



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 662 181 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 01 L 1/14

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 5048/83

⑫② Anmeldungsdatum: 16.09.1983

⑫④ Patent erteilt: 15.09.1987

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.09.1987

⑫③ Inhaber:
Mettler Instrumente AG, Greifensee

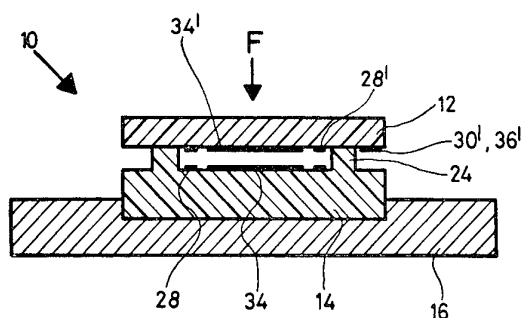
⑫⑦ Erfinder:
Zulliger, Hans Rudolf, Dr., Uetikon am See
Anagnostopoulos, Konstantin, Dr., Greifensee

⑫④ **Kraftmesser.**

⑫⑦ Es wird ein Kraftmesser vorgeschlagen, mit einem unter Last federnd nachgiebigen Messglied und mit einer Anordnung zur kapazitiven Erfassung der Einfederung, welche eine ortsfeste und eine bewegliche Elektrode umfasst. Dabei besteht das Messglied (12) aus Silizium und ist mit einer Dünnschichtelektrode (34') versehen, die ortsfeste Elektrode (34) ist auf einem Substrat (14) angeordnet und das Messglied ist mit dem Substrat über Abstandshalter (24) unlösbar zu einer Baugruppe verbunden.

Die genannten Merkmale erlauben einen äusserst kompakten Aufbau der Messzelle des Kraftmessers und damit auch des Kraftmessers selbst. Ferner ermöglichen sie eine rationelle Serienherstellung der Messzelle in gleichbleibender Qualität.

Anwendung beispielsweise für den Einsatz in Waagen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Kraftmesser mit einem unter Last federnd nachgiebigen Messglied und mit einer Anordnung zur kapazitiven Erfassung der lastbedingten Einfederung des Messgliedes, umfassend eine ortsfeste und eine dem Messglied zugeordnete Elektrode, dadurch gekennzeichnet, dass

– das Messglied (12; 46; 90; 100) aus Silizium besteht und mit einer Dünnschichtelektrode (34'; 56, 58; 86'; 96') versehen ist,

– die ortsfeste Elektrode (34; 54, 60; 86; 96), ebenfalls als Dünnschichtelektrode, auf einem Substrat (14; 42, 52; 84; 94) angeordnet ist, und

– das Messglied mit dem Substrat über Abstandshalter (24; 48; 90, 92; 109) unlösbar zu einer Baugruppe verbunden ist.

2. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus einem Borsilikatglas besteht, dessen Wärmedehnung derjenigen des Messgliedes weitgehend entspricht.

3. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ebenfalls aus Silizium besteht.

4. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandshalter durch Ätzung des Substrates oder des Messgliedes gebildet sind.

5. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandshalter durch aufgetragene Schichten gebildet sind.

6. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandshalter (24) die Form von Kreisringabschnitten aufweisen.

7. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstandshalter (109) rechteckig sind.

8. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (34, 34') Kreisflächen bilden, welche von je einer Ringelektrode (28, 28') umgeben sind.

9. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (96, 96') rechteckig sind.

10. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied (100) rechteckig ist, wobei ein zentrales Kraftaufnahmeelement (104) über Biegeelement bildende Dünnschichten (106) mit einem steifen Rahmen (108) verbunden ist.

11. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Baugruppe hermetisch verschlossen ist.

12. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Baugruppe als Dielektrikum ein nichtleitendes Fluid enthält.

13. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anschlussbahnen für die Elektroden in das Messglied bzw. das Substrat eindiffundiert sind.

14. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied (46) zwischen zwei Substraten (42, 52) mit je einer ortsfesten Elektrode (54, 60) angeordnet ist.

15. Kraftmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf einem gemeinsamen Substrat ein Messglied und ein Referenzglied angeordnet sind.

16. Kraftmesser nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied und das Referenzglied ein gemeinsames Bauteil (90) bilden, wobei zusätzliche Abstandshalter (92) den Elektrodenabstand des Referenzteils lastunabhängig konstant halten.

nung zur kapazitiven Erfassung der lastbedingten Einfederung des Messgliedes, umfassend eine ortsfeste und eine dem Messglied zugeordnete Elektrode.

Derartige Kraftmesser sind beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift 2 941 378 und der europäischen Patentanmeldung 0 017 581 bekannt. Die bekannten Kraftmesser zeichnen sich unter anderem durch einen relativ grossen Platzbedarf insbesondere in vertikaler Richtung (Richtung der Krafteinleitung) aus, in erster Linie bedingt durch die Bauhöhe der das Messglied und die Abtastung umfassenden Messzelle.

Die vorliegende Erfindung entstand aus der Aufgabe, einen Kraftmesser mit auch in vertikaler Richtung kompaktem Aufbau zu schaffen, der gute Messeigenschaften hat und sich für wirtschaftliche Serienherstellung in reproduzierbar guter Qualität eignet. Diese Aufgabe ist im wesentlichen dann gelöst, wenn die Messzelle den genannten Bedingungen entspricht. Dementsprechend schlägt die Erfindung vor, dass bei einem Kraftmesser der eingangs genannten Art das Messglied aus Silizium besteht und mit einer Dünnschichtelektrode versehen ist, dass die ortsfeste Elektrode, ebenfalls als Dünnschichtelektrode, auf einem Substrat angeordnet ist, und dass das Messglied mit dem Substrat über Abstandshalter unlösbar zu einer Baugruppe verbunden ist. Wie später anhand von Beispielen deutlich werden wird, lassen sich unter Verwendung moderner Techniken und Materialien nach diesem Konzept sehr kompakte und einfach zu handhabende Messzellen herstellen.

Als Material für das Messglied kommt in erster Linie Reinsilizium in Form von Einkristallen in Frage. Dabei haben sich Einkristalle in (111)- oder (100)-Orientierung als besonders vorteilhaft erwiesen, im Hinblick sowohl auf das Ätzverhalten wie auch auf das mechanische Verhalten.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besteht das Substrat aus einem Borsilikatglas, dessen Wärmedehnung derjenigen des Messgliedes weitgehend entspricht. Eine andere vorteilhafte Ausbildung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ebenfalls aus Silizium besteht.

Die Abstandshalter sind vorzugsweise durch Ätzung des Substrates oder des Messgliedes gebildet. Eine andere vorteilhafte Möglichkeit besteht darin, die Abstandshalter durch aufgetragene Schichten zu bilden. Die Abstandshalter weisen zweckmässigerweise die Form von Kreisringabschnitten auf oder aber sind rechteckig. Im letzteren Fall bietet sich beispielsweise die Methode der Ätzung in Richtung der Kristallachsen (bei Silizium der Orientierung 100) an.

In einer bevorzugten Ausgestaltung bilden die Elektroden Kreisflächen, welche von je einer Ringelektrode zur Homogenisierung des elektrischen Feldes (und damit zur Unterdrückung von Streukapazitäten) umgeben sind.

In einer anderen zweckmässigen Ausgestaltung sind die Elektroden rechteckig, was in manchen Fällen eine bessere Flächenausnutzung erlaubt.

In einer vorteilhaften Ausbildung ist das Messglied rechteckig, wobei ein zentrales Kraftaufnahmeelement über Biegeelement bildende Dünnschichten mit einem steifen Rahmen verbunden ist.

Um beispielsweise Feuchtigkeitseinflüsse zu vermeiden, kann die Baugruppe hermetisch verschlossen sein.

In manchen Fällen ist es zweckmässig, wenn die Baugruppe als Dielektrikum ein nichtleitendes Fluid enthält. Dabei kann es sich z.B. um Öl handeln, wodurch ebenfalls das Eindringen von Luftfeuchtigkeit vermieden wird.

Eine vorteilhafte Variante wird darin gesehen, dass die Anschlussbahnen für die Elektroden in das Messglied bzw. das Substrat eindiffundiert sind. Damit kann die bei Verwendung der Dünnschichttechnik unter Umständen störende Erhöhung reduziert werden.

Die Erfindung betrifft einen Kraftmesser mit einem unter Last federnd nachgiebigen Messglied und mit einer Anord-

Zur Eliminierung gewisser Störeinflüsse und zur Erhöhung des Messsignals sieht eine weitere vorteilhafte Ausbildung vor, dass das Messglied zwischen zwei Substraten je einer oftstesten Elektrode angeordnet ist.

Um von Temperaturschwankungen und anderen Störgrößen unabhängig zu sein, ist es zweckmässig, Referenzglieder vorzusehen. Dementsprechend wird in einer weiteren Ausbildung der Erfindung vorgeschlagen, dass auf einem gemeinsamen Substrat ein Messglied und ein Referenzglied angeordnet sind. Eine bevorzugte Ausführungsform dieser Variante ist dabei dadurch gekennzeichnet, dass das Messglied und das Referenzglied ein gemeinsames Bauteil bilden, wobei zusätzliche Abstandshalter den Elektrodenabstand des Referenzteils lastunabhängig konstant halten. Alternativ könnten zwei gleichartige Sensoren zueinander benachbart angeordnet sein, wobei ein Sensor mit der Messkraft beaufschlagt wird und der zweite nicht.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der nicht massstäblichen Zeichnungen erläutert. In den Zeichnungen ist:

- Fig. 1 ein Schnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel, entlang der Linie 1-1 in Fig. 2,
- Fig. 2 eine Draufsicht,
- Fig. 3 ein Querschnitt entlang 3-3 in Fig. 4,
- Fig. 4 ein Diagonalschnitt entlang 4-4 in Fig. 3, einschliesslich Oberteil,
- Fig. 5 ein Blockschema von Schaltung und Auswertung,
- Fig. 6 ein Schnitt durch ein zweites Ausführungsbeispiel,
- Fig. 7 ein Schnitt durch ein drittes Ausführungsbeispiel,
- Fig. 8 ein Schnitt (entlang 8-8 in Fig. 9) durch ein viertes Ausführungsbeispiel, und
- Fig. 9 eine Draufsicht auf das vierte Ausführungsbeispiel.

Beispiel I (Fig. 1 bis 5)

Eine Messzelle 10 umfasst ein Messglied 12 in Form eines quadratischen Silizium-Einkristalls und ein Substrat 14 aus Glas, etwa doppelt so dick wie das Messglied und ebenfalls quadratisch. Das Substrat 14 ist in einer stabilen Konsole 16 aus Metall eingeklebt. Die Messkraft F wird mittig auf das Messglied 12 aufgebracht.

Die mechanischen Elemente, die den Kraftmesser vervollständigen, tragen nichts zum Verständnis der Erfindung bei und wurden daher weggelassen (z.B. Führung und Ausbildung des Kraftaufnehmers, Gehäuse etc.). Sie können beispielsweise nach Art der in der US-Patentschrift 4 291 776 beschriebenen Anordnung ausgestaltet sein.

Die Ausbildung von Messglied 12 und Substrat 14 wird besonders deutlich aus den Fig. 3 und 4. Das Substrat 14 weist vier Kreisringabschnitte 24 auf, die die Funktion von Abstandhaltern haben. Die Zwischenräume 26 dienen zum einen der Ventilation (Druck- und Temperatenausgleich), zum anderen dem Durchführen elektrischer Anschlüsse. Die von den Kreisringabschnitten 24 begrenzte Innenfläche zeigt eine dünne Elektrode in Form eines Ringes 28 mit zugehöriger Anschlussstelle 30 und Anschlussdraht 32 sowie eine Kreiselektrode 34 mit Anschlussstelle 36 und Anschlussdraht 38.

Das Messglied 12 (in Fig. 3 nicht sichtbar) weist auf seiner dem Substrat 14 zugekehrten Fläche die gleiche Anordnung auf, bestehend aus Kreiselektrode 34' mit Anschlussstelle 36' und -draht 38' sowie Ringelektrode 28' mit Anschlussstelle 30' und -draht 32'. Die je zwei Kreis- und Ringelektroden 34, 34' bzw. 28, 28' liegen einander genau gegenüber, während die Anschlussstellen (30, 32, 30', 32' und 36, 38, 36', 38') diagonal versetzt sind: Die jeweils gegenüberliegende Ecke des Gegenstücks (Messglied 12 bzw. Substrat 14) ist aus Raum-

gründen (Zugänglichkeit der elektrischen Anschlüsse) entfernt.

Es ist hervorzuheben, dass die Zeichnungen zwar nicht massstäblich, jedoch stark vergrössert sind. Sowohl das Messglied 12 als auch das Substrat 14 des Beispiels weisen eine Fläche von nur etwa einem Quadratzentimeter auf, und ihre Dicke beträgt jeweils nur wenige Millimeter. Der Abstand der Elektroden 34, 34' voneinander liegt in der Grössenordnung von einigen Mikrometern.

Das Blockschema der Fig. 5 lässt die wesentlichen Elemente der elektrischen Schaltung erkennen. Der aus den Kreiselektroden 34, 34' bestehende Messkondensator ist über Signalleitungen 67, 67' an die beiden Eingänge eines Oszillators 66 (z.B. vom Typ 74 LS 624 von Texas Instruments) angeschlossen. Er liegt an einer Betriebsspannung von z.B. 5 Volt. Die beiden Ringelektroden 28, 28' (fachsprachlich oft als «guard rings» bezeichnet) sind über je einen Trennverstärker (1:1) 68, 68' an die Signalleitungen 67, 67' geführt. Die beiden Trennverstärker 68, 68' haben einen hochohmigen Eingang und einen niederohmigen Ausgang. Dadurch ergibt sich eine weitgehende Entstörung des Messsignals bezüglich variabler Streukapazitäten.

Alternativ könnte auch ein anders aufgebauter Oszillator (66) verwendet werden, z.B. vom Typ LM 331 von National Semiconductor. In diesem Fall wäre eine Messelektrode und eine Ringelektrode an Erde zu legen, und es könnte so einer der beiden Trennverstärker eingespart werden, da Streukapazitäten gegen Erde sich praktisch nicht auf das Messsignal auswirken. Beim Vorliegen von stromgesteuerten Oszillatoren mit Eingangswiderständen von virtuell null könnte sogar auf die Ringelektroden 28, 28' verzichtet werden.

Die vom Oszillator 66 erzeugten Impulse werden während vorgegebener Perioden von einem Zähler 70 gezählt, die Summen in einen Speicher 72 übernommen und dann in einem Mikrocomputer 74 zum fertigen Messresultat verrechnet. Über einen vom Mikrocomputer 74 gesteuerten Decoder/Treiber 76 gelangt das Resultat dann zur Digitalanzeige 78. Ein Taktgeber (Quarzoszillator) 80 liefert die Grundfrequenz auch für den Mikrocomputer 74 sowie, über einen als Teiler wirkenden Zähler 82, die Steuersignale für den Beginn der Zählung, das Rücksetzen des Zählers 70 und die Übernahme der Impulssummen in den Speicher 72 und von dort in den Mikrocomputer 74.

Das Messprinzip ist bekannt und bedarf daher nur einer kurzen Erwähnung: Unter Last federt das Messglied 12 ein, die Kapazität des Messkondensators (Elektroden 34, 34') verändert sich. Aus der entsprechend veränderten Frequenz am Ausgang des Oszillators 66 lässt sich die wirkende Kraft (im Falle einer Waage: das Gewicht) ermitteln.

Herstellung der Baugruppe

a) Messglied 12

Mittels Dünnschichttechnik (z.B. Bedampfung) werden metallische Schichten aus einem Titan-Wolfram-Gemisch sowie aus Gold auf einen Silizium-Einkristall aufgebracht. Mittels Photolithographie werden aus der Metallschicht (Dicke in der Grössenordnung von einem Mikrometer) die Ring- und die Kreiselektrode 28' bzw. 34' und die zugehörigen Anschlussstellen 30' bzw. 36' geformt. Die Anschlussdrähte 32', 38' aus Gold werden nach der als «thermocombination bonding» bekannten Methode angebracht.

b) Substrat 14

Es wird ein alkalihaltiges Borsilikatglas geringer Wärmedehnung verwendet (z.B. Schott 8330 oder Corning 7740). Das Glas wird mit z.B. durch Kathodenzerstäubung (Sputtern) aufgetragenen dünnen Metallschichten aus einem Titan-Wolfram-Gemisch und Gold versehen und mit einem anschliessenden photolithographischen Prozess maskiert.

Danach wird mit Flussäure die Oberfläche geätzt, es entstehen die Abstandhalter in Form der Kreisingabschnitte 24. Dann wird die auf letzteren verbliebene Maskenschicht entfernt.

Darauf folgt die Beschichtung mit den Elektroden und Anschlussstellen sowie das Aufbilden der Anschlussdrähte, wie oben unter a) beschrieben.

Sowohl das Messglied 12 als auch das Substrat 14 werden zweckmässigerweise nicht in Einzelstücken erzeugt, sondern nach bekannter Vielfachkopiermethode hergestellt, beispielsweise ausgehend von einem Standardformat von 4×4 Zoll, welches dann zertrennt wird.

c) Herstellen der Baugruppe

Jeweils ein Messglied 12 und ein Substrat 14 werden aufeinander gelegt und so positioniert, dass die Elektroden einander gegenüberliegen. Dann werden die beiden Elemente durch anodisches Bonden (bei einer Temperatur von etwa 400 Grad Celsius und einer Spannung von etwa 800 Volt während ca. 10 Minuten) miteinander verbunden.

Alternativ zur Paarung Glas/Silizium könnten auch beide Elemente aus Silizium bestehen. Diese Variante hätte den Vorteil, dass man wegen des gleichen Materials nicht auf Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften wie auch im Wärmeverhalten Rücksicht nehmen müsste. Andererseits muss dann eines der Elemente mit einer (beispielsweise aufgesputterten) Glasschicht versehen werden, um das abschliessende anodische Bonden zu ermöglichen.

Alternativ könnten Messglied 12 und Substrat 14 auch durch die Wärmedruckmethode («thermocompression bonding») verbunden werden, nachdem die Verbindungsstellen durch Beschichtung mit Gold oder einem anderen geeigneten Metall entsprechend vorbereitet wurden.

Je nach den Gegebenheiten oder Anforderungen können in an sich bekannter Weise weitere Schichten zweckmässig sein, so z.B. als elektrisch isolierende Schicht zwischen Messglied bzw. Substrat und Elektrode und/oder als Schutzschicht gegen Feuchtigkeit über den Elektroden und zugehörigen Leiterbahnen. Als Materialien hierfür kämen beispielsweise Aluminiumoxid oder Siliziumdioxid in Betracht.

Beispiel II (Fig. 6)

Das zweite Beispiel zeigt einen differentiell wirkenden Kraftmesser, der rotationssymmetrisch aufgebaut ist.

Auf einer Konsole 40 ist ein zylindrisches Substrat 42 aus Glas (oder Silizium) befestigt. Es weist einen dünnen, umlaufenden Kragen 44 auf. Das runde Messglied 46 aus Silizium verfügt über einen geschlossenen äusseren Kranz 48 sowie über mehrere vertikale Öffnungen 50. Den oberen Abschluss der Baugruppe bildet ein als Verteilplatte wirkendes zweites Substrat 52 aus Glas oder Silizium in Form eines Zylinderabschnittes. Elektroden 54–60 in Form von konzentrischen Kreisflächen sind angebracht auf der Oberseite des Substrates 42 (54), auf beiden Seiten des Messgliedes 46 (56, 58) und auf der Unterseite der Verteilplatte 52 (60). Die drei Elemente 42, 46 und 52 sind wiederum zu einer Baugruppe fest verbunden, und zwar umlaufend über die Berührflächen 61. Es resultiert eine hermetisch geschlossene und damit z.B. gegen Feuchtigkeit dichte Baugruppe. Den Druckausgleich zwischen oberem und unterem Raum erlauben die Durchlässe 50.

Wird über einen Kraftverteiler 62 mit äusserem Ringfuss 64 eine Kraft eingeleitet, so führt diese Kraft zu einer konzentrischen Verwölbung: Der Kranz 48 wird nach unten ausgelenkt, der Mittelteil des Messgliedes 46 wandert nach oben. Dementsprechend ändern sich in gegenläufigem Sinn die Kapazitäten zwischen den Elektroden 54 und 56 bzw. 58 und 60. Werden die beiden entsprechend erhöhten bzw. ernie-

drigten Ausgangssignale beispielsweise mittels einer Quotientenbildung (C_1/C_2 oder besser $C_1 - C_2 / C_1 + C_2$) ausgewertet, so resultiert daraus eine Eliminierung einiger Störgrössen wie z.B. Schwankungen der Temperatur.

Die elektrische Schaltung kann derjenigen gemäss Fig. 5 entsprechen. Es sind lediglich die Komponenten für die zusätzlichen Kondensatorelektroden 58, 60 zu ergänzen (Oszillator 66', Zähler 70', Speicher 72'). Ferner wäre das Arbeitsprogramm des Mikrocomputers 74 entsprechend anzupassen. Wie der die Trennverstärker 68, 68' betreffende Teil der Schaltung auszugestalten ist, hängt im Sinne der Ausführungen zu Beispiel I davon ab, welcher Oszillator (66, 66') verwendet wird und ob entsprechende Ringelektroden (28, 28') vorgesehen sind (in Fig. 6 nicht gezeichnet). Alle hier genannten Modifikationen sind für sich gesehen dem Fachmann geläufig und bedürfen daher keiner näheren Darstellung.

Beispiel III (Fig. 7)

Ein rundes Substrat 84 aus Silizium verfügt über eine Kreiselektrode 86 und eine Ringelektrode 88. Ein rundes Messglied 90, dünner als das Substrat 84 und von etwas kleinerem Durchmesser, weist die entsprechenden Gegenelektroden 86' und 88' auf. Zwei Abstandhalter 91, 92 in Form von durch Unterbrechungen getrennten Kreisingabschnitten sind vorgesehen. Sie trennen den Bereich der Ringelektroden 88, 88' von demjenigen der Kreiselektroden 86, 86'. Bei mittlerer Belastung durch die Messkraft F wird nur der Zentralbereich innerhalb der Abstandhalter 92 einfedern, der Abstand zwischen den Ringelektroden 88, 88' dagegen bleibt konstant. Auf diese Weise sind ein Messsensor und ein Referenzsensor in einer integralen Baugruppe vereinigt.

Die Anordnung der Zuleitungen zu den Elektroden entspricht im wesentlichen derjenigen gemäss Beispiel I (vgl. Fig. 1–4), ebenso die Herstellung der Baugruppe. Lediglich die Abstandhalter 91, 92 sind in diesem Fall anders erzeugt, nämlich durch selektives Aufbringen (Aufsputtern) einer Glasschicht der gewünschten Höhe (einige Mikrometer).

Beispiel IV (Fig. 8 und 9)

Das letzte Ausführungsbeispiel zeigt eine Messzelle in rechteckiger Gestalt. Ein Substrat 94 verfügt über eine quadratische Elektrode 96 (sie könnte auch rund sein) und eine diese umgebende rechteckige (hier: quadratische) Rahmenelektrode 98. Ein Messglied 100 mit quadratischer Grundfläche weist am Boden eine ebenfalls quadratische, durch Ätzen erzeugte Ausnehmung 102 auf, in welcher die Elektrode 96' und die Rahmenelektrode 98' angeordnet sind. Das Zentrum 104 des Messgliedes 100 hat die Form eines Pyramidenstumpfs und dient zur Aufnahme der Messkraft (die punktförmig oder als Flächenkraft eingeleitet werden kann). Es ist über vier rechteckige, als Biegeklager wirkende dünne Streifen 106 mit dem äusseren steifen Rahmen 108 verbunden. In den vier Ecken sorgen Durchbrechungen 110 für gegenseitige Trennung der Biegeklager. Der die Ausnehmung 102 begrenzen umlaufende Fuss 109 des Rahmens 108 hat die Funktion des Abstandhalters.

In Fig. 9 sind rechts zwei Lötstellen 112, 114 erkennbar mit Anschlussdrähten 116, 118. Links im Bild sind zwei weitere Lötstellen 120, 122 zu sehen mit Drähten 124, 126. Lötstelle 114 gehört zur (unteren) Elektrode 96, Lötstelle 122 zur (oberen) Elektrode 96'. Entsprechend gehören die Lötstelle 112 zur (unteren) Rahmenelektrode 98 und die Lötstelle 120 zur (oberen) Rahmenelektrode 98'. Die elektrische Verbindung zwischen den oberen Elektroden und den Lötstellen auf dem Substrat 94 geschieht dadurch, dass die entsprechenden

Leiterbahnenabschnitte 128, 130 auf dem Messglied 100 und auf dem Substrat 94 vorgesehen sind. Beim Zusammenfügen der Baugruppen durch anodisches Bonden (gemäss c) in Beispiel I) nach gehörigem Positionieren werden die jeweils zusammengehörenden Leiterbahnabschnitte 128 bzw. 130 durch «thermocompression bonding» leitend verbunden. Anschliessend können dann die Drähte (116, 118, 124, 126) angefügt werden.

Bei Belastung des Messgliedes 100 federt nur der Innenteil ein, während der starre Rahmen 108 seine Lage nicht ändert. Dementsprechend wirken die Elektroden 96, 96' wiederum als Messteil und die Elektroden 98, 98' als Referenzteil. Ein Vorteil der Ausgestaltung mit starrem Zentrum 104 ist darin zu sehen, dass der Elektrodenabstand bei der Einfederung sich über die ganze Fläche praktisch gleich verändert (Parallelführung des Zentrums 104 durch die Biegelager 106); daraus resultiert ein höheres Messsignal als im Falle einer Verwölbung (wie bei den Beispielen I bis III).

Für gesteigerte Ansprüche an die Messqualität ist es möglich, gesonderte Fühler für einzelne Störgrössen (z.B. Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit) vorzusehen, mit deren Ausgangsgrössen dann jeweils einen weiteren Oszillator zu beaufschlagen und die resultierenden Frequenzen auszu zählen und nach entsprechenden Korrekturformeln im Mikrocomputer zum korrigierten Messwert zu verrechnen. Es versteht sich, dass die oben beschriebene Signalwandlung nur ein Beispiel ist. Andere Methoden sind gleichermassen

anwendbar, so z.B. im Falle der Beispiele II und III die bekannte Brückenschaltung nach Wheatstone.

In weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemässen Kraftmessers könnten in die aus Messglied und Substrat bestehende Baugruppe noch weitere Elemente integriert werden, so z.B. elektronische Bestandteile der Auswerteschaltung in Form von integrierten Schaltungen auf dem Substrat (wofür das Substrat entsprechend zu verbreitern wäre), was den Herstellungsprozess des Kraftmessers weiter rationalisieren würde.

Abschliessend sei nochmals auf einige wesentliche Aspekte der beschriebenen Kraftmesser hingewiesen: Zur Erzielung möglichst grosser lastbedingter Kapazitätsänderungen (und damit grosser Messsignale) sind genau erfassbare kleine Abstände zwischen den Elektroden erwünscht bzw. notwendig. Diese kleinen Abstände werden ermöglicht durch die Verwendung von Glas und/oder Silizium, die heute in guter Oberflächenqualität zur Verfügung stehen. Unter Anwendung von Dünnschicht- und Ätztechniken wird damit die Erfüllung obiger Bedingung ermöglicht, ohne dass es präziser (und damit teurer) mechanischer Teile bedarf. Eine kostengünstige Serienherstellung ist so realisierbar. Die guten mechanischen Eigenschaften insbesondere des Reinsiliziums (z.B. hinsichtlich geringer Kriechneigung und der im interessierenden Bereich praktisch idealen Federkennlinie) gewährleisten dabei gute Messqualität.

Fig.1

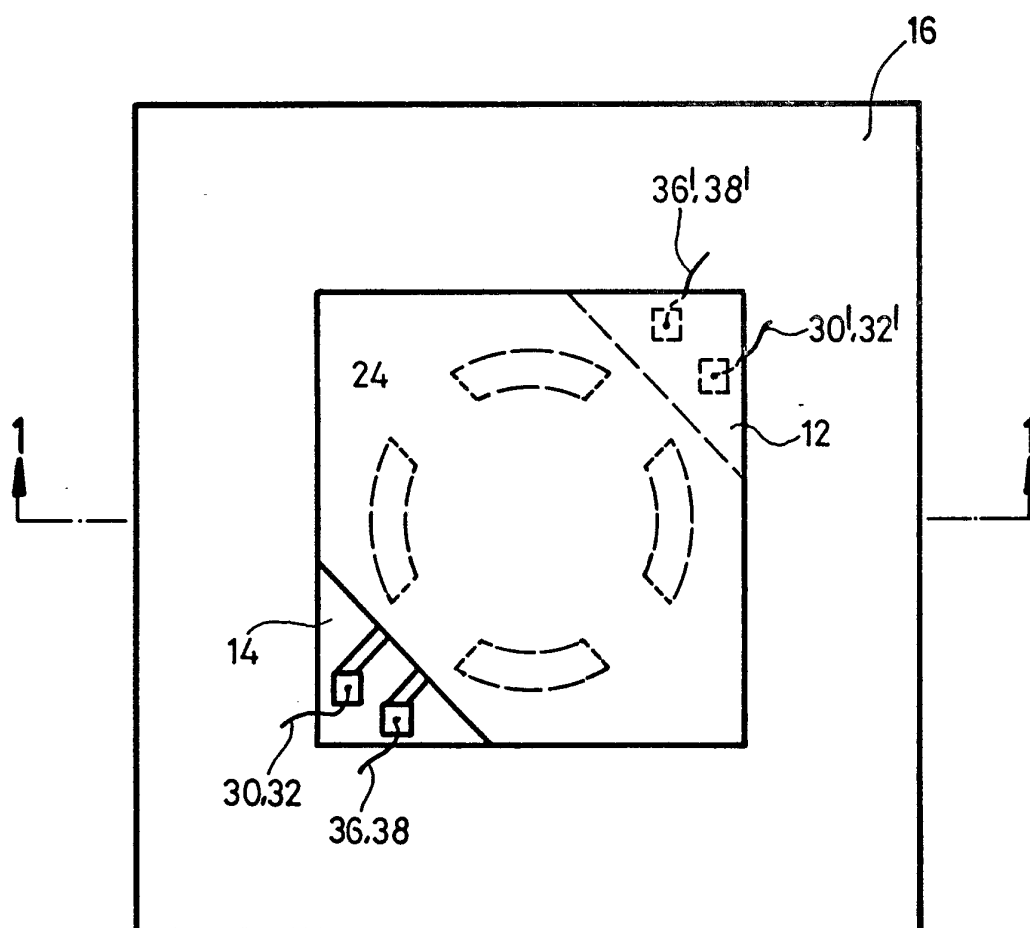
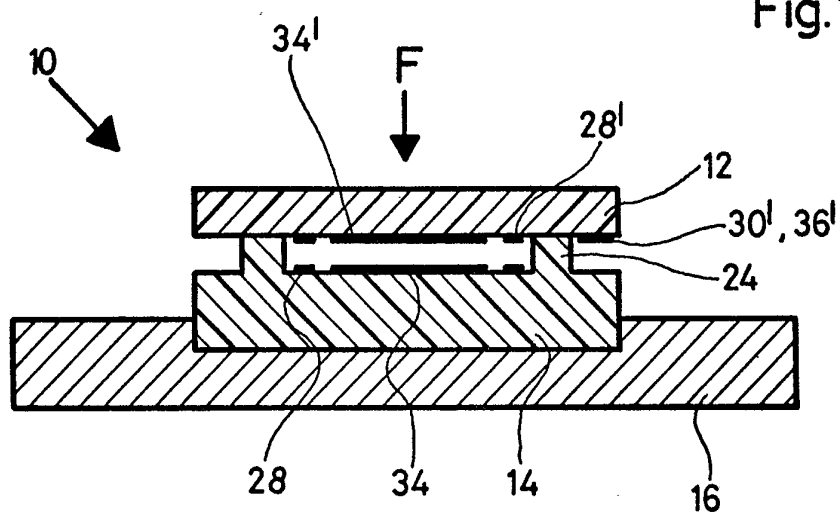
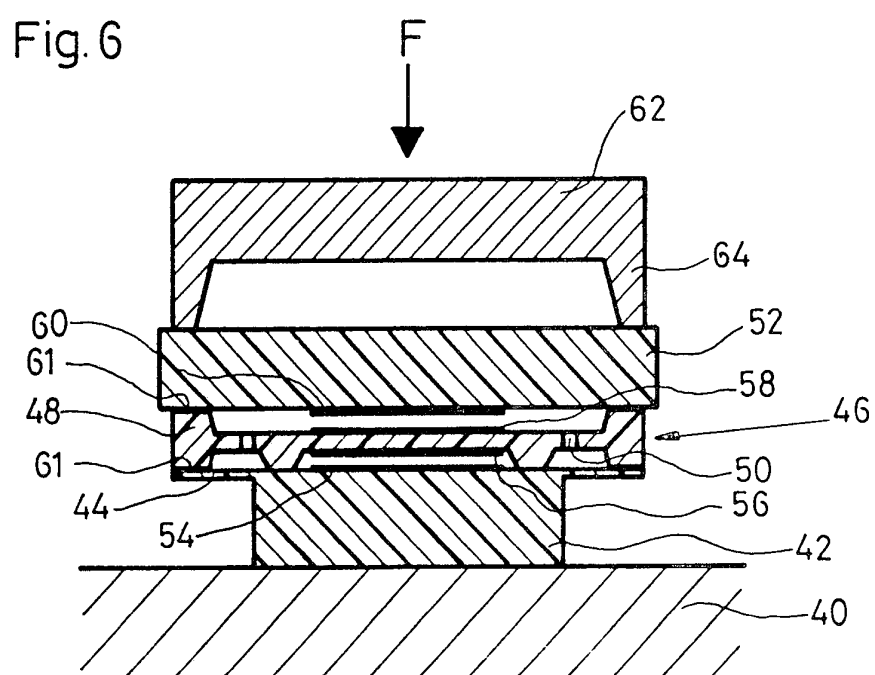
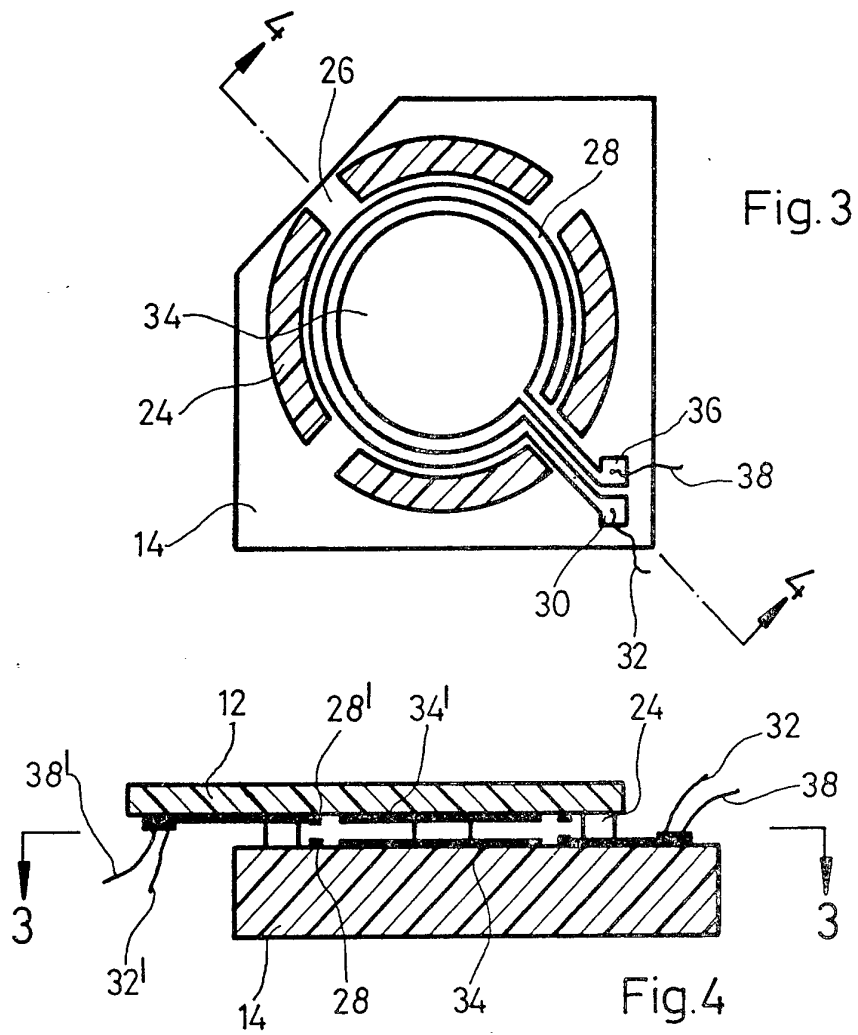


Fig. 2



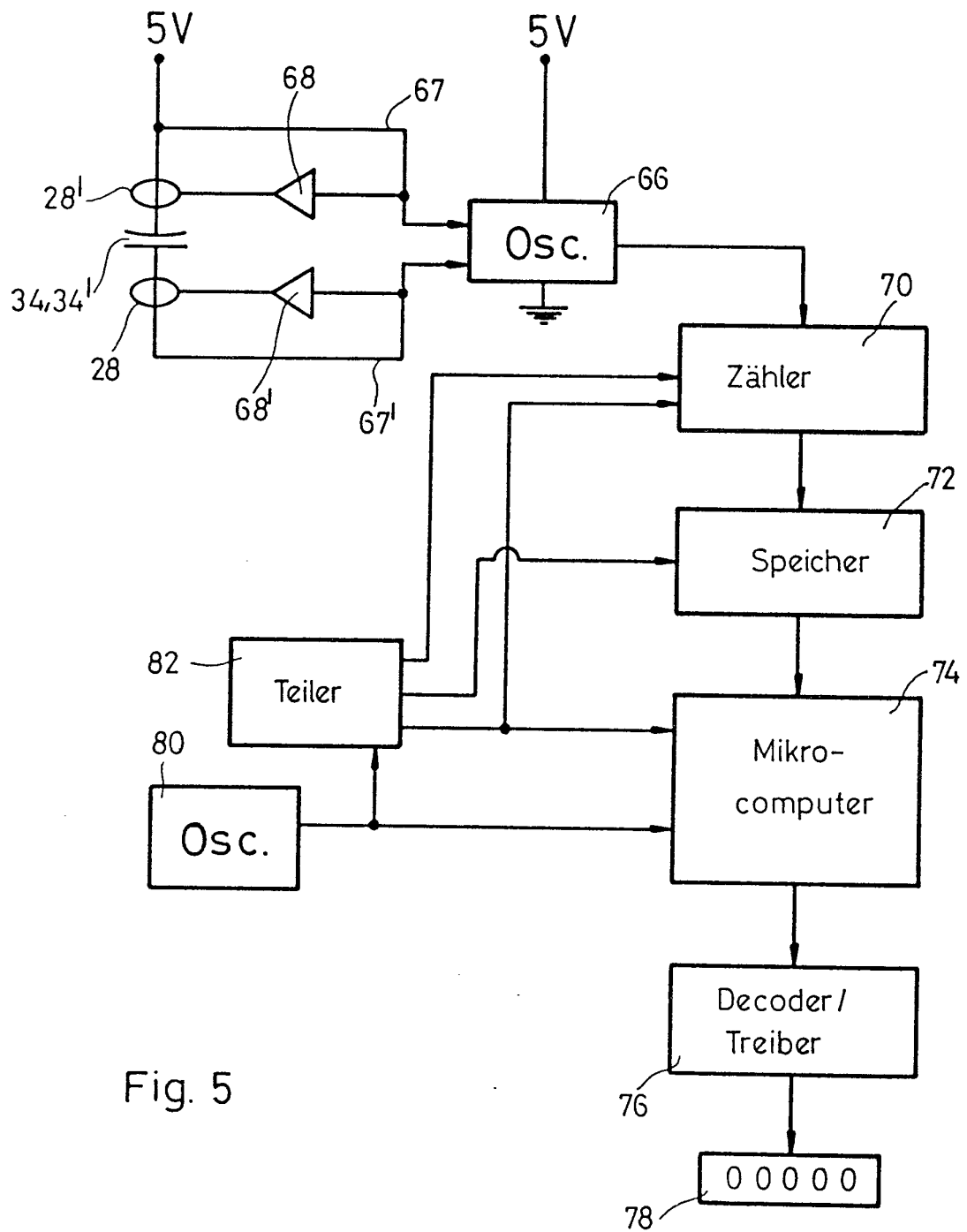


Fig. 5

