

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50068/2020  
(22) Anmeldetag: 29.01.2020  
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2021

(51) Int. Cl.: **G01L 1/18** (2006.01)  
**G01L 1/16** (2006.01)  
**H01L 41/33** (2013.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 2015050289 A  
JP 2006351602 A  
DE 102008042232 A1  
EP 1389805 A1  
DE 102005040122 A1  
US 2014125740 A1  
EP 2124268 A1  
DE 102015117203 A1

(71) Patentanmelder:  
Piezocryst Advanced Sensorics GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
Schricker Alexander Dr.  
8046 Graz (AT)  
Kröger Dietmar Dr.  
8010 Graz (AT)  
Dreisiebner Franz Dipl.Ing. (FH)  
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:  
Hartinger Mario Dipl.Ing.  
8020 Graz (AT)

(54) **Strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement**

(57) Die Erfindung betrifft ein strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement sowie einen piezoelektrischen Sensor. Um eine Rissbildung möglichst zu vermeiden, weist das Sensorelement ein oder mehrere piezoelektrische, vorzugsweise monokristalline, flächig ausgebildete Messelemente (10) auf, die zwischen Gehäuseelementen eines piezoelektrischen Sensors lagerbar und mechanisch vorspannbar sind, wobei die Messelemente (10) eine oder mehrere Ausnehmungen (11) zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweisen, die die Messelemente (10) in Messbereiche (12) unterteilen, die durch Verbindungsbereiche (13) miteinander verbunden sind.

Zum Abbau mechanischer Spannungen sind die Ausnehmungen (11) in einer Ebene normal zur Krafteinleitung angeordnet.

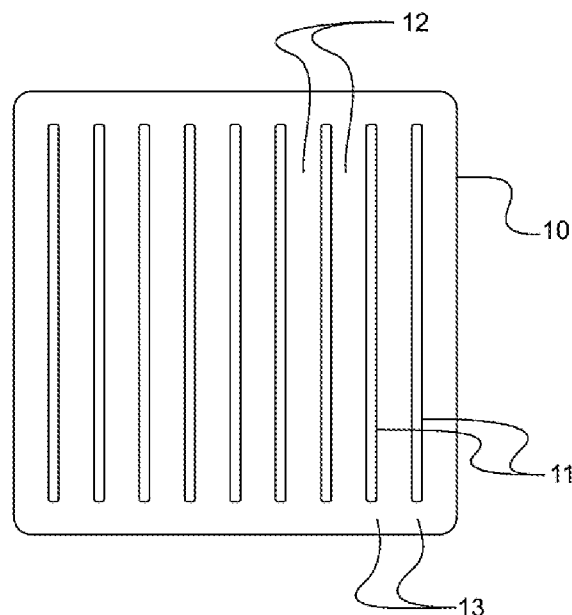


Fig. 1a

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement sowie einen piezoelektrischen Sensor. Um eine Rissbildung möglichst zu vermeiden, weist das Sensorelement ein oder mehrere piezoelektrische, vorzugsweise monokristalline, flächig ausgebildete Messelemente (10) auf, die zwischen Gehäuseelementen eines piezoelektrischen Sensors lagerbar und mechanisch vorspannbar sind, wobei die Messelemente (10) eine oder mehrere Ausnehmungen (11) zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweisen, die die Messelemente (10) in Messbereiche (12) unterteilen, die durch Verbindungsbereiche (13) miteinander verbunden sind.

Fig. 1a

---

## Strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement gemäß dem Gegenstand von Anspruch 1, sowie einen piezoelektrischen Sensor gemäß dem Gegenstand von Anspruch 8.

Piezoelektrische Sensoren werden für eine Vielzahl von Messanwendungen zur Erfassung von Drücken oder Kräften eingesetzt. Piezoelektrische Sensoren enthalten ein oder mehrere piezoelektrische Sensorelemente, die aus einem piezoelektrischen Material gebildet sind. Zur Messung wird der direkte Piezoeffekt dieser Materialien ausgenutzt: Bei einer durch eine mechanische Krafteinwirkung hervorgerufenen Verformung eines Sensorelements werden an der Oberfläche des Sensorelements elektrische Ladungen erzeugt, wobei der erzeugte Ladungsbetrag proportional zur relativen Deformation des piezoelektrischen Sensorelements ist. Durch Messung der erzeugten Ladungen kann auf den Betrag der einwirkenden Kraft geschlossen werden.

Piezoelektrische Sensoren eignen sich für eine breite Palette von Anwendungen, da sie relativ robust sind und eine hohe Empfindlichkeit und Linearität über einen großen Messbereich aufweisen.

Als Material für piezoelektrische Sensorelemente werden häufig piezoelektrische Keramiken oder monokristalline Materialien verwendet. Derartige piezoelektrische Sensorelemente werden üblicherweise unter Vorspannung in das Gehäuse eines Sensors eingebaut. Dies dient einerseits dazu, Oberflächenunebenheiten der piezoelektrischen Sensorelemente beim Einbau auszugleichen und andererseits dazu, ein Lösen der Sensorelemente von den anliegenden Gehäuseflächen zu vermeiden, wenn das Sensorgehäuse eine Expansion erfährt.

Werden die Sensorelemente im vorgespannten Zustand mit einer Temperaturbelastung beaufschlagt, kann es aufgrund von Ausdehnungsunterschieden in den Sensorelementen in Verbindung mit inneren Spannungen zu Rissbildungen in den piezoelektrischen Sensorelementen kommen.

Die Rissbildung wird auch dadurch begünstigt, dass die kristallinen Sensorelemente eine hohe Sprödigkeit aufweisen. Dies führt zu einer Verschlechterung der Messeigenschaften des Sensors. An Rissen in den Sensorelementen können sich beispielsweise leitfähige chemische Gruppen anlagern, die zu einer Erhöhung der Ladung an den Oberflächen des Sensorelements und damit zu einer Drift des Messsignals führen.

Das Problem der Rissbildung ist umso prominenter, je größer die Oberfläche der Sensorelemente ist. Sensorelemente mit einer großen Oberfläche sind aber hinsichtlich der Signalqualität vorteilhaft, da bei gleichbleibender Flächenpressung die Menge der erzeugten Ladungen mit der Fläche des Sensorelements zunimmt.

Im Lichte der obigen Ausführungen ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Sensoren bzw. Sensorelemente anzugeben, mit denen die geschilderten Probleme aus dem Stand der Technik zumindest teilweise überwunden werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement nach Anspruch 1 sowie einen piezoelektrischen Sensor nach Anspruch 8 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Aufgabe der Erfindung wird insbesondere gelöst durch ein strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement, aufweisend ein oder mehrere piezoelektrische, vorzugsweise monokristalline, flächig ausgebildete Messelemente, die zwischen Gehäuseelementen eines piezoelektrischen Sensors lagerbar und mechanisch vorspannbar sind, wobei die Messelemente eine oder mehrere Ausnehmungen zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweisen, die die Messelemente in Messbereiche unterteilen, die durch Verbindungsbereiche miteinander verbunden sind.

Ein wesentlicher Punkt der Erfindung beruht auf der überraschenden Erkenntnis, dass das kontrollierte Einbringen von Ausnehmungen in piezoelektrische Messelemente einen effektiven Abbau von mechanischen Spannungen ermöglicht, ohne dass dies eine nennenswerte Auswirkung auf die Messqualität hat. Durch das Vorsehen von Ausnehmungen in einem flächigen piezoelektrischen Messelement wird das Messelement in Messbereiche unterteilt, die durch Verbindungsbereiche miteinander verbunden sind. Verspannungen des Messelements, die beispielsweise durch vorhandene Eigenspannungen, die

mechanische Vorspannung beim Einbau in ein Sensorgehäuse oder durch thermische Belastung induziert werden, können über die durch die Ausnehmungen gebildeten Zwischenräume zwischen den Messbereichen abgeleitet und reduziert werden, so dass es zu keinem Bruch des Messelements kommt. Somit kann eine gleichbleibende Messqualität sichergestellt werden.

Selbst wenn es in den Messelementen zur Rissbildung kommt, kann mit der vorliegenden Erfindung eine Verschlechterung der Messqualität entscheidend reduziert werden, weil durch die Ausbildung der Ausnehmungen die Messelemente in kleinere Messbereiche unterteilt werden, die bei Rissbildung entsprechend kleinere Bruchflächen ausbilden. Die durch die Rissbildung entstehenden Flächen, an denen sich leitfähige chemische Gruppen anlagern können, die zu einer Drift des Messsignals führen, sind dementsprechend ebenfalls kleiner, so dass insgesamt selbst im Falle einer Rissbildung die resultierende Drift wesentlich verringert wird.

Der durch die Ausnehmungen erzielbare Spannungsabbau ist umso ausgeprägter, je größer die Tiefe der Ausnehmungen ist. Die Ausnehmungen sind vorzugsweise so ausgebildet, dass sie sich durch die gesamte Dicke der Messelemente hindurch erstrecken. Die Ausnehmungen können beispielsweise mittels eines spanenden Fertigungsverfahrens ausgebildet werden, oder mittels Laserschneiden, oder mittels Ätzen in die Messelemente eingebracht werden.

Unter mechanischen Spannungen sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung neben rein mechanischen Spannungen auch thermisch induzierte Spannungen zu verstehen, die schlussendlich ebenfalls in mechanischen Spannungen resultieren.

Die Messelemente sind zwischen Gehäuseelementen eines Sensors vorspannbar. Die Gehäuseelemente und die Konfiguration des entsprechenden Sensors unterliegen keinen besonderen Einschränkungen. Die Messelemente sind ebenso zur Vorspannung zwischen Gehäuseelementen eines geschlossenen Sensorgehäuses geeignet wie zur Vorspannung zwischen Spannelementen die nicht Teil eines Gehäuses sein müssen, wie sie beispielsweise bei Accelerometern üblich ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Ausnehmungen schlitzartig ausgebildet. Die schlitzartige Ausbildung der Ausnehmungen ist

dadurch charakterisiert, dass die Ausnehmungen eine Erstreckungsrichtung aufweisen, die wesentlich länger ist als die anderen Erstreckungsrichtungen. Der Verlauf der Ausnehmungen ist nicht auf eine besondere geometrische Form eingeschränkt und kann beispielsweise linien-, kurven-, wellen- oder mäanderförmig sein. Die Ausnehmungen sind vorzugsweise so ausgebildet, dass sie die Messelemente in im Wesentlichen streifenförmige Messbereiche unterteilen. Dies führt zu einem besonders effizienten Abbau von mechanischen Spannungen.

Es ist ferner bevorzugt, dass die Breite der schlitzartigen Ausnehmungen 1 mm oder weniger, vorzugsweise 0,5 mm oder weniger beträgt. Mit diesen Werten wird der Einfluss der Ausnehmungen auf die Messeigenschaften der Messelemente minimiert, während der durch die Ausnehmungen ermöglichte Spannungsabbau weiterhin sichergestellt ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beträgt die Breite der Messbereiche in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zur Erstreckungsrichtung der schlitzartigen Ausnehmungen 5 mm oder weniger, vorzugsweise 4 mm oder weniger, ferner vorzugsweise 3 mm oder weniger, weiter vorzugsweise 2 mm oder weniger. Durch die Begrenzung der maximalen Ausdehnung der Messbereiche zwischen den Ausnehmungen kann die Gefahr von Rissbildungen innerhalb der Messbereiche weiter reduziert werden.

Es ist ferner bevorzugt, dass das Sensorelement eine Lochscheibe mit einem Durchgangsloch ausbildet und die Messelemente, die gemeinsam das Sensorelement bilden, um das Durchgangsloch angeordnet sind. Eine derartige Konfiguration des Sensorelements ermöglicht die Konstruktion eines Sensors mit einem Durchgangsloch. Damit kann der Sensor auf eine Welle oder eine Schraube aufgesteckt werden und zur Messung von Kräften eingesetzt werden, die an der Welle oder Schraube bzw. zwischen den über die Welle oder Schraube verbundenen Komponenten auftreten. Die Messelemente des Sensorelements können aneinander angrenzend oder mit einem Abstand zueinander um das Durchgangsloch des Sensorelements angeordnet werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Messelemente so geformt, dass sie in einer gemeinsamen Ebene derart aneinander angrenzend

anordenbar sind, dass die Orientierung und/oder Position der Messelemente jeweils durch die angrenzenden Messelemente festgelegt ist.

Piezoelektrische Kristallmaterialien weisen eine Vorzugsrichtung auf. Die Vorzugsrichtung ist durch die Kristallstruktur des piezoelektrischen Kristallmaterials festgelegt und gibt eine Belastungsrichtung an, in welcher die meisten Ladungen in dem Piezokristall erzeugt werden. Eine Kraftbeaufschlagung eines piezoelektrischen Messelements parallel zur Vorzugsrichtung führt zu einem signifikant stärkeren Messsignal als eine Kraftbeaufschlagung in anderen Richtungen. Dadurch ist es möglich, gezielt piezoelektrische Messelemente zu fertigen, die für eine Belastungsrichtung empfindlich sind, indem das Messelement so aus einem Block von piezoelektrischem Kristallmaterial geschnitten wird, dass die Vorzugsrichtung die gewünschte Orientierung relativ zu den Oberflächen des Messelements hat.

Werden derartige Messelemente mit einer definierten Vorzugsrichtung zu einem Sensorelement zusammengesetzt, ist neben der relativen Positionierung die Orientierung der Messelemente innerhalb des Sensorelements von Bedeutung, da die Orientierung der Vorzugsrichtung der Messelemente innerhalb des Sensorelements bestimmt, für welche Krafteinwirkungsrichtungen die Messelemente empfindlich sind. Sind die Messelemente so geformt, dass sie in einer gemeinsamen Ebene derart aneinander angrenzend anordenbar sind, dass die Orientierung und/oder Position der Messelemente durch die angrenzenden Messelemente festgelegt ist, kann eine korrekte Positionierung der Messelemente innerhalb des Sensorelements sichergestellt werden.

Besonders bevorzugt ist eine Formgebung der Messelemente derart, dass die Position und/oder Orientierung der Messelemente durch die Form der Messelemente eindeutig festgelegt ist. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Messelemente an den Seiten, die an ein benachbartes Messelement angrenzen, aufeinander abgestimmte Ausrichtungshilfen aufweisen, beispielsweise in Form von komplementären Ein- und Ausbuchtungen, derart, dass die Messelemente formschlüssig in einer Ebene anordenbar sind. Dies stellt sicher, dass sich die Messelemente mit korrekter Position und Orientierung zu dem Sensorelement zusammensetzen lassen.

Es ist ferner bevorzugt, dass die Messelemente aus Galliumorthophosphat oder Lithiumniobat oder Kalzium Tantal Gallium Silikat (CTGS) gebildet sind.

Galliumorthophosphat ist besonders geeignet für Hochtemperaturanwendungen, da es sich durch eine hohe und von der Temperatur weitgehend unabhängige piezoelektrische Empfindlichkeit auszeichnet. Lithiumniobat und CTGS zeichnen sich unter anderem durch seine hohe mechanische und chemische Stabilität aus.

Die Aufgabe der Erfindung wird ferner gelöst durch einen piezoelektrischen Sensor, aufweisend mindestens ein Sensorelement der oben beschriebenen Art, das zwischen zwei Sensorgehäuseelementen gelagert und zwischen den Sensorgehäuseelementen vorgespannt ist.

Mit einem derartigen piezoelektrischen Sensor können die Vorteile erzielt werden, die obenstehend im Zusammenhang mit den Sensorelementen beschrieben wurden. Durch das Vorsehen von Ausnehmungen in den piezoelektrischen Messelementen des Sensorelements kann eine Möglichkeit zum Abbau von mechanischen Spannungen geschaffen werden, die in den Messelementen auftreten, ohne die Messqualität der Messelemente zu verschlechtern. So kann ein piezoelektrischer Sensor geschaffen werden, der sich durch eine gleichbleibend hohe Messqualität auszeichnet.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist jedes Messelement in Kontakt mit einer Elektrode zur Abnahme von Messsignalen. Da die Messelemente flächig ausgebildet sind, ist die Elektrode zur Abnahme von Messsignalen vorzugsweise in flächigem Kontakt mit einer der beiden Oberflächen der Messelemente. Die Elektrode kann fest auf die Messelemente aufgebracht, beispielsweise aufgedruckt oder aufgedampft sein. Alternativ kann die Elektrode durch eine elektrisch leitende Schicht wie eine Metallfolie oder eine dünne Metallschicht ausgebildet sein, die auf eine Fläche der Messelemente aufgelegt wird. Sofern das Sensorelement mehrere Messelemente umfasst, kann jedem Messelement eine separate Elektrode zugeordnet sein, um eine unabhängige Auswertung der Signale jedes Messelements zu ermöglichen. Ebenso können mehrere Messelemente einer Elektrode zugeordnet sein, indem beispielsweise die Elektrode so geformt ist, dass sie mit mehreren Messelementen in Kontakt steht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Sensor ein Paar von Sensorelementen auf, die übereinander angeordnet sind, wobei eine Schicht

von Elektroden zwischen den Sensorelementen angeordnet ist. Die Konfiguration der Sensorelemente ist vorzugsweise aufeinander abgestimmt, indem die Messelemente in dem Paar von Sensorelementen ebenfalls paarweise vorgesehen sind, so dass jedes Messelement des einen Sensorelements über einem entsprechenden Messelement des anderen Sensorelements angeordnet ist und dazwischen eine gemeinsame Elektrode angeordnet ist. Vorzugsweise sind die Vorzugsrichtungen und Formen der einander zugeordneten Messelemente ebenfalls aufeinander abgestimmt.

Die Konfiguration des Sensors mit einem Paar von Sensorelementen mit gemeinsam genutzter Elektrodenfläche erlaubt es, die Signale der Paare von Messelementen der jeweiligen Sensorelemente auf eine gemeinsame Elektrode zu summieren. Dadurch wird die Stärke des Messsignals erhöht. Die der Elektrodenfläche abgewandten Flächen der Sensorelemente können über das Sensorgehäuse auf ein gemeinsames Potential gelegt werden.

Nachfolgend wird die Erfindung auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile beschrieben, die anhand der Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

- Fig. 1a-d      schematische Ansichten strukturierter piezoelektrischer Sensorelemente gemäß verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2          eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einem Messelement, das in ein Gehäuseelement eingesetzt ist;
- Fig. 3          eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit zwei Messelementen, das in ein Gehäuseelement eingesetzt ist;

- Fig. 4 eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit vier Messelementen, das in ein Gehäuseelement eingesetzt ist;
- Fig. 5 eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit acht Messelementen, das in ein Gehäuseelement eingesetzt ist;
- Fig. 6 eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit acht Messelementen mit Positionierhilfen, das in ein Gehäuseelement eingesetzt ist;
- Fig. 7 einen Schnitt durch einen Sensor mit einem Paar von Sensorelementen gemäß einer der Figuren 2 bis 6.

Fig. 1a zeigt eine schematische Ansicht eines strukturierten piezoelektrischen Sensorelements gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Sensorelement ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein Messelement 10 gebildet. Das Messelement 10 ist aus einem piezoelektrischen Material gebildet, vorzugsweise aus einem monokristallinen Material wie Galliumorthophosphat oder Lithiumniobat oder Kalzium Tantal Gallium Silikat (CTGS).

Das Messelement 10 weist eine flächige, scheibenartige Konfiguration auf. In Fig. 1a ist eine der beiden flächigen Seiten des Messelements 10 in Draufsicht gezeigt. Das Messelement 10 ist mit den flächigen Seiten zwischen zwei (nicht gezeigten) Gehäuseelementen eines Sensors anordenbar, die den beiden flächigen Seiten des Messelements 10 zugewandt sind, so dass eine auf die Gehäuseelemente ausgeübte Kraft auf das Messelement 10 übertragen wird.

Das Messelement 10 weist eine Vielzahl von Ausnehmungen 11 auf, die das Messelement 10 in Messbereiche 12 unterteilen, die durch Verbindungsbereiche

13 miteinander verbunden sind. In Fig. 1a sind jeweils zwei Ausnehmungen 11, Messbereiche 12 und Verbindungsbereiche 13 repräsentativ mit Bezugszeichen versehen. Die Ausnehmungen 11 erstrecken sich vorzugsweise durch die gesamte Dicke des Messelements 10. Durch die Unterteilung des Messelements 10 in Messbereiche 12 mittels der Ausnehmungen 11 können mechanische Spannungen, die sich in dem Messelement 10 aufbauen, über die durch die Ausnehmungen 11 gebildeten Lücken zwischen den Messbereichen 12 effektiv abgebaut werden. Zudem werden durch die mittels der Ausnehmungen 11 bewirkte Strukturierung des Messelements 10 Eigenspannungen des monokristallinen Materials reduziert, die ebenfalls die Rissbildung bei Beaufschlagung des Messelements 10 mit einer Kraft begünstigen. Durch das Vorsehen der Verbindungsbereiche 13 bleibt die strukturelle Integrität des Messelements 10 gewahrt, so dass sich keine Schwierigkeiten bei der Handhabung des Messelements 10, beispielsweise beim Einbau in einen Sensor, ergeben.

Die Ausnehmungen 11 in Fig. 1a sind schlitzartig ausgebildet und weisen eine Erstreckungsrichtung auf (in Fig. 1a die Richtung von oben nach unten), die wesentlich länger ist als die anderen Erstreckungsrichtungen (in Fig. 1a die Richtung von links nach rechts). Dadurch kann eine effektive Unterteilung des Messelements 10 in Messbereiche 12 bei minimalem Materialaustrag bei der Ausbildung der Ausnehmungen 11 erreicht werden.

Die Form der schlitzartigen Ausnehmungen 11 unterliegt keiner besonderen Einschränkung. In dem in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Ausnehmungen 11 linear ausgebildet. Es sind auch andere Formen der Ausnehmungen 11 möglich, die beispielsweise der Form des Messelements 10 entsprechend gewählt werden können. Fig. 1b zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Sensorelements mit einem Messelement 10, bei dem die Ausnehmungen 11 wellenförmig ausgebildet sind. Wiederum wird durch die Ausnehmungen 11 eine Unterteilung des Messelements 10 in (hier wellenförmige) Messbereiche 12 bewirkt, die über Verbindungsbereiche 13 miteinander verbunden sind.

Fig. 1c zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Sensorelements gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem das Sensorelement durch ein Messelement 10 gebildet ist. Das Messelement 10 weist eine Ausnehmung 11 auf, die spiralförmig ausgebildet ist. Auf dem Messelement 10 wird durch die Ausnehmung 11 ein

spiralförmiger Messbereich 12 ausgebildet, der als ein zusammenhängender Messbereich 12 angesehen werden kann oder als eine Vielzahl von Messbereichen 12, die entlang der Spirale angeordnet sind. Entscheidend ist, dass die Fläche des Messelements 10 durch die Ausnehmung 11 derart strukturiert wird, dass auftretende mechanische Spannungen des Messelements 10 in Zwischenräume abgeleitet werden können, die durch die Ausnehmung 11 bereitgestellt werden.

Zur Verwendung in einem Sensor wird dem Messelement 10 eine Elektrode 30 zugeordnet, über die auf dem Messelement 10 erzeugte Ladungen abgegriffen werden können. Die Elektrode 30 wird vorzugsweise flächig auf einer der flächigen Seiten des Sensorelements 10 ausgebildet. Fig. 1d zeigt das Sensorelement aus Fig. 1a mit einer aufgebrachtten Elektrode 30. Die Elektrode 30 kann stoffschlüssig auf das Sensorelement aufgebracht werden, beispielsweise aufgedruckt oder aufgedampft werden. Ebenso kann die Elektrode 30 auf das Sensorelement aufgelegt werden. Durch die Einbringung des Sensorelements unter Vorspannung in ein Sensorgehäuse kann dann sichergestellt werden, dass sich eine aufgelegte Elektrode 30 nicht von der Oberfläche des Sensorelements ablöst. Die Elektrode 30 kann, wie in Fig. 1d gezeigt, ebenfalls Ausnehmungen aufweisen, die den Ausnehmungen 11 des Sensorelements entsprechen, oder vollflächig ohne Ausnehmungen ausgebildet sein und auf das Sensorelement aufgebracht werden. Die Elektrode 30 kann im Wesentlichen die gesamte Fläche des Sensorelements bedecken oder nur einen Teil.

Fig. 2 zeigt ein Sensorelement gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das in ein Gehäuseelement 20 eingesetzt ist. Das Sensorelement gemäß Fig. 2 ist durch ein Messelement 10 gebildet, das als Lochscheibe ausgebildet ist. Das Gehäuseelement 20 ist an die Form des Messelements 10 angepasst und ebenfalls lochscheibenartig ausgebildet, so dass sowohl das Sensorelement als auch das Sensorgehäuse 20 ein gemeinsames Durchgangsloch 40 aufweisen. Wie in den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen weist auch das Messelement 10 gemäß Fig. 2 eine Vielzahl von Ausnehmungen 11 auf, die das Messelement 10 in Messbereiche 12 unterteilen, die durch Verbindungsbereiche 13 miteinander verbunden sind.

Fig. 3 zeigt ein Sensorelement gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das durch zwei Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub> gebildet ist. Die Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub> sind so ausgebildet, dass sie wie in Fig. 3 gezeigt

aneinander angrenzend mit einem geringen Abstand voneinander anordenbar sind, um ein Sensorelement auszubilden. Jedes Messelement  $10_1$ ,  $10_2$  weist Ausnehmungen 11 auf, die die Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  in durch Verbindungsbereiche 13 miteinander verbundene Messbereiche 12 unterteilen. Beim Zusammenbau eines Sensors mit dem Sensorelement gemäß Fig. 3 kann den Messelementen  $10_1$ ,  $10_2$  jeweils eine Elektrode  $30_1$ ,  $30_2$  (nicht gezeigt) zugeordnet werden, oder es kann eine Elektrode 30 verwendet werden, die mit beiden Messelementen  $10_1$ ,  $10_2$  in Kontakt ist.

Die Konfiguration mit separaten Elektroden  $30_1$ ,  $30_2$  für jedes Messelement  $10_1$ ,  $10_2$  ist besonders vorteilhaft, wenn die Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  unterschiedliche Vorzugsrichtungen aufweisen. Eine Konfiguration mit separaten Elektroden  $30_1$ ,  $30_2$  erlaubt die getrennte Erfassung von Messsignalen für jedes Messelement  $10_1$ ,  $10_2$ . Weisen die Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  unterschiedliche Vorzugsrichtungen auf, kann mit jedem Messelement  $10_1$ ,  $10_2$  eine unterschiedliche Kraftrichtung erfasst werden. Beispielsweise könnte das Sensorelement  $10_1$  eine Vorzugsrichtung aufweisen, die tangential zu dem Durchgangsloch 40 verläuft. Damit können Scherkräfte erfasst werden, die an einem (nicht gezeigten) Element auftreten, das in dem Durchgangsloch 40 angeordnet ist. Das Messelement  $10_2$  könnte eine Vorzugsrichtung aufweisen, die radial zu dem Durchgangsloch 40 verläuft, oder eine Vorzugsrichtung, die senkrecht zu der Fläche des Sensorelements verläuft, um in entsprechende Richtungen auftretende Kräfte zu erfassen.

Ebenso könnten die Vorzugsrichtungen beider Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  parallel ausgerichtet sein und eine gemeinsame Elektrode 30 für die Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  vorgesehen sein, um das Signal der Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  auf die gemeinsame Elektrode 30 zu summieren.

Indem die Formgebung des Gehäuseelements 20 an die Form des Sensorelements angepasst ist, können die Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$  beim Zusammensetzen zu dem Sensorelement als gegenseitige Positionierhilfe genutzt werden. Ist beispielsweise das Messelement  $10_1$  bereits in das Gehäuseelement 20 eingesetzt, ist die Position des Messelements  $10_2$  durch die Form des Gehäuseelements 20 und die Form und Position des Messelements  $10_1$  festgelegt.

Fig. 4 zeigt ein Sensorelement gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das durch vier Messelemente  $10_1$ ,  $10_2$ ,  $10_3$ ,  $10_4$  gebildet

ist. Wie in dem im Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel hat das Sensorelement gemäß Fig. 4 die Form einer Lochscheibe mit einem Durchgangsloch 40, wobei die Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> um das Durchgangsloch 40 angeordnet sind. Das Gehäuseelement 20 weist eine dem Sensorelement entsprechende Formgebung auf. Abhängig von der Konfiguration der Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> kann eine gemeinsame Elektrode 30 für alle vier Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> vorgesehen sein, oder je eine separate Elektrode 30<sub>1</sub>, 30<sub>2</sub>, 30<sub>3</sub>, 30<sub>4</sub> für jedes Messelement 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>. Die Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> weisen wiederum Ausnehmungen 11 zum Abbau von mechanischen Spannungen auf.

Fig. 5 zeigt ein Sensorelement gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung mit acht Messelementen 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>, 10<sub>5</sub>, 10<sub>6</sub>, 10<sub>7</sub>, 10<sub>8</sub>. Die Form der größeren Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> ist so ausgebildet, dass die größeren Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> die Position der kleineren Messelemente 10<sub>5</sub>, 10<sub>6</sub>, 10<sub>7</sub>, 10<sub>8</sub> in dem Gehäuseelement 20 vollständig festlegen, wenn sie zuerst eingesetzt werden. Damit können die Sensorelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub> als Positionierungshilfe für die Sensorelemente 10<sub>5</sub>, 10<sub>6</sub>, 10<sub>7</sub>, 10<sub>8</sub> genutzt werden.

Die Form der Messelemente kann weiterhin so ausgebildet werden, dass durch die eingesetzten Messelemente sowohl die Position als auch die Orientierung benachbarter Messelemente festgelegt ist. Eine solche Ausführungsform ist in Fig. 6 gezeigt. Die Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>, 10<sub>5</sub>, 10<sub>6</sub>, 10<sub>7</sub>, 10<sub>8</sub> weisen an den Seiten, die an benachbarte Messelemente angrenzen, jeweils eine Ausrichtungshilfe 14 auf. Die Ausrichtungshilfen 14 sind in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 durch Ein- und Ausbuchtungen gebildet, wobei die Ausrichtungshilfen 14 von aneinander grenzenden Messelementen aufeinander abgestimmt sind. Dadurch wird es möglich, die relative Orientierung und Position benachbarter Messelemente durch das formschlüssige Aneinanderfügen der jeweiligen Ausrichtungshilfen 14 eindeutig festzulegen.

In dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel weisen die Messelemente 10<sub>1</sub> und 10<sub>3</sub> spitz zulaufende Ausrichtungshilfen 14 auf, die sich in ihrer Form von den rund zulaufenden Ausrichtungshilfen 14 der Messelemente 10<sub>2</sub> und 10<sub>4</sub> unterscheiden. Die Messelemente 10<sub>5</sub>, 10<sub>6</sub>, 10<sub>7</sub>, 10<sub>8</sub> weisen jeweils sowohl spitz zulaufende als auch rund zulaufende Ausrichtungshilfen 14 auf, die jeweils formschlüssig in die Ausrichtungshilfen 14 der Messelemente 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub>, 10<sub>3</sub>, 10<sub>4</sub>

eingreifen. Dadurch wird relative Positionierung und Orientierung der Messelemente zueinander in dem Gehäuseelement 20 durch die Ausrichtungshilfen 14 festgelegt.

In den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen werden die den Messelementen zugeordneten Elektroden vorzugsweise auf einer der flächigen Seiten der Messelemente angeordnet. Je nach Vorzugsrichtung der Messelemente kann es jedoch vorteilhaft oder erforderlich sein, die Elektroden an einer der schmalen Seiten der flächigen Messelemente anzuordnen oder an den schmalen Seiten zusätzliche Elektroden zur Signalerfassung vorzusehen. Dabei können auch entsprechende Ausnehmungen in den Messelementen für eine mit den Elektroden zu verbindende Ladungsableitung vorgesehen werden.

Fig. 7 zeigt einen Schnitt eines Sensors 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der Sensor 100 weist ein Sensorelement mit Messelementen  $10_i$ ,  $10_j$  auf, das in einem Gehäuseelement 20 angeordnet ist. Die Konfiguration des Sensorelements mit den exemplarisch dargestellten Messelementen  $10_i$ ,  $10_j$  entspricht einer der in Fig. 2 bis Fig. 6 gezeigten Konfigurationen.

Über dem in dem Gehäuseelement 20 angeordneten Sensorelement befindet sich ein weiteres Sensorelement mit Messelementen  $10'_i$ ,  $10'_j$ , das in einem Gehäuseelement 20' angeordnet ist.

Zwischen den Sensorelementen ist eine Schicht von Elektroden angeordnet, wobei in Fig. 7 exemplarisch Elektroden  $30_i$ ,  $30_j$  gezeigt sind. Die Elektroden  $30_i$ ,  $30_j$  sind mit Anschlüssen versehen, die aus dem Gehäuse des Sensors 100 herausgeführt sind. In Fig. 7 ist exemplarisch ein Anschluss 31 der Elektrode  $30_i$  gezeigt. Der Anschluss 31 weist eine Abschirmung zur Verbesserung der Signalqualität auf. Die einander gegenüberliegenden Sensorelemente mit den dazwischen angeordneten Elektroden bilden ein Paar von Sensorelementen, das aufeinander abgestimmt ist, indem jedem Messelement  $10_i$ ,  $10_j$  des unteren Sensorelements ein entsprechendes Messelement  $10'_i$ ,  $10'_j$  des oberen Sensorelements zugeordnet ist, das dem unteren Messelement  $10_i$ ,  $10_j$  in Position und Form entspricht. Die Messsignale, die an den Paaren von Messelementen erzeugt werden, werden jeweils auf die gemeinsame, zwischenliegende Elektrode summiert.

Beim Zusammenbau des Sensors 100 wird zunächst ein Gehäuseelement 20 bereitgestellt. In das Gehäuseelement 20 wird ein Sensorelement eingebracht, indem die Messelemente  $10, 10_1, \dots, 10_i$  in das Gehäuseelement 20 eingelegt werden. Anschließend wird auf das Sensorelement eine Elektrodenschicht mit Elektroden  $30; 30_1, \dots, 30_i$  aufgebracht. Beispielsweise wird die Elektrodenschicht in Gestalt einer strukturierten Metallfolie mit bereitgestellt und auf das Sensorelement aufgelegt. Anschließend wird auf die Elektrodenschicht ein zweites Sensorelement aufgelegt, dessen Konfiguration dem in dem Gehäuseelement 20 befindlichen Sensorelement entspricht. Anschließend wird ein zweites Gehäuseelement  $20'$  aufgelegt und mit dem unteren Gehäuseelement verbunden, so dass das Paar von Sensorelementen mit der dazwischenliegenden Elektrodenschicht zwischen den zwei Gehäuseelementen 20,  $20'$  vorgespannt ist. Alternativ kann die Vorspannung der Sensorelemente mit der dazwischenliegenden Elektrodenschicht außerhalb der Gehäuseelemente 20,  $20'$  erfolgen, beispielsweise mittels Thermokompression. In diesem Fall wird die vorgespannte Einheit aus Sensorelementen und Elektrodenschicht anschließend in ein Gehäuse eingebracht.

Wird eine strukturierte Elektrodenschicht verwendet, beispielsweise in Form einer strukturierten Folie, können zur einfacheren Handhabung zwischen den Elektroden Brücken in der Elektrodenschicht vorgesehen sein, die die jeweiligen Elektroden in ihrer Position halten. Diese Brücken können nach dem Vorspannen dann entfernt werden. Weiterhin ist es möglich, die Position der Sensorelemente und der Messelemente innerhalb der Sensorelemente und/oder die Position der Elektroden mittels geeigneter Positioniervorrichtungen festzulegen. Beispielsweise könnten die Gehäuseelemente 20,  $20'$  entsprechende Stege aufweisen, die als Positioniervorrichtungen für die Sensorelemente dienen. Nach dem Positionieren der Sensorelemente bzw. nach dem Zusammensetzen der Sensorelemente mit zwischenliegender Elektrodenschicht können die Elemente vergossen werden, um die Positionierung der Elemente innerhalb des Sensors zu fixieren.

Der in Fig. 7 gezeigte Aufbau des Sensors 100 ist rein beispielhaft. Die erfindungsgemäßen Sensorelemente können auch in einen erfindungsgemäßen Sensor eingesetzt werden, dessen Aufbau sich von dem in Fig. 7 gezeigten Aufbau unterscheidet. Beispielsweise können weitere Schichten von Messelementen, Elektroden oder Isolierschichten in dem Sensor vorgesehen sein. Für die Erzielung der erfindungsgemäßen Vorteile ist entscheidend, dass

wenigstens ein Messelement in dem Sensor vorhanden ist, das die beschriebenen Ausnehmungen zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweist.

Bezugszeichenliste:

|                                               |                    |
|-----------------------------------------------|--------------------|
| 10; 10 <sub>1</sub> , ..., 10 <sub>i</sub>    | Messelement        |
| 10'; 10' <sub>1</sub> , ..., 10' <sub>i</sub> | Messelement        |
| 11                                            | Ausnehmung         |
| 12                                            | Messbereich        |
| 13                                            | Verbindungsbereich |
| 14                                            | Ausrichtungshilfe  |
| 20, 20'                                       | Gehäuseelement     |
| 30; 30 <sub>1</sub> , ..., 30 <sub>i</sub>    | Elektrode          |
| 30'; 30' <sub>1</sub> , ..., 30' <sub>i</sub> | Elektrode          |
| 31                                            | Anschluss          |
| 40                                            | Durchgangsloch     |
| 100                                           | Sensor             |

## PATENTANSPRÜCHE

1. Strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement, aufweisend ein oder mehrere piezoelektrische, vorzugsweise monokristalline, flächig ausgebildete Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>), die zwischen Gehäuseelementen (20, 20') eines piezoelektrischen Sensors (100) lagerbar und mechanisch vorspannbar sind, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) eine oder mehrere Ausnehmungen (11) zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweisen, die die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) in Messbereiche (12) unterteilen, die durch Verbindungsbereiche (13) miteinander verbunden sind.
2. Sensorelement nach Anspruch 1, wobei die Ausnehmungen (11) schlitzartig ausgebildet sind.
3. Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Breite der schlitzartigen Ausnehmungen (11) 1 mm oder weniger, vorzugsweise 0,5 mm oder weniger beträgt.
4. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Breite der Messbereiche (12) in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zur Erstreckungsrichtung der schlitzartigen Ausnehmungen (11) 5 mm oder weniger, vorzugsweise 2 mm oder weniger beträgt.
5. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Sensorelement eine Lochscheibe mit einem Durchgangsloch (40) ausbildet und die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) um das Durchgangsloch (40) angeordnet sind.
6. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) so geformt sind, dass sie in einer gemeinsamen Ebene derart aneinander angrenzend anordenbar sind, dass die Orientierung und/oder Position der Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) jeweils durch die angrenzenden Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) festgelegt ist.

7. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) aus Galliumorthophosphat oder Lithiumniobat gebildet sind.
8. Piezoelektrischer Sensor (100), aufweisend ein Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das zwischen zwei Sensorgehäuseelementen (20, 20') gelagert und zwischen den Sensorgehäuseelementen (20, 20') vorgespannt ist.
9. Sensor (100) nach Anspruch 8, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) in Kontakt mit einer Elektrode (30; 30<sub>1</sub>, ..., 30<sub>i</sub>) zur Abnahme von Messsignalen sind.
10. Sensor (100) nach Anspruch 8 oder 9, aufweisend ein Paar von Sensorelementen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, die übereinander angeordnet sind, wobei eine Schicht von Elektroden (30; 30<sub>1</sub>, ..., 30<sub>i</sub>) zwischen den Sensorelementen angeordnet ist.

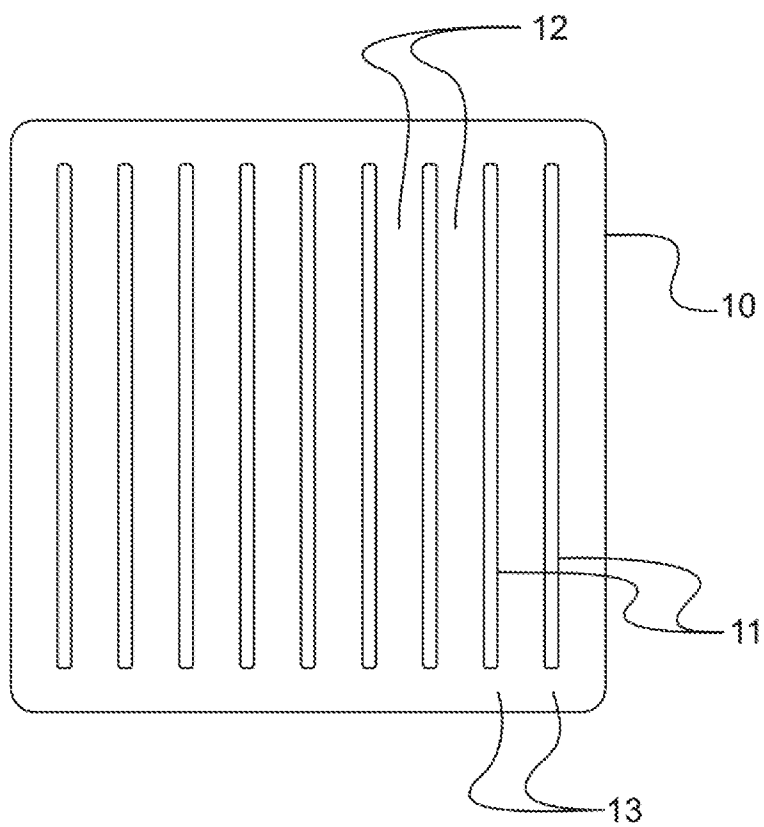


Fig. 1a

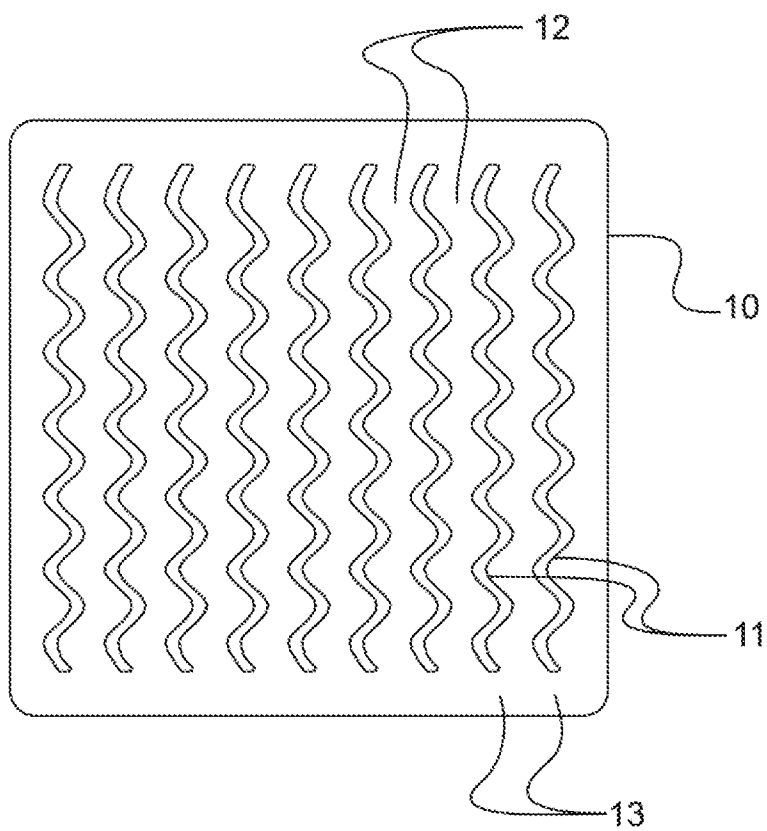


Fig. 1b

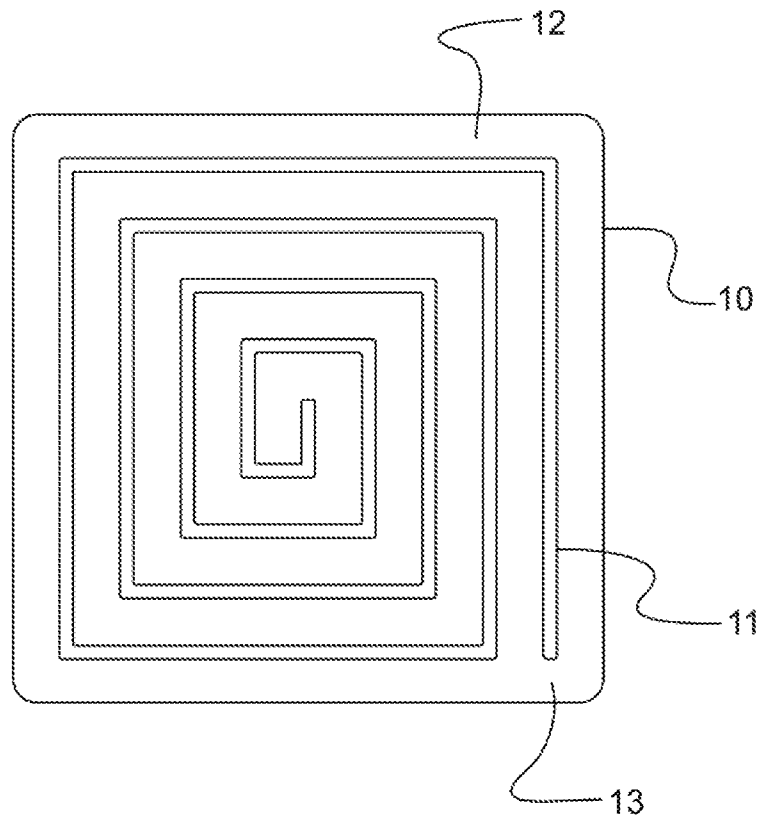


Fig. 1c

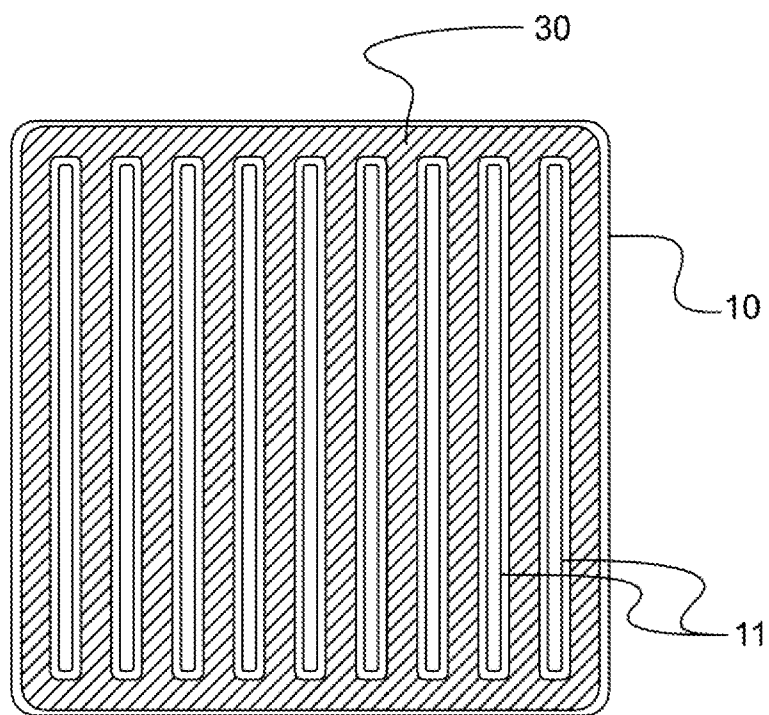


Fig. 1d

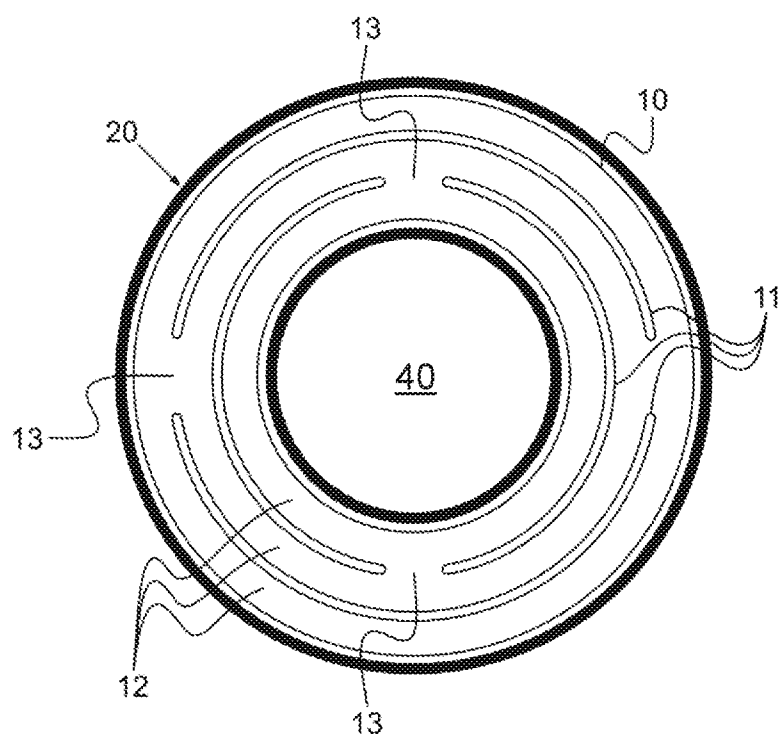


Fig. 2

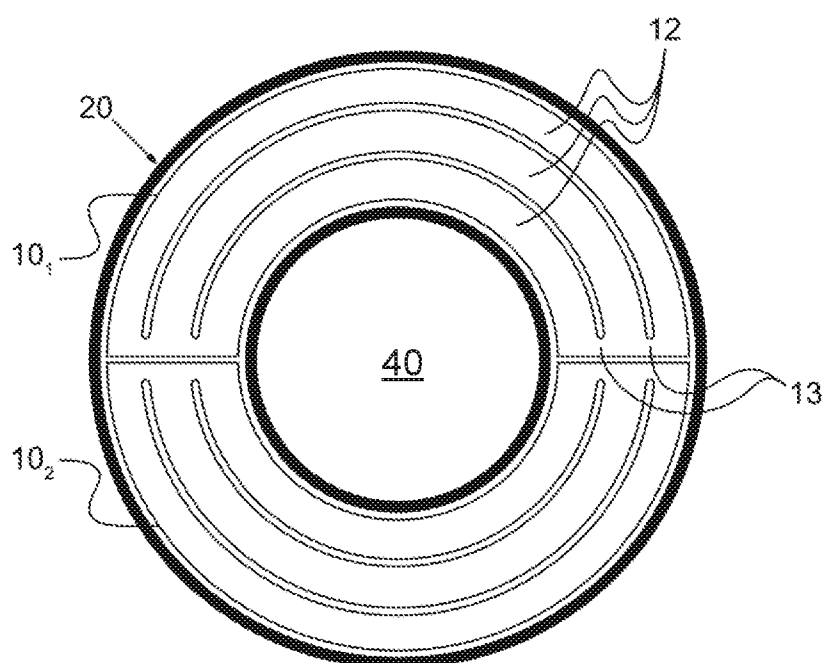


Fig. 3

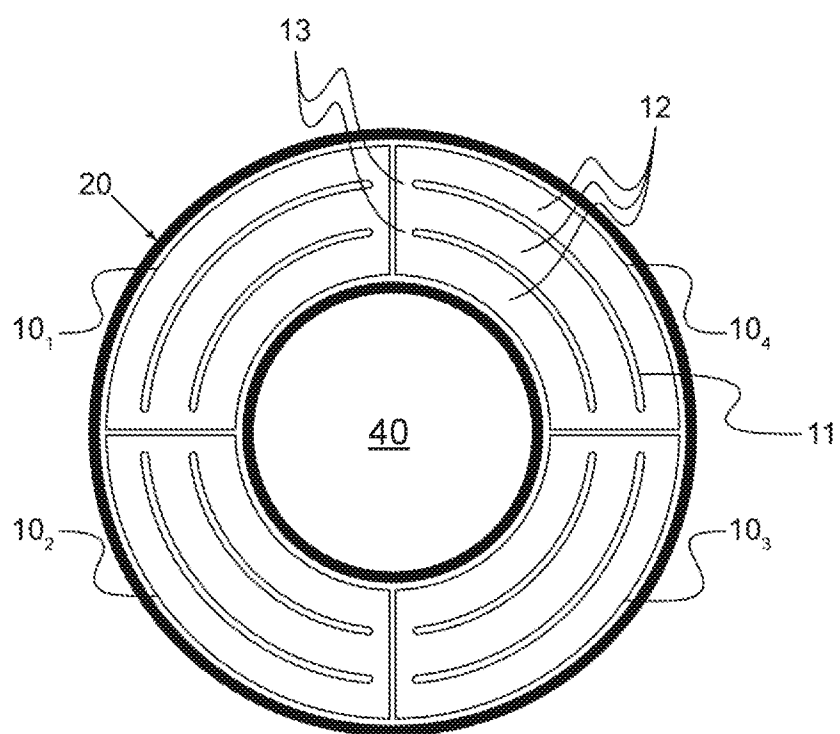


Fig. 4

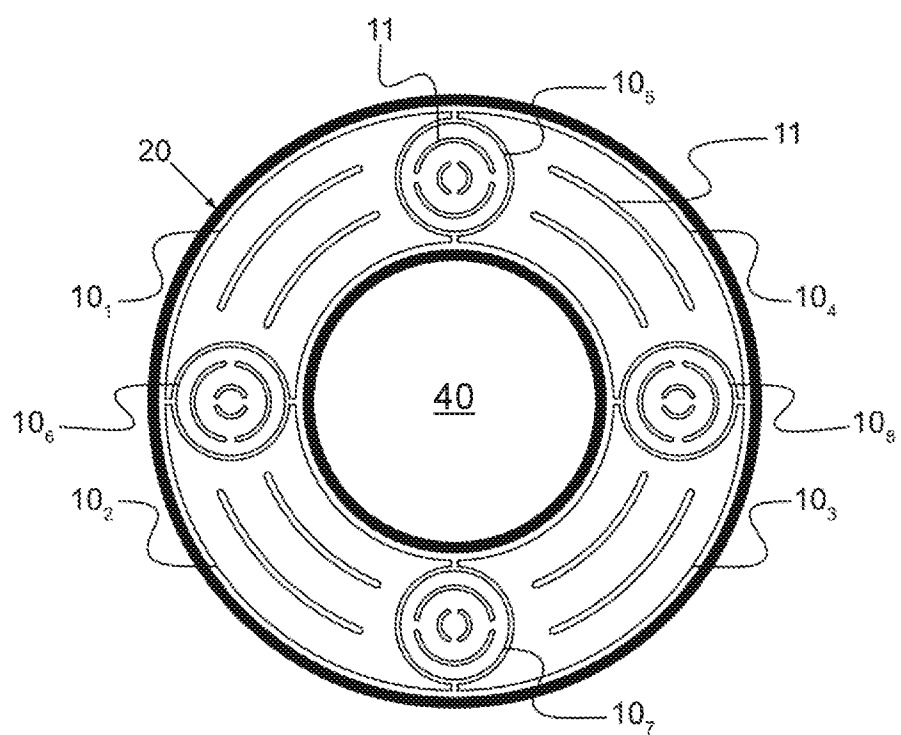


Fig. 5

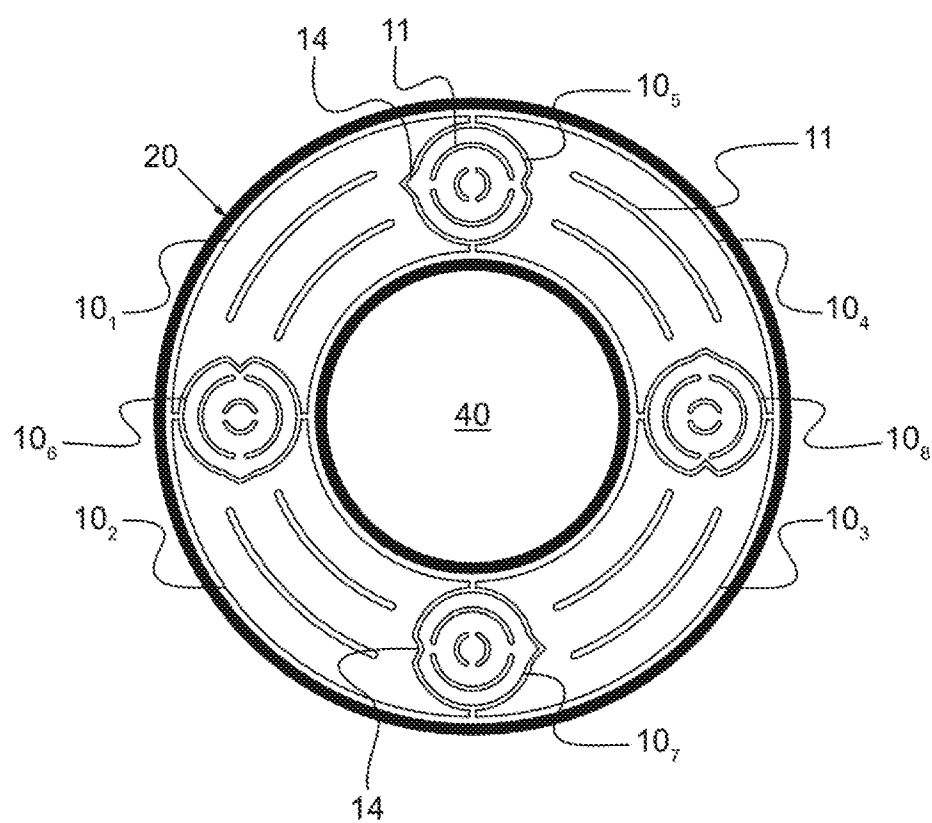


Fig. 6

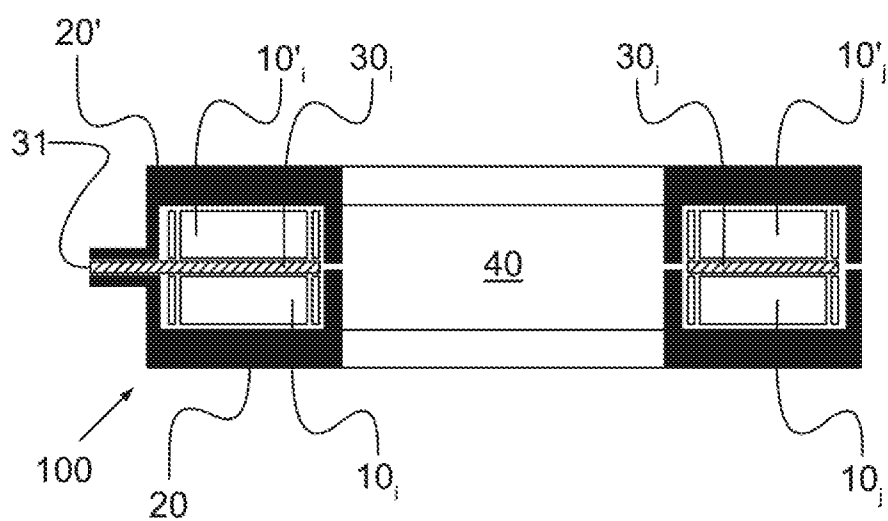


Fig. 7

## Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

G01L 1/18 (2006.01); G01L 1/16 (2006.01); H01L 41/33 (2013.01)

## Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

G01L 1/18 (2020.01); G01L 1/16 (2013.01); H01L 41/33 (2013.01)

## Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

G01L, H01L

## Konsultierte Online-Datenbank:

EPDOC; TXT NN

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 29.01.2020 eingereichten Ansprüchen 1-10 erstellt.

| Kategorie <sup>*)</sup> | Bezeichnung der Veröffentlichung:<br>Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder),<br>Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich | Betreffend<br>Anspruch |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| X                       | JP 2015050289 A (TAIHEIYO CEMENT CORP ET AL) 16. März 2015<br>(16.03.2015)<br>Abstract; Figs. 1-2                                                                      | 1-4                    |
| X                       | JP 2006351602 A (NEC TOKIN CORP ET AL) 28. Dezember 2006<br>(28.12.2006)<br>Abstract; Figs. 1-2                                                                        | 1-4                    |
| X                       | DE 102008042232 A1 (DENSO CORP) 16. April 2009 (16.04.2009)<br>Abstract; Figs. 1-7                                                                                     | 1-4                    |
| X                       | EP 1389805 A1 (NGK INSULATORS LTD) 18. Februar 2004<br>(18.02.2004)<br>Abstract; Figs. 1-4d                                                                            | 1-4                    |
| A                       | DE 102005040122 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 01. März 2007<br>(01.03.2007)<br>Abstract; Fig. 1                                                                               | 1-4                    |
| A                       | US 2014125740 A1 (DOMAE ET AL) 08. Mai 2014 (08.05.2014)<br>Abstract; Figs. 1-5                                                                                        | 1-4                    |
| A                       | EP 2124268 A1 (KYOCERA CORP) 25. November 2009 (25.11.2009)<br>Abstract; Fig. 1                                                                                        | 1-4                    |
| A                       | DE 102015117203 A1 (EPCOS AG) 13. April 2017 (13.04.2017)<br>Abstract; Figs. 1-2                                                                                       | 1-4                    |

Datum der Beendigung der Recherche:

12.11.2020

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

BABUREK Gerhard

<sup>\*)</sup> Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

### geänderte PATENTANSPRÜCHE

1. Strukturiertes, piezoelektrisches Sensorelement, aufweisend ein oder mehrere piezoelektrische, vorzugsweise monokristalline, flächig ausgebildete Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>), die zwischen Gehäuseelementen (20, 20') eines piezoelektrischen Sensors (100) lagerbar und mechanisch vorspannbar sind, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) mehrere Ausnehmungen (11) zum Abbau von mechanischen Spannungen aufweisen, die die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) in Messbereiche (12) unterteilen, die durch Verbindungsbereiche (13) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmungen (11) in einer Ebene normal zur Krafteinleitung angeordnet sind.
2. Sensorelement nach Anspruch 1, wobei die Ausnehmungen (11) schlitzartig ausgebildet sind.
3. Sensorelement nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Breite der schlitzartigen Ausnehmungen (11) 1 mm oder weniger, vorzugsweise 0,5 mm oder weniger beträgt.
4. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Breite der Messbereiche (12) in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zur Erstreckungsrichtung der schlitzartigen Ausnehmungen (11) 5 mm oder weniger, vorzugsweise 2 mm oder weniger beträgt.
5. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Sensorelement eine Lochscheibe mit einem Durchgangsloch (40) ausbildet und die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) um das Durchgangsloch (40) angeordnet sind.
6. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messelemente (10; 10<sub>1</sub>, ..., 10<sub>i</sub>) so geformt sind, dass sie in einer gemeinsamen Ebene derart aneinander angrenzend anordenbar sind, dass

die Orientierung und/oder Position der Messelemente ( $10; 10_1, \dots, 10_i$ ) jeweils durch die angrenzenden Messelemente ( $10; 10_1, \dots, 10_i$ ) festgelegt ist.

7. Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messelemente ( $10; 10_1, \dots, 10_i$ ) aus Galliumorthophosphat oder Lithiumniobat gebildet sind.
8. Piezoelektrischer Sensor (100), aufweisend ein Sensorelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das zwischen zwei Sensorgehäuseelementen ( $20, 20'$ ) gelagert und zwischen den Sensorgehäuseelementen ( $20, 20'$ ) vorgespannt ist.
9. Sensor (100) nach Anspruch 8, wobei die Messelemente ( $10; 10_1, \dots, 10_i$ ) in Kontakt mit einer Elektrode ( $30; 30_1, \dots, 30_i$ ) zur Abnahme von Messsignalen sind.
10. Sensor (100) nach Anspruch 8 oder 9, aufweisend ein Paar von Sensorelementen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, die übereinander angeordnet sind, wobei eine Schicht von Elektroden ( $30; 30_1, \dots, 30_i$ ) zwischen den Sensorelementen angeordnet ist.