einsatz von bekannten Mikrochips
10 für die Messelektronik (z.B. 21pF für AD7745). Dies schränkt den Herstellspielraum ein bzw. vermindert die entsprechende Ausbeute drastisch und erhöht somit die Herstellkosten.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der
15 Technik zu beseitigen. Insbesondere stellt sich die vorliegende Erfindung die Aufgabe, die Messgeschwindigkeit einer Membrandruckmesszellenanordnung wesentlich zu erhöhen. Die Messpräzision und die Reproduzierbarkeit, sowie die Stabilität der Messzelle soll zusätzlich verbessert werden, dies insbesondere mit Blick auf das Temperaturverhalten der Membrandruckmesszellenanordnung. Ausserdem soll die Messzellenanordnung wirtschaftlich herstellbar sein.
20

Die Aufgabe wird erfindungsgemäss durch das Verfahren zur Vakuumdruckmessung mit einer Messzellenanordnung nach Anspruch 1 gelöst, sowie durch eine Messzellenanordnung nach Anspruch 18. Die abhängigen Patentansprüche beziehen sich auf vorteilhafte weitere Ausgestaltungen der Erfindung.

25 Das erfindungsgemässe Verfahren zur Vakuumdruckmessung mit einer Messzellenanordnung enthält eine kapazitive Membrandruckmesszelle zur Messung von Vakuum mit einer Membran als Druckwandler, wobei auf der einen Seite der Membran beabstandet ein erster Gehäusekörper im Randbereich mit einem Verbindungsmittel dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Referenzvakuumraum ausgebildet ist, und dass auf der anderen Seite der Membran beab-
30

standet ein zweiter Gehäusekörper im Randbereich mit einem Verbindungsmittel dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Messvakuumraum ausgebildet ist, und dass der zweite Gehäusekörper eine Öffnung aufweist an der Anschlussmittel mit Verbindungsmittel dichtend angeordnet sind zur kommunizierenden Verbindung des Messvakuumraumes mit dem zu messenden Medium, wobei innerhalb des Referenzvakuumraumes zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche der Membran und gegenüberliegend zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche des ersten Gehäusekörpers je elektrisch leitend ausgebildet wird und Kondensatorelektroden bilden zur Ausbildung einer elektrischen Kapazität (C_x) und dass die Messzellenanordnung eine Leiterplatte (10) aufweist, die mit elektronischen Komponenten bestückt ist und mindestens eine davon als Temperatursensor wirkt, wobei die Leiterplatte mit den Kondensatorelektroden der Membrandruckmesszelle elektrisch verbunden ist, wobei die Leiterplatte derart gegenüber der Membrandruckmesszelle positioniert angeordnet wird, dass diejenige Komponente, die als Temperatursensor wirkt den ersten Gehäusekörper über eine Wärmeübergangszone thermisch kontaktiert und dass eine weitere elektronische Komponente als Mikrochip ausgebildet ist und dieser einen Digitalen Signal Prozessor (DSP) enthält mit einem Temperatur zu Digital Converter (TDC) und einem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC) der nach dem Zeitmessverfahren arbeitet, welche die Temperatur (T_x) und die Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle ermitteln im Vergleich mit einem an der Leiterplatte angeordnetem Referenzwiderstand (R_{ref}) für die Temperatur und einem Referenzkondensator (C_{ref}) für die Kapazität (C_x), welche das Mass bildet für den zu messenden Druck abhängig von der Deformation der Membran wobei aus beiden gemessenen Signalen mit Korrelationsmitteln, welche vorgängig aus einem Kalibriervorgang ermittelt wurden, ein Temperatur korrigiertes Drucksignal abgeleitet wird, welches als Drucksignal $p=f(C_x, T_{eff})$ am Signalausgang ausgegeben wird zur weiteren Verarbeitung.

Die durch die Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und / oder für das Drucksignal können als Tabelle in einem Speicher abgelegt werden oder aber auch als mathematische Funktion $T_{eff}=f(T_x)$ und / oder $P_{eff}=f(C_x)$. Die

Verwendung der mathematischen Funktion, insbesondere für das Drucksignal, ist bevorzugt. Wobei besonders vorteilhaft beides, die Werte für die Temperaturkorrektur wie auch für die Ermittlung des Drucksignales, je die mathematische Funktion verwendet wird. Bei diesem Kalibrierungsvorgang zur Bestimmung des effektiven Drucksignales werden die Korrekturwerte der ermittelten Temperaturabweichung zusätzlich dem Drucksignal derart überlagert, dass dieses über den zu messenden Druckbereich und jeweiligen Temperaturbereich, welcher die Membrandruckmesszelle ausgesetzt ist, korrigiert wird. Der Kalibriervorgang findet für jede einzelne Messzelle statt und die ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und das angepasste Drucksignal werden im Speicher der, der Membrandruckmesszelle zugehörigen Elektronik gespeichert. Diese Elektronik ist unmittelbar hinter der Membrandruckmesszelle angebracht und auf einer Leiterplatte angeordnet. Auf dieser Leiterplatte befindet sich ein Mikrochip der die gesamte Signalbearbeitung inklusive Kapazitätsmessung ausführt. Ausserdem ist ein Referenzkondensator (C_{ref}) darauf angeordnet und verbunden mit dem Mikrochip für die Kapazitätsmessung, sowie ein Referenzwiderstand (R_{ref}) angeordnet und verbunden mit dem Mikrochip für die Temperaturmessung. Ein separater Temperatursensor kann vorgesehen werden zur Messung der Temperatur an der Membrandruckmesszelle. Dieser wird dann derart angeordnet, dass er die Membrandruckmesszelle thermisch kontaktiert. Es ist allerdings besonders vorteilhaft wenn ohne diesen Temperatursensor gearbeitet wird und der Mikrochip, neben all seinen anderen Funktionen, selber als Temperatursensor verwendet wird und dann im Kontakt mit der Membrandruckmesszelle positioniert wird. Dies ermöglicht eine besonders präzise Temperaturerfassung.

Die Membran und der erste Gehäusekörper können ganz oder teilweise aus einem elektrisch leitenden Material, wie einem Metall hergestellt werden. Es ist allerdings deutlich bevorzugt diese mindestens zum Teil, vorzugsweise vollständig, aus einem dielektrischen Material zu fertigen. Dazu ist besonders die Verwendung von Aluminiumoxid geeignet. In diesem Fall werden die Elektroden als elektrisch leitende Schicht auf die Oberfläche Membran und die Oberfläche des gegenüberliegenden ersten Gehäusekörpers aufgebracht. Es ist hierbei auch vorteilhaft

wenn der zweite Gehäusekörper ebenfalls aus dem gleichen Material gefertigt ist wie der erste Gehäusekörper und diese plattenförmig ausgebildet sind, beispielsweise scheibenförmig. Auch sollte die Membrandruckmesszelle möglichst symmetrisch aufgebaut werden.

- 5 Mit einem derartigen Verfahren zur Vakuumdruckmessung können nun wesentlich schnellere Messzeiten bzw. Zykluszeiten erzielt werden die unter 8ms liegen, bevorzugt unter 1ms und sogar bis zu 500µs reichen können.

Der zu messbare Kapazitätsbereich wird wesentlich erweitert und liegt nun im Bereich von 0.1 pF bis 50 pF oder sogar bei 0.1 pF bis 1000 pF (1nF) oder gar darüber.

10

Die Verbesserung der Temperaturkompensation und Linearisierung kann verbessert werden derart, dass Fehler unter 0.1% F.S. (full scale) auch über einen grossen Temperaturbereich, wie -40°C bis 450°C ermöglicht werden.

Die Anforderungen an die verwendete Messzellenanordnung werden bei der praktischen Anwendung bzw. bei der Handhabung in Bezug auf Druck und Temperatur hiermit auch wesentlich vereinfacht.

15

Eine schnelle Erfassung des Vakuumdruckes ist bei vielen Druckmessanwendungen sehr vorteilhaft und ermöglicht präzisere Verfahrensführungen.

Beispielsweise kann die Messzellenanordnung mit Vorteil als Referenzmessanordnung verwendet werden zur Kalibrierung von Vakuummesszellen, insbesondere nach dem Verfahren durch statische Expansion. Hierbei ist es wichtig, dass die Messung für die zu vergleichenden Druckwerte für den Kalibrierungsvorgang möglichst zeitgleich vorgenommen werden können, wodurch eine höhere Eichgenauigkeit erzielbar wird.

20

- 25 Ein besonders wichtiger Einsatzbereich ist die Druckmessung in Vakuumprozesssystemen. Dort werden Druckmesszellen zur Prozessüberwachung aber auch in Druckregelsystemen eingesetzt. Bei Druckregelsystemen ist die schnelle Druckerfassung des Prozessdruckes sehr wichtig, um präzise Ergebnisse im Prozess zu erreichen. Typische Prozesse sind hierbei Beschichtungsprozesse, Ätzprozesse,

thermische Vakuumbehandlungen etc. Hierbei muss einerseits der Totaldruck des Vakuums erfasst werden und es werden zusätzlich oft geeignete Prozessgase eingesetzt bzw. zugeführt, die entsprechend in der Prozessführung Verwendung finden. Neben Inertgasen wie beispielsweise Argon werden in derartigen Prozessen oft auch Reaktivgase verwendet, die im Prozess umgesetzt werden. Dies insbesondere in Plasmaprozessen, aber auch in CVD – Prozessen (**C**hemical **V**apor **D**eposition) und anderen. Hierbei werden die beteiligten Reaktivgase gewissermassen verzehrt und gar im Endprodukt, beispielsweise einer Beschichtung, eingebaut. Mit einer schnellen Erfassung des Gasdruckes der beteiligten Gase mit der Druckmesszelle, gemäss vorliegender Erfindung, können nun Gasregelsysteme für Vakuumprozesse realisiert werden, die es ermöglichen wesentlich präzisere Ergebnisse zu erreichen, wie beispielsweise präzisere Zusammensetzung von abgeschiedenen Schichten, oder präzisere Ätzstrukturen. Dabei kann beispielsweise auch die Verschwendung von Gas reduziert werden und es können Kosten eingespart werden. Besonders wichtig ist diese Anwendung für die Halbleiterindustrie.

Die Erfindung wird nun anhand von Figuren schematisch und beispielsweise beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 schematisch und im Querschnitt eine Messzellenanordnung mit einer kapazitiven Membrandruckmesszelle und mit einer elektronische Schaltungsanordnung zur Signalaufbereitung gemäss der Erfindung,

Fig. 2a schematisch und im Querschnitt die kapazitive Membrandruckmesszelle im Detail mit der Anordnung der Leiterplatte mit den daran angeordneten wichtigen elektronischen Bauelementen, wobei ein externer Temperatursensor daran angeordnet ist der die Membrandruckmesszelle thermisch kontaktiert,

Fig. 2b schematisch und im Querschnitt die kapazitive Membrandruckmesszelle im Detail entsprechend der Figur 2a, wobei der Mikrochip als Temperatur-

sensor derart auf der Leiterplatte angeordnet ist, dass dieser die Membrandruckmesszelle thermisch kontaktiert und wobei der Referenzkondensator auf der Unterseite der Leiterplatte angeordnet ist,

- 5 Fig. 2c schematisch und im Querschnitt die kapazitive Membrandruckmesszelle im Detail entsprechend der Figur 2a, wobei der Mikrochip als Temperatursensor derart auf der Leiterplatte angeordnet ist, dass dieser die Membrandruckmesszelle thermisch kontaktiert und wobei der Referenzkondensator auf der Oberseite der Leiterplatte angeordnet ist,

10

- Fig. 3 schematisch ein Schema für die Beschaltung von zwei Messzellenanordnungen zur Signalaufbereitung mit beispielsweise synchronisiertem Betrieb,

- 15 Fig. 4 schematisch ein Schema für den Betrieb von zwei Messzellenanordnungen mit Signalaufbereitung entsprechend der Figur 3 in der Anwendung bei der Druckbestimmung bzw. Kalibration nach dem Verfahren durch statische Expansion.

- 20 Der grundsätzliche Aufbau einer Messzellenanordnung 100, gemäß der vorliegenden Erfindung, zur schnellen Vakuumdruckmessung, die eine hohe Messgeschwindigkeit ermöglicht ist schematisch in der Figur 1 dargestellt.

- Die Messzellenanordnung 100 enthält eine kapazitive Membrandruckmesszelle 20 mit allen notwendigen elektronischen Komponenten 12, 14 zur Aufbereitung des Drucksignales der Messzellenanordnung 100, welche gegenüber dieser in einer speziellen Konfiguration angeordnet ist und somit ermöglicht an einer Schnittstelle 16 ein präzises, korrigiertes Drucksignal mit hoher Messgeschwindigkeit zur Verfügung zu stellen. Diese Messzellenanordnung 100 ist in einem Gehäuse untergebracht und bildet eine Komponente, die in bekannter Weise an Vakuumleitungen und Vakuumkammern angebracht werden kann zur Messung von Vakuumdruck bzw. Gasdruck in Vakuumprozessen. Das aufbereitete Drucksignal, das nun hoch
- 25
- 30

präzis dem tatsächlichen zu messenden Druck entspricht wird an der Schnittstelle 16, beispielsweise über eine Steckerverbindung, die als Interface I/F ausgebildet ist, abgenommen. Dieses Signal kann dann, beispielsweise einer Signalaufbereitungseinheit 200 zugeführt werden, die das Signal in eine weitere gewünschte
5 verarbeitbare Form bringt abhängig der weiter zu bearbeitenden Prozesse, wie dies beispielsweise in der Figur 3 dargestellt ist. Dieses weiter aufbereitete Signal kann schlussendlich einem übergeordneten Computersystem zur Datenverarbeitung 300 zugeführt werden.

Die Signalaufbereitungseinheit 200 ermöglicht bei asynchronen Betrieb, d.h. die
10 Messzeileinheiten liefern die Daten zu ihrer eigenen Zeit und Geschwindigkeit, die Aufbereitung der Daten so, dass sie einen gemeinsamen Zeitstempel, der von der Real Time Clock generiert wird, haben. Die in paralleler Weise eintreffenden Daten werden durch die Signalaufbereitungseinheit in ein geeignetes Datenfile-format gebracht, um sie dann in sequentieller Weise an das Datenverarbeitungssystem 300 zu übergeben, wo die Daten gespeichert und ausgewertet werden
15 können. Bei synchronem Betrieb werden die Messzellenanordnungen von der Signalaufbereitungseinheit 200 getriggert, damit die Datenerfassung zeitgleich stattfinden kann. Die Signalaufbereitungseinheit sorgt im Weiteren für den geeigneten Datentransfer an den Computer, wo die Daten gespeichert werden können
20 und auch analysiert oder ausgewertet werden können.

Es ist wichtig, dass die Elektronischen Komponenten 12, 14, der Messzellenanordnung 100 möglichst nahe neben der Membrandruckmesszelle 20 angeordnet, vorzugsweise direkt dahinter, also gegenüber der Messöffnung 27. Die kurzen Verbindungswege ermöglichen geringe parasitäre Kapazitäten der Zuleitungen zur
25 Elektronik und eine thermische Kopplung mit dem Gehäuse 1, 4 der Membrandruckmesszelle 20. Dadurch ist es möglich die sehr kleinen Kapazitäten C_x und Kapazitätsänderungen der kapazitiven Membrandruckmesszelle 20, bei der hohen zu messenden Auflösung, erst präzise erfassen und auswerten zu können, wobei die thermische Kopplung das Temperaturverhalten der Anordnung erfassen lässt

für weitere Korrekturmassnahmen, aber auch den Temperaturgleichlauf der beteiligten Komponenten in sich und mit der Messzelle gewährleistet.

Zumindest alle aktiven Komponenten werden hierzu auf einer einzigen kleinen Leiterplatte 10 angeordnet, welche unmittelbar neben oder vorzugsweise hinter der Membrandruckmesszelle angeordnet ist. Die Leiterplatte weist Anschlüsse 6, 6' auf welche die Kondensatorelektroden 7, 7' der Membrandruckmesszelle 20 mit einem Mikrochip 12 auf der Leiterplatte 10 verbinden. An der Leiterplatte 10 kann ein Temperatursensor 14 vorgesehen werden zur Erfassung der Temperatur der Membrandruckmesszelle 20. Besonders geeignet für derartige Temperatursensoren 14 sind Platinwiderstände, wie beispielsweise der Art Pt1000 oder Pt100. In diesem Fall ist der Temperatursensor 14 mit der Leiterplatte 10 derart angeordnet, dass dieser die Membrandruckmesszelle 20 berührt und eine Wärmeübergangszone 13 gebildet wird für einen guten Wärmeübergang. In diesem Bereich der Wärmeübergangszone können auch zusätzliche Wärmeleitmittel, wie Wärmeleitpasten, Silikonpads etc., angeordnet werden. Anstelle des externen Temperatursensors 14 wird hingegen bevorzugt der Mikrochip 12 selbst zur Temperaturerfassung verwendet, wobei dann der Mikrochip 12 selber direkt im Kontakt mit der Membrandruckmesszelle 20 angeordnet wird zur Temperaturmessung. In diesem Fall wird der externe Temperatursensor 14 mit den Verbindungsleitungen auf der Leiterplatte 10 nicht benötigt, da Temperatur empfindliche Komponenten innerhalb des Mikrochip 12 diese Aufgabe übernehmen durch entsprechende Programmierung der im Mikrochip abgelegten Software. Dadurch kann die Präzision der Temperaturmessung und somit des korrigierten Drucksignales weiter erhöht werden. Ausserdem wird die Anordnung weiter vereinfacht.

Der dem Mikrochip 12 enthält einen CDC (**C**apacitance to **D**igital **C**onverter), der die druckabhängige Kapazität C_x der Membrandruckmesszelle 20, nach dem Entladungs– Zeitmessverfahren, misst und präzise in ein digitales Signal konvertiert zur Weiterverarbeitung innerhalb des Mikrochips 12. Weiters enthält der Mikrochip 12 einen TDC (**T**emperature to **D**igital **C**onverter), der die gemessene Temperatur T_x an der Membrandruckmesszelle 20 präzise in ein digitales Signal konvertiert

zur Weiterverarbeitung innerhalb des Mikrochips 12, wobei die Temperaturerfassung über einen externen Temperatursensor 14 oder vorzugsweise über den Mikrochip 12 selbst, der dann als Temperatursensor dient, erfolgt. Auf dem Mikrochip ist auch ein DSP (Digitaler Signal Prozessor) und ein Memory als Datenspeicher enthalten. Der DSP verarbeitet die gemessenen Temperatursignale und die Kapazitätssignale nach vorgegebenem Programm, wodurch diese Signale entsprechend den zuvor ermittelten Kalibrierdaten und mit zusätzlichen Korrekturalgorithmen zu einem präzisen Drucksignal aufgearbeitet werden. Es findet neben der Korrektur der Prinzip eigenen Anpassung der Kapazitätsmessung eine überlagerte Korrektur statt entsprechend der spezifisch bei einem Kalibriervorgang ermittelten Werte für jede einzelne Membrandruckmesszelle 20, sowohl für Temperatur wie auch für die gemessene druckabhängige Kapazität. Auf dem Memory werden die Software für den Betrieb des DSP und die Kalibrierdaten der Membrandruckmesszelle 20 abgelegt. Über einen Input – Output Schnittstelle I/O wird nach aussen kommuniziert. Es wichtig, dass all diese Elemente auf einem einzelnen Mikrochip 12 integriert angeordnet sind. Zusätzlich sind an der Leiterplatte 12 ein Referenzwiderstand R_{ref} und ein Referenzkondensator C_{ref} angeordnet welche mit dem Mikrochip möglichst direkt verbunden sind und dem Mikrochip 12 bei der Bestimmung der Temperaturwerte und der Kapazitätswerte der Membrandruckmesszelle 20 dienen. Diese beiden Bauteile müssen von hoher Qualität sein und sehr genaue Werte aufweisen und können nicht auf dem Mikrochip 12 selbst integriert sein. Diese müssen auch sorgfältig an der Leiterplatte montiert sein, um eine gute Langzeitstabilität gewährleisten zu können, was insbesondere für den Referenzkondensator C_{ref} besonders wichtig ist. Damit können die gewünschten schnellen Messzyklen erzielt werden, auch unter Berücksichtigung des komplizierten Temperaturverhaltens der Messzellenanordnung 100, insbesondere der kapazitiven Membrandruckmesszelle 20, womit gleichzeitig ein präzises Drucksignal über die weiten zu messenden Druckbereiche ermöglicht wird welches entsprechend genau mit dem zu messenden Vakuumdruck korreliert.

In den Figuren 2a bis 2c ist beispielsweise, schematisch und im Querschnitt, eine bevorzugte Membrandruckmesszelle 20 etwas detaillierter dargestellt, wobei un-

terschiedliche Anordnungen der Leiterplatte mit den elektronischen Komponenten gezeigt werden.

Eine bevorzugte kapazitive Membrandruckmesszelle 20 ist im Wesentlichen vollständig um die Membran symmetrisch angeordnet aufgebaut. Der erste Gehäusekörper 1 ist vorzugsweise plattenförmig ausgebildet und in einem Abstand von 2 µm bis 50 µm gegenüber der Membran 2 im Randbereich dichtend verbunden angeordnet. Der hierbei gebildete Raum schliesst einen Referenzvakuumraum 25 ein. Der Abstand zwischen den beiden Flächen wird in der Regel direkt beim Montieren über das Dichtungsmaterial 3 oder durch einen stufenförmigen Rand, ausgebildet an einem oder an beiden Körpern, der zwischen dem Membranrand und dem Häuserand liegt, eingestellt. Auf die gleiche Art und Weise wird mit einem zweiten Gehäusekörper 4 auf der gegenüberliegenden Membranseite ein Messvakuumraum 26 ausgebildet, welcher über Anschlussmittel 5, 27 durch eine Messöffnung 27 im zweiten Gehäusekörper 4 für die zu messende Medien erreichbar ist. Die Anschlussmittel können als Stutzen 5 mit einer Verbindungsleitung oder als Rohr die eine Messzuleitung 27' bilden ausgebildet werden und sind mit Verbindungsmitteln dichtend mit dem zweiten Gehäusekörper 4 verbunden. Die beiden Gehäusekörper 1, 4 und die Membran 2 bestehen vorzugsweise aus Al_2O_3 . Zur Aufrechterhaltung eines langzeitstabilen Vakuums hoher Qualität im Referenzvakuumraum 25 wird mit Vorteil am ersten Gehäusekörper 1 ein Getterraum 8 angeordnet, der einen Getter 8' enthält und mit dem Referenzvakuumraum 25 in Verbindung steht.

Bei einer typischen Membrandruckmesszelle 20 als Beispiel mit einem Aussendurchmesser von 38 mm mit einem freien Membran - Innendurchmesser von 30 mm beträgt der Abstand 3 etwa 2 bis 50 µm, vorzugsweise 8 bis 37 µm. Hierbei ist beispielsweise der erste Gehäusekörper 1 5 mm dick und der zweite Gehäusekörper 4 5 mm dick. Der zweite Gehäusekörper 4 wird vorzugsweise im Innenbereich an der Peripherie mit einer ca. 0,5 mm tiefen Ausnehmung versehen zur Bildung einer Stufe, um den Messvakuumraum 26 zu vergrössern. Die Membran 2 und das Gehäuse 1 sind referenzvakuumraumseitig, zur Bildung einer kapazitiven

Membrandruckmesszelle 20, mit je einer elektrisch leitenden Schicht 7, 7' beschichtet. Die beiden Schichten stehen miteinander elektrisch nicht in Verbindung und bilden dadurch die Kondensatorelektroden 7, 7' der Kondensatoranordnung mit der Kapazität C_x . Die elektrischen Anschlüsse der leitenden Schichten 7, 7' erfolgen vorzugsweise mit vakuumdichten, elektrisch leitenden Durchführungen, vorzugsweise durch den Gehäusekörper 1, wo sie dann mit der Auswertelektronik, insbesondere dem Mikrochip 12 auf der Leiterplatte 10, verbunden werden können.

In der Figur 2a ist beispielsweise eine Messzellenanordnung 100 dargestellt bei der ein externer Temperatursensor 14 als einzelnes Bauteil verwendet wird zur Temperaturerfassung an der Membrandruckmesszelle 20. Hierbei ist der Temperatursensor 14 auf der Unterseite der Leiterplatte angeordnet und steht im Kontakt mit der Membrandruckmesszelle 20. Im Kontaktbereich befindet sich die Wärmeübergangszone 13 wo der direkte Wärmeübergang stattfindet. Es ist von Vorteil wenn der Temperatursensor 14 nahe zum Mikrochip 12 positioniert, vorzugsweise gegenüber liegend. Hier ist der Temperatursensor 14 beispielsweise unterhalb der Leiterplatte 10 positioniert und der Mikrochip 12 darüber.

Zusätzlich ist in der Figur 2a dargestellt wie der Referenzkondensator C_{ref} möglichst nahe beim Mikrochip 12 angeordnet ist. Um den Kapazitätswert dieses Referenzkondensators C_{ref} möglichst stabil und reproduzierbar halten zu können, auch über lange Betriebszeit, wird mit Vorteil unter diesem Bauteil, zwischen den beiden Anschlüssen, eine Öffnung 15 an der Leiterplatte 12 vorgesehen. Dadurch können dort Ablagerungen und allfällige Feuchtigkeitsschwankungen verringert werden, die einen ungünstigen Einfluss auf das hochempfindliche Bauelement ausüben können. Diese Montageanordnung ist in den Figuren 2a bis 2c dargestellt, wobei der Referenzkondensator C_{ref} sowohl auf der Oberseite der Leiterplatte 12, wie in der Figur 2a und 2c dargestellt, aber auch auf der Unterseite gemäß der Figur 2b angeordnet werden kann.

Eine weitere Anordnung, wo der Mikrochip 12 gleichzeitig selber als Temperatursensor wirkt ist in der Figur 2b und 2c dargestellt. In diesem Fall wird der Mikro-

chip 12 auf der Unterseite der Leiterplatte 10 angeordnet und steht direkt in thermischem Kontakt mit der Membrandruckmesszelle 20. Wie bereits erwähnt ist dies eine bevorzugte Anwendung, da diese besonders gute Resultate liefert.

Ein Beispiel einer besonders bevorzugten Verfahren für eine präzise und schnelle
5 Vakuumdruckmessung beinhaltet eine Messzellenanordnung 100 enthaltend eine kapazitive Membrandruckmesszelle 20 zur Messung von Vakuum mit einer Membran 2 als Druckwandler, wobei auf der einen Seite der Membran 2 beabstandet ein erster Gehäusekörper 1 im Randbereich mit einem Verbindungsmittel 3' dichtend
10 angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Referenzvakuumraum 25 ausgebildet ist, und dass auf der anderen Seite der Membran 2 beabstandet ein zweiter Gehäusekörper 4 im Randbereich mit einem Verbindungsmittel 3 dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Messvakuumraum 26 ausgebildet ist, und dass der zweite Gehäusekörper 4 eine Öffnung 27 aufweist an der Anschlussmittel 5 mit Verbindungsmittel 27' dichtend angeordnet sind zur kommunizierenden Ver-
15 bindung des Messvakuumraumes 26 mit dem zu messenden Medium, wobei innerhalb des Referenzvakuumraumes 25 zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche der Membran 2 und gegenüberliegend zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche des ersten Gehäusekörpers 1 je elektrisch leitend ausgebildet wird und Kondensatorelektroden 7, 7' bilden zur Ausbildung einer elektrischen Kapazität
20 (C_x) und dass die Messzellenanordnung 100 eine Leiterplatte 10 aufweist, die mit elektronischen Komponenten 12, 14, R_{ref} , C_{ref} bestückt ist und mindestens eine davon als Temperatursensor wirkt, wobei die Leiterplatte 10 mit den Kondensatorelektroden 7, 7' der Membrandruckmesszelle 20 elektrisch verbunden ist. Hierbei wird die Leiterplatte 10 derart gegenüber der Membrandruckmesszelle 20 positio-
25 niert angeordnet, dass diejenige Komponente, die als Temperatursensor wirkt den ersten Gehäusekörper über eine Wärmeübergangszone 13 thermisch kontaktiert und dass eine weitere elektronische Komponente als Mikrochip 12 ausgebildet ist und dieser einen Digitalen Signal Prozessor (DSP) enthält mit einem Temperatur zu Digital Converter (TDC) und einem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC) der nach dem Zeitmessverfahren arbeitet, welche die Temperatur T_x und
30 die Kapazität C_x der Membrandruckmesszelle 20 ermitteln im Vergleich mit einem

an der Leiterplatte angeordnetem Referenzwiderstand R_{ref} für die Temperatur und einem Referenzkondensator C_{ref} für die Kapazität C_x , welche das Mass bildet für den zu messenden Druck abhängig von der Deformation der Membran 2, wobei aus beiden gemessenen Signalen mit Korrelationsmitteln, welche vorgängig aus einem Kalibriervorgang ermittelt wurden, ein Temperatur korrigiertes Drucksignal abgeleitet wird, welches als Drucksignal $p=f(C_x, T_{\text{eff}})$ am Signalausgang 16 ausgegeben wird zur weiteren Verarbeitung.

Für die Auswertung der für jede Membrandruckmesszelle 20 durch die Kalibrierung ermittelten Werte können folgende Kombinationen verwendet werden:

Die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und für das Drucksignal können als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips 12 abgespeichert werden.

Die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und das Drucksignal können auch als mathematische Funktion $T_{\text{eff}}=f(T_x)$ und $P_{\text{eff}}=f(C_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden.

Die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur können auch als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips 12 abgespeichert werden und die durch Kalibrierung ermittelten Werte für das Drucksignal als mathematische Funktion $P_{\text{eff}}=f(C_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips 12 abgespeichert werden.

Die durch Kalibrierung ermittelten Werte für das Drucksignal können als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden und die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur können als mathematische Funktion $T_{\text{eff}}=f(T_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden.

Das Drucksignal, aus der, mit dem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC), gemessenen Kapazität C_x der Membrandruckmesszelle 20, und dem, mit dem Temperatur zu Digital Converter (TDC), gemessenen Temperaturwert T_x mit den Korrelationsmitteln innerhalb desselben Mikrochips 12 mit einem Digitalen Signal Pro-

zessor (DSP) verknüpft wird und als Druckwert am Signalausgang 16 ausgegeben wird.

Für jede Membrandruckmesszelle (20) werden die Kalibrierwerte separat ermittelt für die Korrektur der gemessenen Temperaturwerte und für die Bestimmung des Drucksignals und werden in den Speicher (memory) des Mikrochip 12 eingelesen. Der Messzyklus im Mikrochip 12 wird auf kleiner 8 ms eingestellt wird, vorzugsweise kleiner 1ms.

Die Signalqualität der gemessenen Drucksignale an der Kapazität C_x der kapazitiven Membrandruckzelle 20 und / oder des Temperatursignales T_x können mit Vorteil weiter verbessert werden, indem diese Signale mit einem zusätzlichen Algorithmus bearbeitet werden. Besonders Vorteilhaft wird hierbei das Signalrauschen behandelt. Um das Signalrauschen zu verkleinern, werden beispielsweise innerhalb eines Messzyklus mehrere Einzelmessungen durchgeführt und daraus der Mittelwert bestimmt. Der Mittelwert wird vom DSP berechnet. Es können auch andere Verfahren zur Rauschreduzierung als Mittelung verwendet werden. Aus diesem Mittelwert berechnet der DSP mittels einer geeigneten Rechenvorschrift den effektiven Druckmesswert. Diese Rechenvorschrift beschreibt den Zusammenhang zwischen der gemessenen Kapazitätswert C_x und dem entsprechenden Druckwert. Dieser Zusammenhang ist, wie bereits zuvor erwähnt, auch temperaturabhängig. Für eine möglichst genaue Druckmessung muss also auch die Sensor Temperatur gemessen und zur Korrektur des gemessenen Drucksignales berücksichtigt werden.

Die Temperaturmessung geschieht beispielsweise über einen geeigneten temperaturempfindlichen Sensor wie z.B. einen Pt1000 Widerstand oder einen anderen elektrischen Widerstand. Besonders bevorzugt wird hierbei die Verwendung der internen Komponenten des Mikrochips 12 selbst als Temperatursensor. Das gemessene Temperatursignal vom Temperatursensor 14 oder vom Mikrochip 12 wird von einem Temperature-to-digital converter (TDC) in ein digitales Signal gewandelt. Die Temperatur wird vorzugsweise in demselben Messzyklus gemessen wie die Kapazität. Da sich die Temperatur im Vergleich zum Druck weniger schnell

ändert kann das Temperatursignal aufwändiger behandelt werden, wie beispielsweise und bevorzugt stark gefiltert.

Ein solcher Filter ist beispielsweise von der Form:

5
$$R_{\text{gefiltert}}(n+1) = k \cdot (R_{\text{gefiltert}}(n) + (1-k) \cdot R_x .$$

Mit $k=0.99$ kann das Signalrauschen auf beispielsweise kleiner 10 ppm (entspricht $0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$) reduziert werden, während die Ansprechzeit sogar unterhalb von 1 s bleibt bei einer Messzeit von 1 ms.

- 10 Es kann auch ein anderer günstiger Filter verwendet werden. Die Filterung wird vom DSP nach vorgegebenem Algorithmus ausgeführt. Aus dieser gefilterten Temperatur berechnet der DSP mittels einer Rechenvorschrift die effektive Temperatur.

- 15 Bei Verwendung eines Pt1000 Temperatursensors lautet der Zusammenhang beispielsweise wie folgt:

$$(1) T_{\text{berechnet}} [^{\circ}\text{C}] = a_3 \cdot R^3 + a_2 \cdot R^2 + a_1 \cdot R + a_0$$

- 20 Mit $T_{\text{berechnet}}$ die aus den Messwerten berechnete Temperatur, R der gemessene und gefilterte Widerstand und den Koeffizienten:

$$a_3 = 0.719405$$

$$a_2 = 7.542922$$

$$a_1 = 238.616231$$

25 $a_0 = -246.878394$

Zur Messung der Rohdaten (1. Schritt der Kalibration) werden die obigen Parameter verwendet, d.h. bei mindestens drei verschiedenen Temperaturen $T_{\text{tatsächlich}}$ (z.B. 15°C , 30°C und 45°C) wird $T_{\text{berechnet}}$ bestimmt.

- Mittels einer geeigneten mathematischen Fit-Methode (Ausgleichsrechnung),
30 wie beispielsweise einem Least Square Fit, wird aus den berechneten Temperaturwerten ($T_{\text{berechnet}} [^{\circ}\text{C}]$ und tatsächliche Temperatur) eine Korrekturfunktion erster oder auch höherer Ordnung bestimmt. Diese beschreibt den Zusammenhang zwischen der tatsächlichen und der gemessenen Temperatur. Bei Verwen-

derung von drei verschiedenen Kalibriertemperaturen ergibt sich eine Korrekturfunktion in der Form:

$$(2) T_{\text{tatsächlich}} = k_1 * T_{\text{berechnet}} + k_0 \text{ mit}$$

5

$T_{\text{tatsächlich}}$: gesuchte Temperatur [°C]

k_1 : Resultat von Least Square Fit 1. Ordnung

k_0 : Resultat von Least Square Fit 1. Ordnung

k_1 entspricht dem "Gain" resp. Verstärkungs-Fehler der Messanordnung

10 k_0 entspricht dem "Offset" resp. Versatz-Fehler der Messanordnung

(1) in (2) eingesetzt ergibt:

$$T_{\text{tatsächlich}} = b_3 * R^3 + b_2 * R^2 + b_1 * R + b_0 \text{ mit}$$

15 $b_3 = a_3 * k_1$

$b_2 = a_2 * k_1$

$b_1 = a_1 * k_1$

$b_0 = a_0 * k_1 + k_0$

20 Im letzten Schritt werden die Werte $a_3..a_0$ durch die Werte $b_3..b_0$ ersetzt und auf dem Sensor gespeichert.

Auf ähnliche Weise können Signalfilteralgorithmen auch für die Verbesserung der Signalqualität des Druckmesssignales eingesetzt werden. Das gemessene
 25 Drucksignal und / oder Temperatursignal mit mindestens einem weiteren Algorithmus innerhalb des Mikrochips 12 mit dem Digitalen Signal Prozessor (DSP) bearbeitet zur Erhöhung der gemessenen Signalqualität und mit dem Drucksignal korreliert zur Erhöhung der Drucksignalqualität, die am Signalausgang 16 ausgegeben wird, wobei vorzugsweise mindestens einer der Algorithmen als Signalfilteralgorithmus ausgebildet ist. Die gefilterten Temperatursignale werden also mit
 30 dem gefilterten Druckmesssignal korreliert bzw. korrigiert, womit neben der Kalib-

rierung, die zusätzlich erfolgt, das Drucksignal am Ausgang 16 der Messzellenanordnung 100 eine weiter erhöhte Qualität aufweist bezüglich Präzision.

Derartige Algorithmen können dank dem erfindungsgemässen Verfahren zusätzlich eingeführt werden, da die Anordnung der Komponenten in der Messzellenanordnung 100 zusammen mit dem definierten Aufbau des Mikrochips 12, gemäss
5 der Erfindung, eine raschere Signalaufbereitung ermöglicht.

Ein Algorithmus für Reduzierung des Signalrauschens ist besonders vorteilhaft, wie er beispielsweise zuvor beschrieben wurde. Signalrauschreduzierung bewirkt
10 eine stabilere Signalausgabe, da die Daten z.B. gemittelt oder eben gefiltert werden. Sie ermöglicht auch noch bei kleinem Signal zu Rauschabstand oder sogar noch bei $S/N < 1$ brauchbare Messwerte zu erhalten, und damit den Messbereich zu erweitern.

Es kann nicht nur das Temperatursignal, sondern mit Vorteil auch die Kapazitäts -
15 Drucksignale gefiltert werden. Eine raschere Signalaufbereitung wie sie die Messzellenanordnung 100 zusammen mit dem definierten Aufbau des Mikrochips 12 erlaubt, ermöglicht nun auch eine aufwändigere Filterung und damit einhergehend auch eine Ausweitung des Messbereichs oder eine bessere Datenqualität, sogar in industriellen Umgebungen, wo es mehr unerwünschte
20 Störeinflüsse auf die Sensoren gibt.

In der Figur 3 ist schematisch die Beschaltung von zwei Messzellenanordnungen 100 zur Signalaufbereitung mit beispielsweise möglichst zeitgleichen, synchronisiertem Betrieb der Erfassung der Druckmessung durch schnelle Erfassung der
25 echten Druckverhältnisse im Vakuumprozess. Die Messzellenanordnung 100 wird hierbei als Referenzmessanordnung verwendet zur Kalibrierung von Vakuummesszellen, insbesondere nach dem Verfahren durch statische Expansion. Die Drucksignale der beiden Messzellenanordnungen 100 werden von deren Signalausgängen 16, 16' der Signalaufbereitungseinheit 200 zugeführt. Diese übernimmt
30 die Drucksignale über die vorhandenen Interface 17, 17' und werden mit einem FPGA (Field Programmable Array), das durch einen Real Time Clock getaktet wird und einem folgenden Processor verarbeitet und über das Interface 18 weiter-

gegeben. Daran angeschlossen kann eine Einheit zur Datenverarbeitung 300 mit einem Interface 19 und einem Computer die weitere Auswertung der Daten (Data) vornehmen.

- 5 Die erfindungsgemässe Messzellenanordnungen 100 ist gut geeignet für die Kalibrierung von anderen Vakuumdruckmesszellen, wegen der hohen Präzision der Messung, die erreicht werden kann und dies bei hoher Geschwindigkeit des Messvorganges. Besonders geeignet ist hierbei der Einsatz beim Kalibrierungsverfahren von Messzellen nach dem Verfahren durch statische Expansion.
- 10 Bei dem Kalibrierungsverfahren von Messzellen nach dem Verfahren durch statische Expansion werden beispielsweise, entsprechend der Darstellung nach der Figur 4, zwei Vakuumkammern 30, 31 verwendet, wobei die zweite Vakuumkammer 31 mit einer Vakuumpumpe 32 evakuiert wird. Diese Vakuumkammern 30, 31 sind über eine zweite Leitung 37, mit einer dazwischen geschaltete Blende 34 und
- 15 einem zweiten Ventil 36, miteinander verbunden. Die erste Vakuumkammer 30 ist über eine erste Leitung 33 mit einem ersten Ventil 35 mit der Gaszuführung bzw. Atmosphäre verbunden. An jeder der Vakuumkammern 30, 31 ist je eine Messzellenanordnung 20, 20' als Referenzmessanordnung angeordnet, wobei diese vorzugsweise mit einer Signalaufbereitungseinheit 200 zeitsynchronisiert bzw. mög-
- 20 lichst zeitsynchron wegen der nun möglichen schnellen Messzyklen betrieben werden können. Die zu prüfenden Messzellen können als Messzellenprüflinge 40, 41 je mit an den Vakuumkammern 30, 31 angeordnet werden.

- Eine weitere besonders Vorteilhafte Anwendung ist die Verwendung der erfindungsgemässen Messzellenanordnung 100 in einem Gasdruckregelsystem zur präzisen Regelung und Einstellung des Gasdruckes in einem Vakuumprozesssystem. Dies ermöglicht dank der schnellen und präzisen Messung eine sehr präzise Prozessführung der Vakuumprozesse.
- 25

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vakuumdruckmessung mit einer Messzellenanordnung (100) enthaltend eine kapazitive Membrandruckmesszelle (20) zur Messung von Vakuum mit einer Membran (2) als Druckwandler, wobei auf der einen Seite der Membran (2) beabstandet ein erster Gehäusekörper (1) im Randbereich mit einem Verbindungsmittel (3') dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Referenzvakuumraum (25) ausgebildet ist, und dass auf der anderen Seite der Membran (2) beabstandet ein zweiter Gehäusekörper (4) im Randbereich mit einem Verbindungsmittel (3) dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Messvakuumraum (26) ausgebildet ist, und dass der zweite Gehäusekörper (4) eine Öffnung (27) aufweist an der Anschlussmittel (5) mit Verbindungsmittel dichtend angeordnet sind zur kommunizierenden Verbindung des Messvakuumraumes (26) mit dem zu messenden Medium, wobei innerhalb des Referenzvakuumraumes (25) zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche der Membran (2) und gegenüberliegend zumindest ein Teil mindestens der Oberfläche des ersten Gehäusekörpers (1) je elektrisch leitend ausgebildet wird und Kondensatorelektroden (7, 7') bilden zur Ausbildung einer elektrischen Kapazität (C_x) und dass die Messzellenanordnung (100) eine Leiterplatte (10) aufweist, die mit elektronischen Komponenten (12, 14, R_{ref} , C_{ref}) bestückt ist und mindestens eine davon als Temperatursensor wirkt, wobei die Leiterplatte (10) mit den Kondensatorelektroden (7, 7') der Membrandruckmesszelle (20) elektrisch verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leiterplatte (10) derart gegenüber der Membrandruckmesszelle (20) positioniert angeordnet wird, dass diejenige Komponente, die als Temperatursensor wirkt den ersten Gehäusekörper über eine Wärmeübergangszone (13) thermisch kontaktiert und dass eine weitere elektronische Komponente als Mikrochip (12) ausgebildet ist und dieser einen Digitalen Signal Prozessor (DSP) enthält mit einem Temperatur zu Digital Converter (TDC) und einem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC) der nach dem Zeitmessverfahren arbeitet, welche die Temperatur (T_x) und die Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle (20) ermitteln im Vergleich mit

einem an der Leiterplatte angeordnetem Referenzwiderstand (R_{ref}) für die Temperatur und einem Referenzkondensator (C_{ref}) für die Kapazität (C_x), welche das Mass bildet für den zu messenden Druck abhängig von der Deformation der Membran (2), wobei aus beiden gemessenen Signalen mit Korrelationsmitteln, welche vorgängig aus einem Kalibriervorgang ermittelt wurden, ein Temperatur korrigiertes Drucksignal abgeleitet wird, welches als Drucksignal $p=f(C_x, T_{eff})$ am Signalausgang (16) ausgegeben wird zur weiteren Verarbeitung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und für das Drucksignal als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur und das Drucksignal als mathematische Funktion $T_{eff}=f(T_x)$ und $P_{eff}=f(C_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden und die durch Kalibrierung ermittelten Werte für das Drucksignal als mathematische Funktion $P_{eff}=f(C_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden..
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durch Kalibrierung ermittelten Werte für das Drucksignal als Tabelle in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden und die durch Kalibrierung ermittelten Werte für die Temperaturkorrektur als mathematische Funktion $T_{eff}=f(T_x)$ in einem Speicher (memory) innerhalb des Mikrochips (12) abgespeichert werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drucksignal, aus der, mit dem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC), gemessenen Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle (20),
5 und dem, mit dem Temperatur zu Digital Converter (TDC), gemessenen Temperaturwert (T_x) mit den Korrelationsmitteln innerhalb desselben Mikrochips (12) mit einem Digitalen Signal Prozessor (DSP) verknüpft wird und als Druckwert am Signalausgang (16) ausgegeben wird.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede Membrandruckmesszelle (20) die Kalibrierwerte separat ermittelt werden für die Korrektur der gemessenen Temperaturwerte und für die Bestimmung des Drucksignals und in den Speicher (memory) des Mikrochip (12) eingelesen werden.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Temperatursensor ein Widerstandselement verwendet wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Temperatursensor der Mikrochip selbst verwendet wird, der über die Wärmeübergangszone (13) die Membrandruckmesszelle (20) thermisch kontaktiert.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Leiterplatte eine Aussparung vorgesehen wird über welcher der Referenzkondensator (C_{ref}) montiert wird, derart dass der Referenzkondensator (C_{ref}) die Leiterplatte nur an dessen Anschlussenden kontaktiert.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messzyklus im Mikrochip (12) auf kleiner 8 ms eingestellt wird, vorzugsweise kleiner 1 ms.
- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens der erste Gehäusekörper (1) mindestens zum Teil und / oder die Membran (2) aus einem dielektrischen Material ausgebildet werden und an deren gegenüberliegenden Oberflächen diese mit Kondensatorelektroden (7, 7') versehen werden, die aus einer elektrisch leitenden Schicht ausgebildet werden.
- 10 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das dielektrische Material als ein Aluminiumoxidkeramik ausgebildet wird, wobei vorzugsweise der erste Gehäusekörper (1), die
- 15 Membran (2) und der zweite Gehäusekörper (4) aus diesem Keramik ausgebildet werden und vorzugsweise die beiden Gehäusekörper (1, 4) plattenförmig ausgebildet werden.
- 20 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das gemessene Drucksignal und / oder Temperatursignal mit mindestens einem weiteren Algorithmus innerhalb des Mikrochips 12 mit dem Digitalen Signal Prozessor (DSP) bearbeitet wird zur Erhöhung der gemessenen Signalqualität und mit dem Drucksignal korreliert wird zur Erhöhung der Drucksignalqualität, die am Signalausgang (16) ausgegeben wird,
- 25 wobei vorzugsweise mindestens einer der Algorithmen als Signalfilteralgorithmus ausgebildet ist.
- 30 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messzellenanordnung (100) als Referenzmessenanordnung verwendet wird zur Kalibrierung von Vakuummesszellen, vorzugsweise nach dem Verfahren durch statische Expansion.

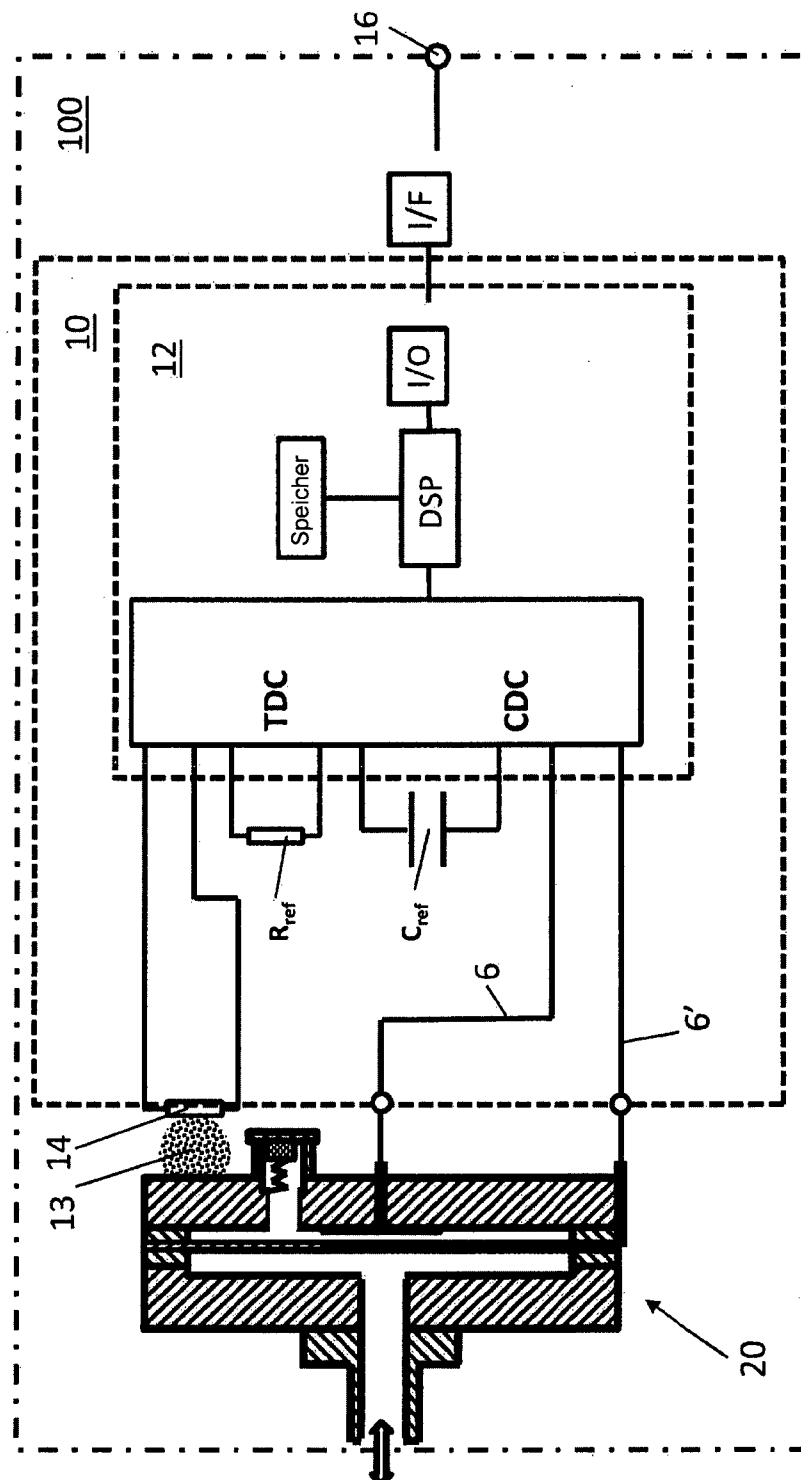
16. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das für Verfahren zur Kalibrierung von Messzellen zwei Vakuumkammern (30, 31) verwendet werden, welche über eine Leitung (37), mit einer dazwischen geschaltete Blende (34) und einem Ventil (36), miteinander verbunden sind, wobei an jeder Vakuumkammer (30, 31) je eine Messzellenanordnung (20) als Referenzmessanordnung verwendet wird, und diese vorzugsweise mit einer Signalaufbereitungseinheit (200) zeitsynchronisiert betrieben werden.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messzellenanordnung (100) in einem Gasdruckregelsystem verwendet wird zur Einstellung des Gasdruckes in einem Vakuumprozesssystem.
18. Messzellenanordnung (100) enthaltend eine kapazitive Membrandruckmesszelle (20) zur Messung von Vakuum mit einer Membran (2) als Druckwandler, wobei auf der einen Seite der Membran (2) beabstandet ein erster Gehäusekörper (1) im Randbereich mit einem Verbindungsmittel (3') dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Referenzvakuumraum (25) ausgebildet ist, und dass auf der anderen Seite der Membran (2) beabstandet ein zweiter Gehäuseplatte (4) im Randbereich mit einem Verbindungsmittel (3) dichtend angeordnet ist, derart dass dazwischen ein Messvakuumraum (26) ausgebildet ist, und dass der zweite Gehäusekörper (4) eine Öffnung (27) aufweist an der Anschlussmittel (5) mit Verbindungsmittel dichtend angeordnet sind zur kommunizierenden Verbindung des Messvakuumraumes (26) mit dem zu messenden Medium, wobei innerhalb des Referenzvakuumraumes (25) zumindest Teilbereiche der Oberfläche der Membran (2) und gegenüberliegend zumindest Teilbereiche der Oberfläche des ersten Gehäusekörpers (1) je elektrisch leitend ausgebildet ist und Kondensatorelektroden (7, 7') bilden zur Ausbildung einer elektrischen Kapazität (C_x) und dass die Messzellenanordnung (100) eine Leiterplatte (10) aufweist, die mit elektronischen Komponenten (12, 14, R_{ref} , C_{ref}) bestückt ist und mindestens eine davon als Temperatursensor wirkt, wobei die Leiterplatte (10) mit den Kondensatoren

satorelektroden (7, 7') der Membrandruckmesszelle (20) elektrisch verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leiterplatte (10) derart gegenüber der Membrandruckmesszelle (20) positioniert angeordnet ist, dass diejenige Komponente, die als Temperatursensor wirkt den ersten Gehäusekörper über eine Wärmeübergangszone (13) thermisch kontaktiert und dass eine weitere elektronische Komponente als Mikrochip (12) ausgebildet ist und dieser einen Digitalen Signal Prozessor (DSP) enthält mit einem Temperatur zu Digital Converter (TDC) und einem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC) der nach dem Zeitmessverfahren arbeitet, welche die Temperatur (T_x) und die Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle (20) ermitteln im Vergleich mit einem an der Leiterplatte angeordnetem Referenzwiderstand (R_{ref}) für die Temperatur und einer Referenzkondensator (C_{ref}) für die Kapazität (C_x), welche das Mass bildet für den zu messenden Druck abhängig von der Deformation der Membran (2), wobei aus beiden gemessenen Signalen mit Korrelationsmitteln, welche vorgängig aus einem Kalibriervorgang ermittelt wurden, ein Temperatur korrigiertes Drucksignal abgeleitet wird, welches als Drucksignal $p=f(C_x, T_{eff})$ am Signalausgang (16) ausgegeben wird zur weiteren Verarbeitung.

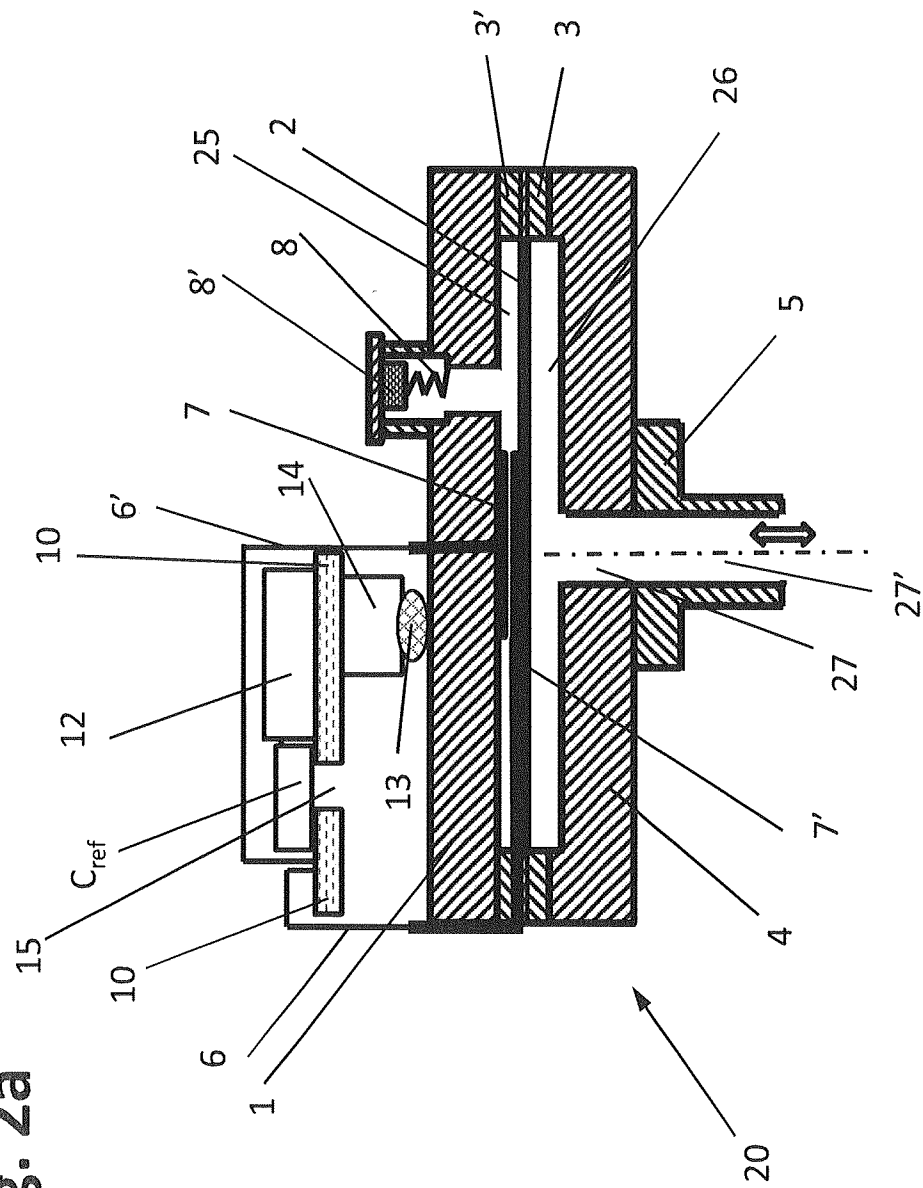
19. Messzellenanordnung (100) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Drucksignal, aus der, mit dem Kapazitäts zu Digital Converter (CDC), gemessenen Kapazität (C_x) der Membrandruckmesszelle (20), und dem, mit dem Temperatur zu Digital Converter (TDC), gemessenen Temperaturwert (T_x) mit den Korrelationsmitteln innerhalb desselben Mikrochips (12) mit einem Digitalen Signal Prozessor (DSP) verknüpft wird und als Druckwert am Signalausgang (16) ausgegeben wird.

20. Messzellenanordnung (100) nach einem der Ansprüche 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede Membrandruckmesszelle (20) die Kalibrierwerte separat ermittelt werden für die Korrektur der gemessenen Temperaturwerte und für die Bestimmung des Drucksignals und in den Speicher (memory) des Mikrochip (12) eingelesen werden.

Fig. 1



26
ف. ٢٦



2000

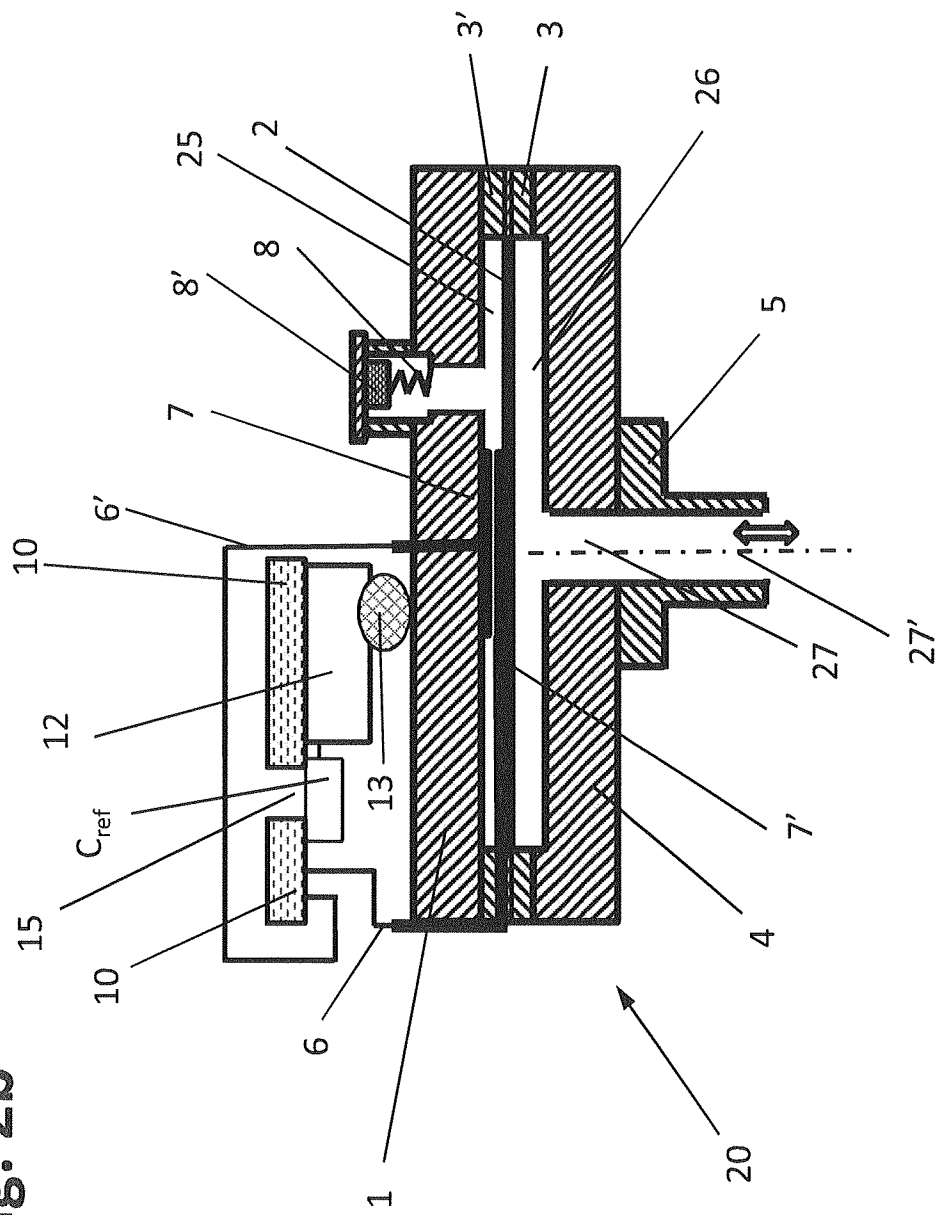


Fig. 2c

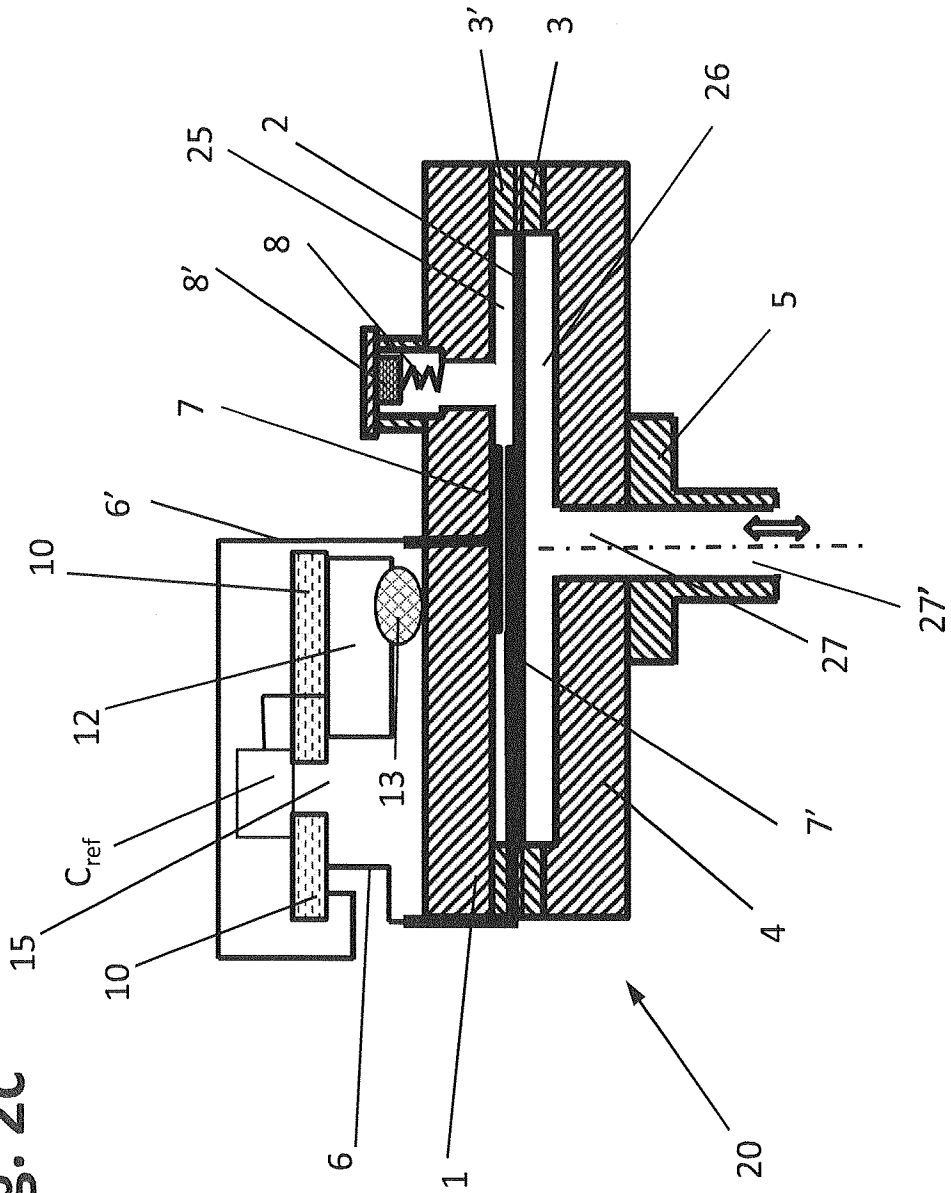
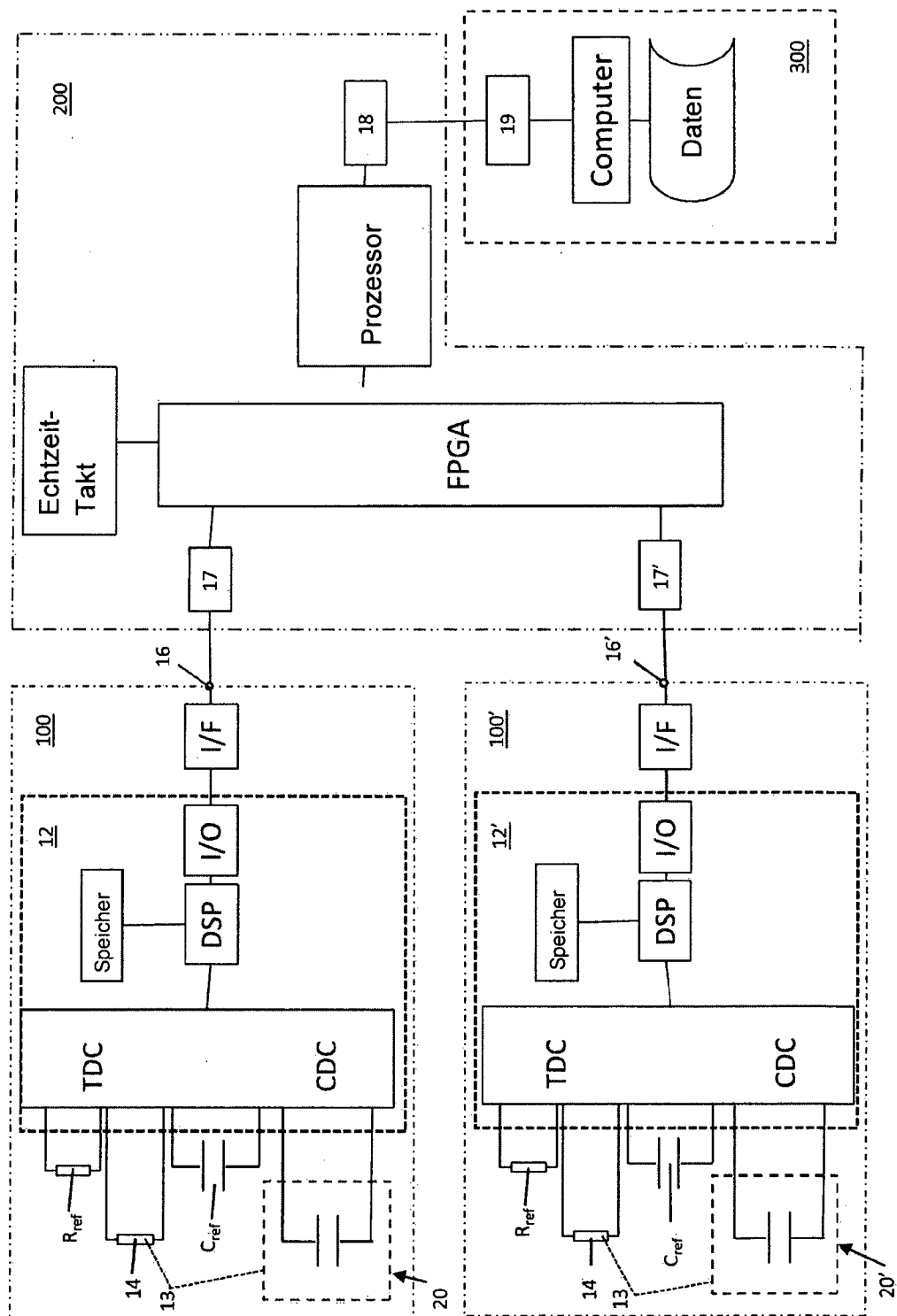


Fig. 3



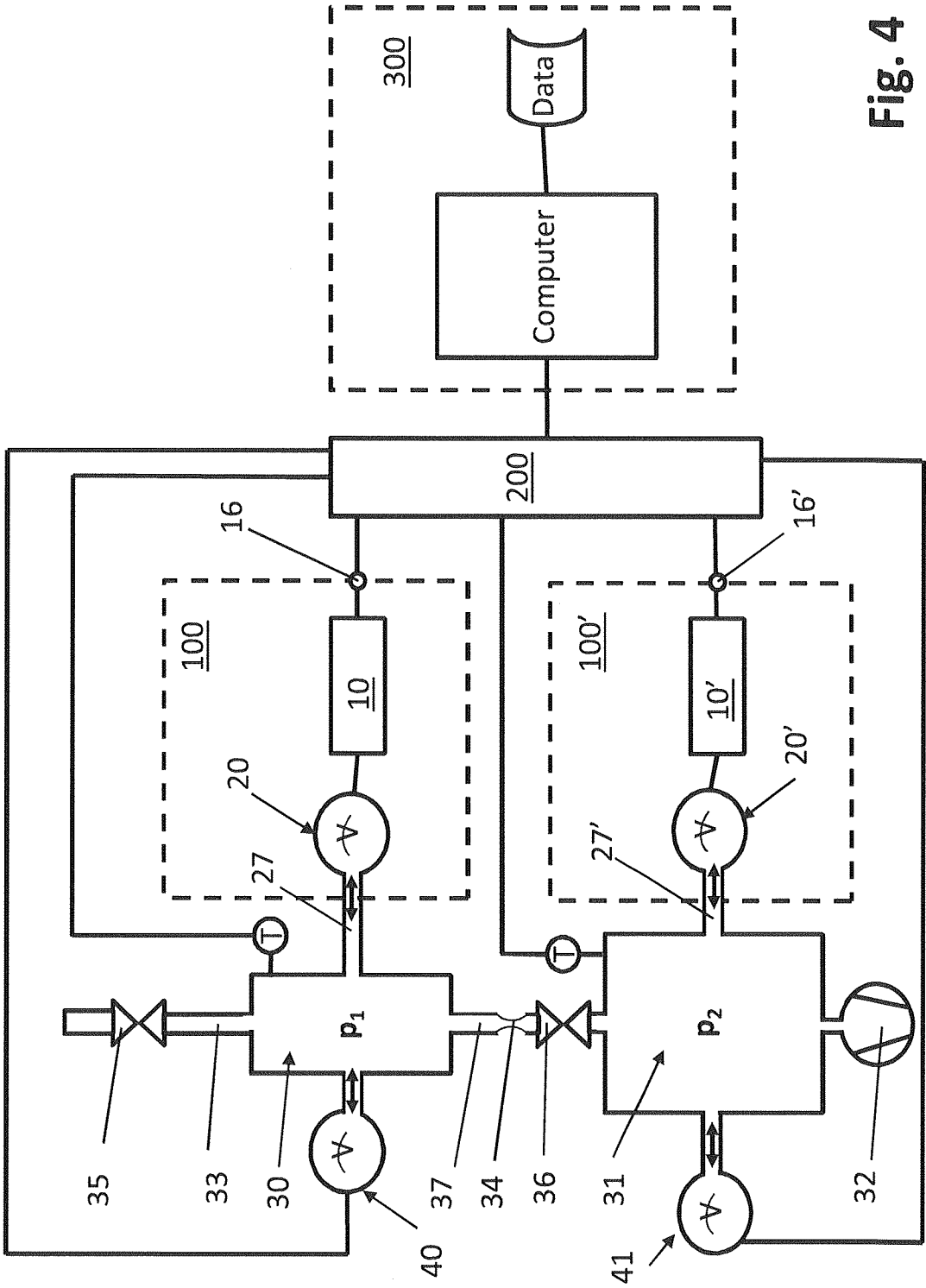


Fig. 4

Fig. 5

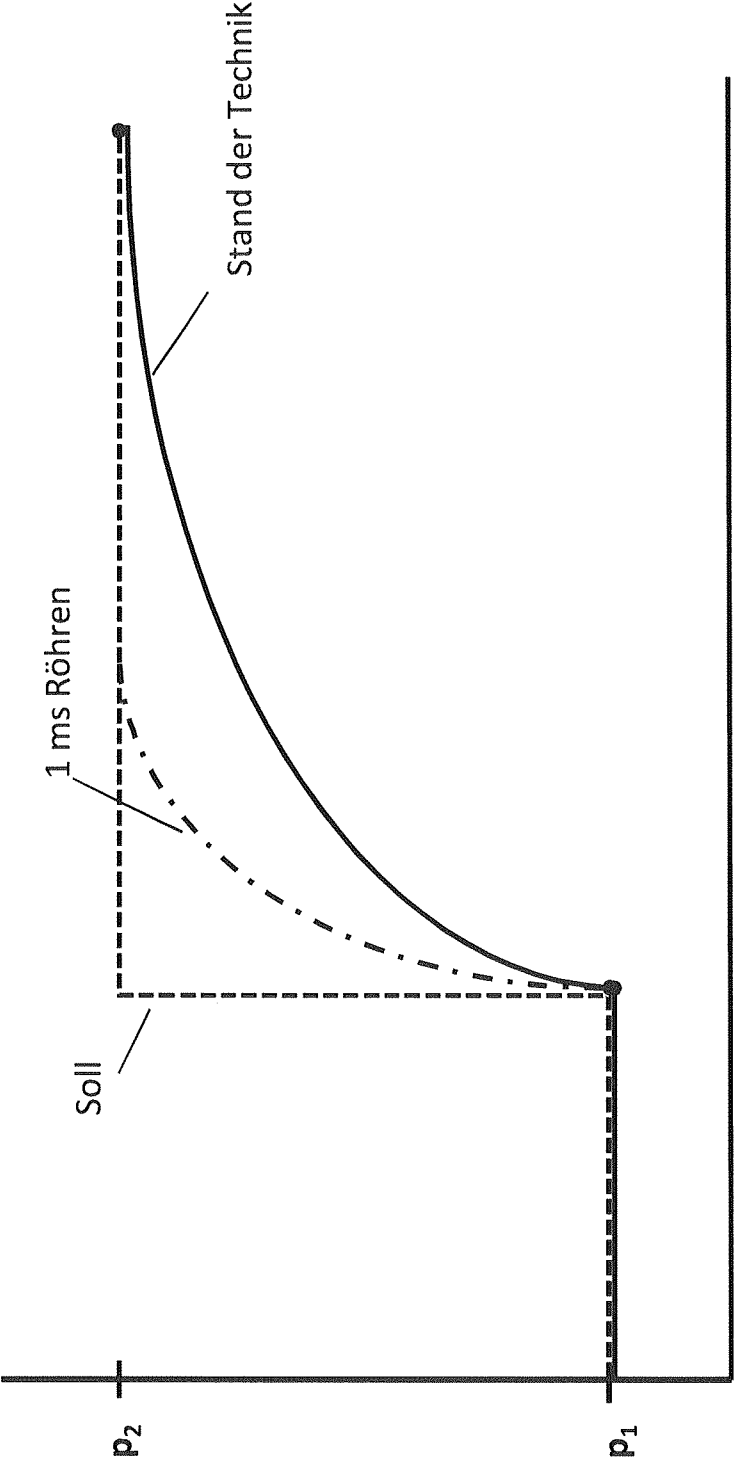


Fig. 6

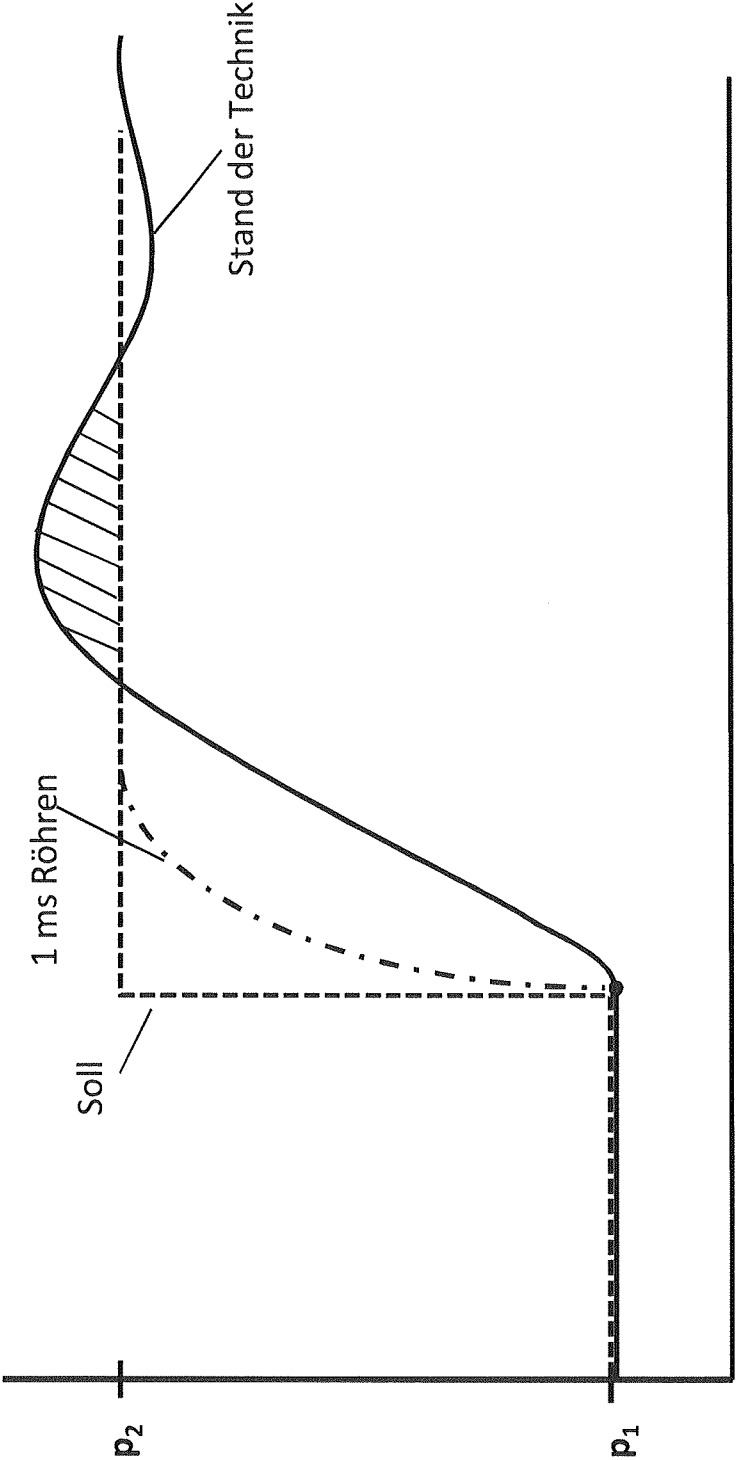
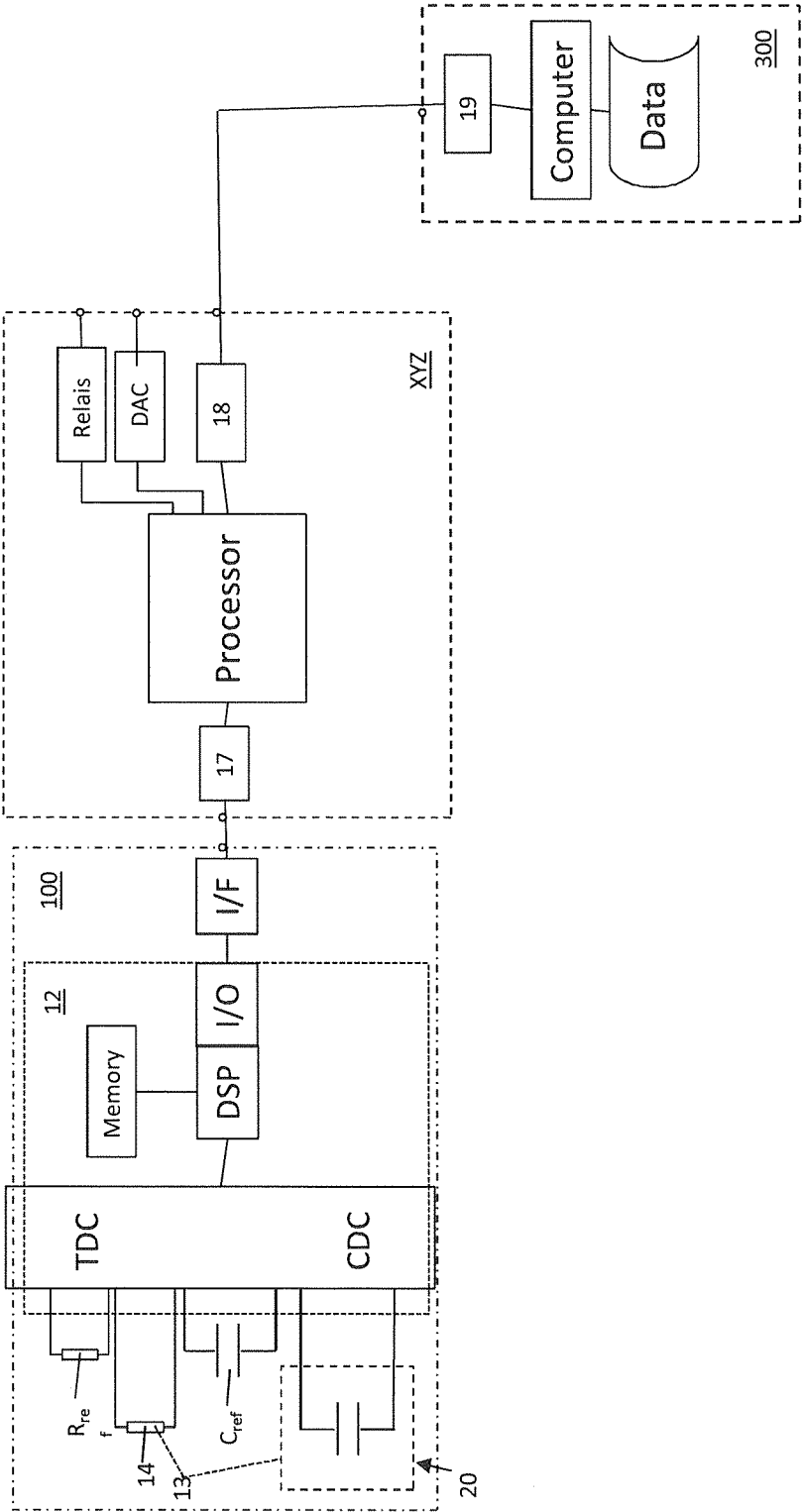


Fig. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/074313

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01L9/00 G01L9/12 G01L13/02 G01L19/00 G01L21/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2008/110269 A1 (STRIETZEL CARSTEN [AU] ET AL STRIETZEL CARSTEN [AT] ET AL) 15 May 2008 (2008-05-15) claim 18; figure 1 -----	1-20
Y	DE 39 12 219 A1 (TESLA KP [CS]) 26 October 1989 (1989-10-26) claim 1 -----	1-20
A	US 7 484 416 B1 (KLOSINSKI ANDREW J [US] ET AL) 3 February 2009 (2009-02-03) claims 1,7; figure 4 -----	1-20
A	WO 97/27802 A1 (RADI MEDICAL SYSTEMS [SE]; SMITH LEIF [SE]) 7 August 1997 (1997-08-07) claims 1,2,4,5,8,10 ----- -/-	1-20
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 31 March 2014		Date of mailing of the international search report 10/04/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Cilissen, Marcel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/074313

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2009 002662 A1 (IFM ELECTRONIC GMBH [DE]) 28 October 2010 (2010-10-28) paragraphs [0040], [0043]; claims 2,8 -----	1-20
A	US 5 992 240 A (TSURUOKA MICHIIKO [JP] ET AL) 30 November 1999 (1999-11-30) claims 1,4 -----	1-20
A	EP 1 174 696 A2 (GRIESHABER VEGA KG [DE]) 23 January 2002 (2002-01-23) claims 3,6 -----	1-20
A	EP 0 524 550 A1 (FIBRONIX SENSOREN GMBH [DE]) 27 January 1993 (1993-01-27) page 8, lines 1-7; claims 1,11,12 -----	1-20
A	WO 2010/049794 A1 (RADI MEDICAL SYSTEMS [SE]; TIENSUU STEFAN [SE]; RYDBERG MATTS [SE]; JO) 6 May 2010 (2010-05-06) claims 6,12; figure 1 -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/074313

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008110269	A1	15-05-2008	DE 112007002372 A5	17-09-2009
			JP 5289321 B2	11-09-2013
			JP 2010509573 A	25-03-2010
			US 2008110269 A1	15-05-2008
			WO 2008058406 A1	22-05-2008

DE 3912219	A1	26-10-1989	NONE	

US 7484416	B1	03-02-2009	CN 101821690 A	01-09-2010
			EP 2201432 A1	30-06-2010
			JP 5323848 B2	23-10-2013
			JP 2011501288 A	06-01-2011
			US 7484416 B1	03-02-2009
			WO 2009051652 A1	23-04-2009

WO 9727802	A1	07-08-1997	DE 69725703 D1	27-11-2003
			DE 69725703 T2	17-06-2004
			EP 0877574 A1	18-11-1998
			JP 3830528 B2	04-10-2006
			JP 2000504249 A	11-04-2000
			US RE39863 E1	02-10-2007
			US 6343514 B1	05-02-2002
			US 2002059827 A1	23-05-2002
			WO 9727802 A1	07-08-1997

DE 102009002662	A1	28-10-2010	NONE	

US 5992240	A	30-11-1999	DE 19648048 A1	19-06-1997
			FR 2741441 A1	23-05-1997
			US 5992240 A	30-11-1999

EP 1174696	A2	23-01-2002	DE 10035346 A1	14-02-2002
			EP 1174696 A2	23-01-2002

EP 0524550	A1	27-01-1993	DE 4124662 A1	28-01-1993
			EP 0524550 A1	27-01-1993

WO 2010049794	A1	06-05-2010	US 2010109104 A1	06-05-2010
			WO 2010049794 A1	06-05-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01L9/00 G01L9/12 G01L13/02 G01L19/00 G01L21/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2008/110269 A1 (STRIETZEL CARSTEN [AU] ET AL STRIETZEL CARSTEN [AT] ET AL) 15. Mai 2008 (2008-05-15) Anspruch 18; Abbildung 1	1-20
Y	DE 39 12 219 A1 (TESLA KP [CS]) 26. Oktober 1989 (1989-10-26) Anspruch 1	1-20
A	US 7 484 416 B1 (KLOSINSKI ANDREW J [US] ET AL) 3. Februar 2009 (2009-02-03) Ansprüche 1,7; Abbildung 4	1-20
A	WO 97/27802 A1 (RADI MEDICAL SYSTEMS [SE]; SMITH LEIF [SE]) 7. August 1997 (1997-08-07) Ansprüche 1,2,4,5,8,10	1-20
	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
31. März 2014		10/04/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Cilissen, Marcel

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2009 002662 A1 (IFM ELECTRONIC GMBH [DE]) 28. Oktober 2010 (2010-10-28) Absätze [0040], [0043]; Ansprüche 2,8 -----	1-20
A	US 5 992 240 A (TSURUOKA MICHIIHIKO [JP] ET AL) 30. November 1999 (1999-11-30) Ansprüche 1,4 -----	1-20
A	EP 1 174 696 A2 (GRIESHABER VEGA KG [DE]) 23. Januar 2002 (2002-01-23) Ansprüche 3,6 -----	1-20
A	EP 0 524 550 A1 (FIBRONIX SENSOREN GMBH [DE]) 27. Januar 1993 (1993-01-27) Seite 8, Zeilen 1-7; Ansprüche 1,11,12 -----	1-20
A	WO 2010/049794 A1 (RADI MEDICAL SYSTEMS [SE]; TIENSUU STEFAN [SE]; RYDBERG MATTS [SE]; JO) 6. Mai 2010 (2010-05-06) Ansprüche 6,12; Abbildung 1 -----	1-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/074313

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008110269	A1	15-05-2008	DE 112007002372 A5	17-09-2009
			JP 5289321 B2	11-09-2013
			JP 2010509573 A	25-03-2010
			US 2008110269 A1	15-05-2008
			WO 2008058406 A1	22-05-2008

DE 3912219	A1	26-10-1989	KEINE	

US 7484416	B1	03-02-2009	CN 101821690 A	01-09-2010
			EP 2201432 A1	30-06-2010
			JP 5323848 B2	23-10-2013
			JP 2011501288 A	06-01-2011
			US 7484416 B1	03-02-2009
			WO 2009051652 A1	23-04-2009

WO 9727802	A1	07-08-1997	DE 69725703 D1	27-11-2003
			DE 69725703 T2	17-06-2004
			EP 0877574 A1	18-11-1998
			JP 3830528 B2	04-10-2006
			JP 2000504249 A	11-04-2000
			US RE39863 E1	02-10-2007
			US 6343514 B1	05-02-2002
			US 2002059827 A1	23-05-2002
			WO 9727802 A1	07-08-1997

DE 102009002662	A1	28-10-2010	KEINE	

US 5992240	A	30-11-1999	DE 19648048 A1	19-06-1997
			FR 2741441 A1	23-05-1997
			US 5992240 A	30-11-1999

EP 1174696	A2	23-01-2002	DE 10035346 A1	14-02-2002
			EP 1174696 A2	23-01-2002

EP 0524550	A1	27-01-1993	DE 4124662 A1	28-01-1993
			EP 0524550 A1	27-01-1993

WO 2010049794	A1	06-05-2010	US 2010109104 A1	06-05-2010
			WO 2010049794 A1	06-05-2010
