



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 27 767 T2 2006.03.02**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 943 903 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 27 767.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP98/03969**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 941 714.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/013300**

(86) PCT-Anmeldetag: **04.09.1998**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **18.03.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.09.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **24.11.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01G 3/13 (2006.01)**

G01G 3/16 (2006.01)

G01N 5/02 (2006.01)

B06B 1/06 (2006.01)

G01P 15/09 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

24307397 08.09.1997 JP

36136897 26.12.1997 JP

(73) Patentinhaber:

Ngk Insulator, Ltd., Nagoya, JP

(74) Vertreter:

LEINWEBER & ZIMMERMANN, 80331 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

TAKEUCHI, Yukihisa, Nishikamo-gun,

Aichi-prefecture 470-0204, JP; OHNISHI, Takao,

Nishikasugai-gun, Aichi-prefec. 452-0015, JP;

KIMURA, Koji, Nagoya-city, Aichi-prefecture

457-0022, JP

(54) Bezeichnung: **GEWICHTSSENSOR UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER MASSE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Massensensor zum Bestimmen einer winzig kleinen Masse in der Größenordnung eines Nanogramms (10^{-9} g), so z. B. einen Massensensor zum Abfühlen von Mikroorganismen wie Bakterien, Viren und Protozoen (Immunsensor), sowie einen Massensensor zum Abfühlen von Feuchtigkeit, toxischen Substanzen oder spezifischen chemischen Substanzen wie Geschmackskomponenten (Feuchtigkeitsmessgerät, Gassensor und Geschmackssensor), sowie auf ein Verfahren zum Abfühlen einer Masse. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf einen Massensensor und auf ein Verfahren zum Abfühlen einer Masse, das praktischerweise zur Bestimmung der Masse eines abzufühlenden Körpers durch Messung der Änderung der Resonanzfrequenzen verwendet wird, die durch die Änderung der Masse der Membran hervorgerufen wird, auf welcher eine Fängersubstanz zum Einfangen eines abzufühlenden Körpers, indem nur der abzufühlende Körper zur Reaktion gebracht wird, aufgetragen ist.

[0002] Da der Massensensor der vorliegenden Erfindung nicht auf das Messen der Änderung der auf einer Membran aufgebrauchten Fängersubstanz, wie dies oben beschrieben ist, beschränkt ist, d. h. er ist nicht auf die indirekte Messung der Änderung der Masse einer Membran beschränkt, sondern es vielmehr möglich ist, die Änderung der Resonanzfrequenz aufgrund der Änderung der Masse der Membran selbst abzufühlen, kann der Massensensor auch zur Dickenmessung für aufgedampfte Filme oder zur Messung eines Taupunkts verwendet werden.

[0003] Selbst wenn die Masse der Membran weder direkt noch indirekt geändert wird, kann der Massensensor der vorliegenden Erfindung weiters auch als ein Vakuummeter, ein Viskositätsmeter oder ein Temperatursensor verwendet werden, indem er in einer Umgebung angeordnet wird, um eine Änderung der Resonanzfrequenz zu bewirken, d. h. er wird in eine Umgebung von Mediumgasen oder -flüssigkeiten mit unterschiedlichem Vakuum-, Viskositäts- oder Temperaturgrad eingebracht.

[0004] Somit wird dasselbe Grundprinzip, obwohl der Massensensor der vorliegenden Erfindung in verschiedenen Anwendungen abhängig von seinen Ausführungsformen verwendet werden kann, auch für die Messung der Änderung der Resonanzfrequenzen der Membran und des Resonanzabschnitts, der die Membran umfasst, verwendet.

Hintergrundwissen

[0005] Durch die in der letzten Zeit erzielten Fort-

schritte im Bereich von wissenschaftlichen und medizinischen Technologien sowie aufgrund neu entwickelter Medikamente wie Antibiotika und Chemikalien wurde die Behandlung verschiedener Erkrankungen, die bis dato als schwierig zu behandeln galten, ermöglicht. Andererseits verringerte sich insbesondere in Industrieländern, in welchen Menschen an eine solche medizinische Zivilisation gewöhnt sind, die immunologische Widerstandsfähigkeit der Menschen, und viele Menschen leiden an verschiedenen Krankheiten, die durch Substanzen oder Mikroorganismen ausgelöst werden, die bis dato Menschen keinen Schaden zugefügt haben.

[0006] Bei diesen Erkrankungen sind Untersuchungen der Mikroorganismen für die Behandlung von durch Mikroorganismen wie Bakterien, Viren oder Protozoen ausgelösten Krankheiten wesentlich, um deren Pathogene zu finden, ihre Arten zu bestimmen und festzulegen, auf welche sie empfindlich reagieren.

[0007] Da die Ursache einer Erkrankung und die Art des Pathogens aus den Symptomen bestimmt werden können, werden im ersten Stadium der Untersuchungen von Mikroorganismen zur Zeit verschiedene Proben, so z. B. Blut, abhängig von der Art der Erkrankung ausgewählt, die in den Proben vorhandenen Mikroorganismen morphologisch identifiziert, oder es werden Antigene oder spezifische Metaboliten der Pathogene (so z. B. Toxine oder Enzyme etc.), die in den Proben vorhanden sind, immunchemisch identifiziert. Die Verfahren dafür sind Abstrich, Tinktur und Mikroskopie, die bei bakteriellen Untersuchungen verwendet werden, und in den letzten Jahre wurde eine unmittelbare Identifizierung in diesem Stadium mittels fluoreszierender Antikörper-Tinktur oder enzymatischer Antikörper-Tinktur möglich.

[0008] Weiters ist der serologische Virustest, der in der letzten Zeit zur Detektion von Viren verwendet wurde, ein Verfahren, um das Vorhandensein von spezifischen Immunitätsantikörpern, die im Serum eines Patienten auftreten, zu prüfen. Beispiele für das Verfahren umfassen die Komplementfixierungsreaktion, in welcher das Vorhandensein von Antikörpern oder Antigenen durch die Zugabe von Komplementen zum Testblut bestimmt wird, und durch die Beobachtung, ob die Komplemente mit den Antigenen oder Antikörpern im Blut reagieren und ob sie sich an die Zellmembranen der Antigene oder Antikörper anlegen, oder ob sie die Zellmembranen zerstören.

[0009] Mit der Ausnahme von extrem speziellen Fällen, in welchen bis dato noch keine Symptome erkennbar sind, und wenn die Erkrankung durch ein neues Pathogen hervorgerufen wird, das noch nicht entdeckt wurde, kann bei der Behandlung von durch Mikroorganismen und dergleichen verursachten Krankheiten eine adäquate Behandlung durchgeführt

werden, indem in einem frühen Stadium durch den oben beschriebenen Mikroorganismus-Test Pathogene entdeckt werden und indem somit der Patient einer Verbesserung zugeführt werden kann, ohne dass sich die Symptome dabei verschlimmern.

[0010] Mit Verfahren wie Abstrich, Tinktur und Mikroskopie ist abhängig von ihren Quantitäten die Detektion von Mikroorganismen manchmal aber schwierig, und bei Bedarf ist eine zeitintensive Behandlung wie die Kultivierung von Proben auf einem Agar erforderlich. Auch bei serologischen Virentests ergibt sich, da Messungen in der Regel sowohl im Akut- als auch im Konvaleszenzstadium zur Bestimmung der Bewegung der Quantitäten von Antikörpern durchgeführt werden müssen, das Problem des Zeitbedarfs in Hinblick auf eine prompte Diagnose.

[0011] Wie bei der obig beschriebenen Komplementfixierung ersichtlich ist, erhöht sich, wenn eine abzufühlende Substanz mit einer Fängersubstanz reagiert, welche die abzufühlende Substanz einfängt, indem sie nur mit der spezifischen abzufühlenden Substanz, den Mikroorganismen, reagiert, die Masse der Fängersubstanz um die Masse der abzufühlenden Substanz, wenn auch nur geringfügig. Eine solche Massensteigerung tritt auch in der Beziehung zwischen einer Fängersubstanz und einer chemischen Substanz wie einer spezifischen gasförmigen Substanz und einer Geruchs Komponente auf, und sie gilt auch in dem Fall, in welchem ein Substrat selbst ohne Massenänderung eine Fängersubstanz ist, auf welcher eine spezifische Substanz abgelagert oder zu dieser zugegeben wird. Im Gegensatz dazu nimmt die Masse der Fängersubstanz oder dergleichen geringfügig ab, wenn eine Reaktion erfolgt, in welcher eine abzufühlende Substanz, die von einer Fängersubstanz oder dergleichen eingefangen wird, freigesetzt wird.

[0012] Als Beispiel für ein Verfahren zum Abfühlen einer Änderung in einer so kleinen Masse offenbart das US-Patent Nr. 4789804 in [Fig. 27](#) einen Massensensor **80**, der einen Quarz-Oszillator **81** und Elektroden **82**, **83** umfasst, die dem Quarz-Oszillator gegenüberliegen. Haftet eine beliebige Substanz außen auf diesen Elektroden **82**, **83** an, so fühlt der Massensensor **80** eine Änderung in ihrer Masse in der Resonanzfrequenz der Dicken-Gleichschwingung des Quarz-Oszillators **81** in die Richtung der Oberfläche der Elektroden ab. Da ein solcher Massensensor **80** die Änderung der Resonanzfrequenz, die im Grunde genommen durch die Änderung der Massenbelastung auf den Quarz-Oszillator **81** hervorgerufen wird, misst, geht man davon aus, dass ein solcher Massensensor **80** auch als Dickenmesser zum Messen der Dicke oder des Aufbaus eines dampfabgelagerten Films oder als ein Feuchtigkeitsmesser verwendet werden kann.

[0013] Wird aber ein solcher Quarz-Oszillator **81** verwendet, wird, da sich der Teil, an welchem eine äußere Substanz anhaftet, und der Teil zur Detektion der Resonanzfrequenz an derselben Stelle befinden, z. B. die Resonanzfrequenz instabil, wenn die piezoelektrischen Eigenschaften des Massensensors **80** selbst aufgrund der Temperatur der Proben oder einer Temperaturänderung variieren. Auch wenn die Probe eine leitfähige Lösung ist und wenn der Massensensor **80** ungeschützt in die Probe eingetaucht wird, kann ein Kurzschluss zwischen den Elektroden auftreten. Somit muss der Massensensor **80** isoliert werden, so z. B. durch eine Harzbeschichtung.

Offenbarung der Erfindung

[0014] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, die obigen Probleme eines Mikro-Massensensors zu lösen.

[0015] Durch die vorliegende Erfindung wird ein Massensensor bereitgestellt, wie er in Anspruch 1 dargelegt ist.

[0016] In diesen zweiten bis sechsten Massensensoren wird bevorzugt, dass die Membran, die Anschlussplatte und die Sensorplatte eine gemeinsame Ebene bilden, wenn sie miteinander verbunden werden, d. h. diese Elemente weisen beinahe dieselbe Dicke auf. Es wird auch bevorzugt, dass die Sensorplatte in die Vertiefung, die durch die Anschlussplatte und das Sensorsubstrat gebildet wird, eingepasst und mit dieser verbunden wird. Auch wird bevorzugt, dass die Membran, die Anschlussplatte und die Sensorplatte einstückig aus einer Membran gebildet werden, und dass das Sensorsubstrat einstückig mit der Membran und der Basisplatte laminiert ist.

[0017] Auch wird bevorzugt, dass eine Federplatte an einer oder jeder der Plattenoberflächen der Anschlussplatte befestigt ist, und dass diese Federplatte mit dem Sensorsubstrat oder der Federplattenverstärkung verbunden ist. Zu diesem Zeitpunkt wird, anders als bei der Struktur, die mittels Klebstoff befestigt ist, bevorzugt, dass die Federplatte einstückig mit einer Zwischenplatte ausgebildet ist, die einstückig zwischen die Membran und die Basisplatte eingeschoben ist, oder einstückig mit der Federplattenverstärkung, die einstückig mit der Membran ausgebildet ist, und auch einstückig mit der Anschlussplatte ausgebildet ist. Wird eine Vielzahl von Anschlussplatten verwendet, so wird bevorzugt, dass die Anordnungen der Anschlussplatte und der Federplatte dieselbe Form aufweisen. Auch weist der Massensensor vorzugsweise eine Verstärkungsplatte auf, die an der Seite des Sensorsubstrats angebracht ist, und in diesem Fall wird bevorzugt, dass die Verstärkungsplatte einstückig mit der Federplatte und dem Sensorsubstrat ausgebildet ist.

[0018] Wird eine Fängersubstanz, die nur mit einer abzufühlenden Substanz reagiert und nur die abzufühlende Substanz einfängt, auf die Membran aufgetragen, so misst das piezoelektrische Element die Änderung der Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts in dem Zustand, in welchem die abzufühlende Substanz nicht durch die Fängersubstanz eingefangen wurde, und in dem Zustand, nachdem die abzufühlende Substanz durch die Fängersubstanz eingefangen wurde, wobei der Massensensor gemäß der vorliegenden Erfindung geeigneterweise in Anwendungen verwendet wird, um die Masse der abzufühlenden Substanz zu messen, die durch die Fängersubstanz eingefangen wurde.

[0019] Vorzugsweise werden zumindest zwei Resonanzabschnitte auf dem Sensorsubstrat angeordnet, und die Fängersubstanz wird nicht auf eine der Membranen der Resonanzabschnitte aufgetragen, um diese Membran als Referenzmembran zu verwenden. Andererseits wird auch bevorzugt, dass die verschiedenen Fängersubstanzen auf jedem Resonanzabschnitt aufgetragen werden, d. h. auf eine Vielzahl von Resonanzabschnitten, auf welche mehr als eine verschiedene Fängersubstanz getrennt aufgetragen wird, ist in einem Sensor bereitgestellt. Hier können mehr als ein Resonanzabschnitt auf dem Sensorsubstrat angeordnet werden, so dass der dynamische Bereich durch die Aufnahme der Signale von den jeweiligen Resonanzabschnitten ausgedehnt wird. Auch kann ein Durchgangsloch mit einer beliebigen Form innerhalb des Sensorsubstrats ausgebildet sein, und der Resonanzabschnitt kann auf der inneren Umfangsfläche des Durchgangslochs ausgebildet sein.

[0020] Auch wird bevorzugt, die Empfindlichkeit zu verbessern, indem eines der piezoelektrischen Elemente in zwei Abschnitte unterteilt wird; ein Abschnitt wird zum Ansteuern und der andere zum Abfühlen verwendet. Weiters wird bevorzugt, die Empfindlichkeit zu verbessern, indem zwei piezoelektrische Elemente auf einem Resonanzabschnitt angeordnet werden, wobei eines der piezoelektrischen Elemente zum Ansteuern und das andere zum Abfühlen verwendet wird. Somit kann jedes der zwei piezoelektrischen Elemente, die auf einem Resonanzabschnitt angeordnet werden, weiter in zwei Abschnitte unterteilt werden, und in diesem Fall weist jedes der zwei piezoelektrischen Elemente sowohl eine Ansteuerungs- als auch eine Abfühlfunktion auf.

[0021] Weiters wird, wenn die Probe eine leitfähige Lösung ist, bevorzugt, einen Positionssensor bereitzustellen, der aus einem Paar Elektroden in der Mitte zwischen der Membran und dem piezoelektrischen Element auf dem Sensorsubstrat besteht, so dass die Membran in die Lösung getaucht wird, aber dass das piezoelektrische Element nicht in die Lösung getaucht wird, selbst wenn der Massensensor getaucht

wird, um auf diese Weise den Massensensor auf einer geeigneten Position zu installieren. Selbst wenn die Probe eine leitfähige Lösung ist, kann ein Kurzschluss der Elektroden oder anderer Teile verhindert werden, wenn das piezoelektrische Element, die Elektroden des piezoelektrischen Elements und die Elektrodenleitungen, die mit der Elektrode verbunden sind, mit einer Harz- oder Glas-Isolierbeschichtungsschicht beschichtet werden. Weiters wird bevorzugt, dass eine Schutzschicht aus einem leitfähigen Material auf der Oberfläche der Isolierbeschichtungsschicht ausgebildet wird, um so auf diese Weise Störungen wie z. B. externe elektromagnetische Wellen zu reduzieren.

[0022] Es wird bevorzugt, dass das Sensorsubstrat, die Membran, die Anschlussplatte, die Sensorplatte und die Federplatte, die einen Massensensor der vorliegenden Erfindung darstellen, einstückig aus stabilisiertem Zirconiumoxid oder teilstabilisiertem Zirconiumoxid zusammengesetzt sind. Als Material für den piezoelektrischen Film im piezoelektrischen Element wird geeigneterweise ein Material, das eine Komponente umfasst, die hauptsächlich aus Bleizirconat, Bleititanat und Bleimagnesiumniobat besteht, verwendet, wobei die Schwingungsmoden, das Einstellen der Resonanzfrequenzen und die Empfindlichkeit gesteuert werden können, wenn die Formen der Membran, der Anschlussplatte, der Sensorplatte oder der Federplatte in ihren Dimensionen dadurch eingestellt werden, dass sie mittels Laserbehandlung oder -bearbeitung geschnitten werden. Weiters wird bevorzugt, dass die Elektrode des piezoelektrischen Elements laserbehandelt oder -bearbeitet wird, um den effektiven Elektrodenbereich des piezoelektrischen Elements einzustellen.

[0023] Der hierin verwendete Ausdruck "piezoelektrisch" umfasst Piezoelektrizität und elektrische Verformung, und was hierin als piezoelektrisches Element bezeichnet wird, umfasst elektrische Verformungselemente, und piezoelektrische Keramikmaterialien umfassen elektrische Verformungs Keramikmaterialien.

[0024] Gemäß der vorliegenden Erfindung sind Verfahren zum Abfühlen einer Masse gemäß der Struktur der verschiedenen oben beschriebenen Massensensoren bereitgestellt, wie dies in den Ansprüchen 33 und 34 dargelegt ist.

[0025] Mithilfe eines Massensensors der vorliegenden Erfindung kann, wie dies oben beschrieben wurde, eine Änderung in einer winzig kleinen Masse, wie sie in einer Membran auftritt, genau in einer kurzen Zeitspanne aus einem spezifischen Wert der Änderung der Resonanzfrequenz des im Massensensor bereitgestellten Resonanzabschnitts abgeleitet werden, und der Massensensor weist den Vorteil eines einfachen Messvorgangs auf. Somit können ver-

schiedenen physikalische und chemische Quantitäten gemessen werden, indem der Massensensor in einer Umgebung angeordnet wird, welche die Resonanzfrequenzen des Resonanzabschnitts ändert. So kann der Massensensor der vorliegenden Erfindung z. B. geeignet als Dickenmesser für dampfabgelagerte Filme und als Taupunktmesser verwendet werden, welcher die direkte Änderung der Masse der Membran verwendet; als Vakuum- und Viskositätsmesser und als Temperatursensor, welche die Umgebung nützen, in welcher die Membran angeordnet wird, so z. B. Vakuum, Viskosität und Temperatur; und insbesondere zur Identifizierung einer abzufühlenden Substanz und zur Messung ihrer Masse, indem auf die Membran eine Fängersubstanz aufgetragen wird, welche selektiv mit der abzufühlenden Substanz, so etwa einem Mikroorganismus oder einer chemischen Substanz in einer Probe, reagiert, und indem die Änderung der Masse einer solchen Fängersubstanz verwendet wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0026] **Fig. 1** ist eine Perspektive eines Massensensors, der zur vergleichenden Veranschaulichung dargestellt ist, und (a) bis (d) sind perspektivische Ansichten der Konstruktionen, in welchen die Positionen und Anzahl der Membranen geändert sind;

[0027] **Fig. 2** ist eine Perspektive einer Ausführungsform eines piezoelektrischen Elements, das dafür geeignet ist, in einem Massensensor der vorliegenden Erfindung eingebaut zu sein;

[0028] **Fig. 3** ist eine Perspektive einer Ausführungsform eines weiteren piezoelektrischen Elements, das dafür geeignet ist, in einem Massensensor der vorliegenden Erfindung eingebaut zu sein;

[0029] **Fig. 4** ist eine Perspektive einer Ausführungsform eines anderen piezoelektrischen Elements, das dafür geeignet ist, in einem Massensensor der vorliegenden Erfindung eingebaut zu sein;

[0030] **Fig. 5** ist eine Darstellung einer Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung; (a) ist ein Grundriss; (b) ist eine Darstellung einer θ -Schwingungsmode; und (c) ist eine Darstellung einer Φ -Schwingungsmode.

[0031] **Fig. 6** ist ein Grundriss einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0032] **Fig. 7** ist eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung; (a) ist ein Grundriss; und (b) bis (e) sind Schnittansichten;

[0033] **Fig. 8** ist eine Darstellung, welche die An-

steuerung eines Massensensors der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0034] **Fig. 9** ist eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung; (a) und (b) sind Grundrisse; und (c) ist eine Schnittansicht;

[0035] **Fig. 10** ist ein Grundriss einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0036] **Fig. 11** ist ein Grundriss des Aussehens einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0037] **Fig. 12** ist ein Grundriss der Struktur des Sensorabschnitts im in **Fig. 11** dargestellten Massensensor;

[0038] **Fig. 13** ist eine Perspektive der Struktur des Sensorabschnitts im in **Fig. 12** dargestellten Massensensor;

[0039] **Fig. 14** ist eine weitere Perspektive der Struktur des Sensorabschnitts im in **Fig. 12** dargestellten Massensensor;

[0040] **Fig. 15** ist ein Grundriss einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0041] **Fig. 16** ist ein Grundriss einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0042] **Fig. 17** ist eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung; (a) ist ein Grundriss; und (b) ist eine Schnittansicht;

[0043] **Fig. 18** ist ein Grundriss noch einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung

[0044] **Fig. 19** ist eine Darstellung noch einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung; (a) ist ein Grundriss; und (b) bis (d) sind Schnittansichten;

[0045] **Fig. 20** ist ein Grundriss einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0046] **Fig. 21** ist ein Grundriss einer weiteren Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0047] **Fig. 22** ist eine Darstellung noch einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vor-

liegenden Erfindung; (a) bis (d) und (f) sind Grundrisse verschiedener Strukturen, in welchen eine Sensorplatte mit den Anschlussplatten verbunden ist; und (e) ist ein Grundriss einer Struktur, in welcher eine Sensorplatte mit einer Membran verbunden ist;

[0048] [Fig. 23](#) ist ein Grundriss eines Beispiels für die Verarbeitung einer grünen Lage für ein Sensorsubstrat, das in der Herstellung eines Massensensors der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0049] [Fig. 24](#) ist eine Darstellung der Größe und Form, welche in der Herstellung eines Massensensors der vorliegenden Erfindung vorzugsweise eingestellt werden;

[0050] [Fig. 25](#) ist eine Darstellung eines Beispiels für die Verarbeitung eines piezoelektrischen Elements eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0051] [Fig. 26](#) ist eine Darstellung der Betriebseigenschaften eines Massensensors der vorliegenden Erfindung;

[0052] [Fig. 27](#) ist eine Schnittansicht der Basisstruktur eines herkömmlichen Mikro-Massensensors; und

[0053] [Fig. 28](#) ist eine Perspektive der Struktur eines Quarz-Oszillators eines herkömmlichen Quarz-Reibungsvakuummeters.

Ausführungsformen der Erfindung

[0054] Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind nachfolgend in Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf einem Massensensor liegt, der verwendet wird, indem eine Fängersubstanz, die nur mit einer spezifischen abzufühlenden Substanz reagiert und die abzufühlende Substanz auf der Membran einfängt, aufgetragen wird.

[0055] [Fig. 1\(a\)](#) ist eine Perspektive eines Massensensors **50A**, der zur vergleichenden Veranschaulichung beschrieben ist. Auf der Plattenoberfläche zumindest einer Sensorplatte **51** ist ein piezoelektrisches Element **55** bereitgestellt, das aus einer ersten Elektrode **52**, einem piezoelektrischen Film **53** und einer zweiten Elektrode **54** besteht. Das piezoelektrische Element **55** kann auf beiden Oberflächen der Sensorplatte **51** bereitgestellt sein, und die erste und die zweite Elektrode **52**, **54** sind mit einer (nicht dargestellten) Elektrodenleitung verbunden, die dazu verwendet wird, sie mit einem Frequenzmesser oder dergleichen zu verbinden.

[0056] Eine schichtähnliche Membran **56** ist mit einer Seite der Sensorplatte **51** verbunden, so dass die

Plattenoberfläche der Membran **56** und die Plattenoberfläche der Sensorplatte **51** senkrecht aufeinander liegen. Hier bezeichnet "die Seiten der Sensorplatte **51**" eine Ebene, die normal auf die Plattenoberfläche der Sensorplatte **51** liegt, auf welcher das piezoelektrische Element **55** installiert ist, d. h. eine Ebene in die Dickenrichtung, und "eine Seite" bezeichnet eine der Seiten. Weiters ist hier die andere Seite der Sensorplatte **51**, die gegenüberliegende Seite zu jener Seite, an welcher die Membran **56** befestigt ist, mit einem Sensorsubstrat **49** verbunden, und ein Resonanzabschnitt ist auf der Membran **56**, der Sensorplatte **51** und dem piezoelektrischen Element **55** ausgebildet, um dadurch den Massensensor **50A** auszubilden.

[0057] Hier bezeichnet eine Membran hauptsächlich den Ort, um eine Massenänderung hervorzurufen oder einer unterzogen zu werden, und sie ist ein Element, das in verschiedenen Moden schwingt, wie dies später ausgeführt wird; eine Anschlussplatte bezeichnet ein Element, um die Membran, das Sensorsubstrat und die Sensorplatte zu verbinden; und eine Sensorplatte bezeichnet ein Element, das durch die Bewegung der Membran verformt wird und die Belastung auf das Sensorelement überträgt, so etwa ein piezoelektrisches Element, das auf der Oberfläche angebracht ist, oder das im Gegensatz dazu die Dehnung oder Schwingung, die durch ein Ansteuerungselement wie etwa ein piezoelektrisches Element erzeugt wird, auf die Membran überträgt. Das Sensorsubstrat bezeichnet ein Element, um den Resonanzabschnitt zu halten und die verschiedenen Elektrodenenden zur Verbindung mit den Messinstrumenten zu tragen, und es dient im tatsächlichen Gebrauch zur Bedienung.

[0058] Verfahren zur Verwendung eines solchen Massensensors **50A** umfassen z. B. ein Verfahren, in welchem eine Fängersubstanz, die nur mit einer abzufühlenden Substanz reagiert und diese einfängt, auf die Membran **56** aufgetragen wird, die Membran **56** in eine flüssige Probe eingetaucht oder einer gasförmigen Umgebung wie einem spezifischen Gas ausgesetzt wird, um eine Änderung der Resonanzfrequenzen des Massensensors **50A** mit dem piezoelektrischen Element **55** zu messen, oder ein Verfahren, in welchem die Resonanzfrequenz gemessen wird, nachdem die Membran **56** in eine flüssige Probe getaucht und in einem Gas getrocknet wurde. Ein Beispiel für eine solche abzufühlende Substanz ist ein Antigen, das eine Krankheit hervorruft, und ein Beispiel für die Fängersubstanz ist ein Antikörper für ein solches Antigen.

[0059] Hier variiert die Resonanzfrequenz des Massensensors **50A** abhängig von der Masse des Resonanzabschnitts, insbesondere der Masse der Membran **56**, d. h. die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts in dem Zustand, in welchem die abzufühlenden

de Substanz nicht von der Membran **56** eingefangen wurde, unterscheidet sich von der Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts in dem Zustand, in welchem die abzufühlende Substanz eingefangen wurde, abhängig von der Masse des abzufühlenden Substrats, das eingefangen wurde. Somit kann durch die Messung der Änderung der Resonanzfrequenzen unter Verwendung des piezoelektrischen Elements **55** die Masse der abzufühlenden Substanz, die durch die auf der Membran **56** aufgetragene Fängersubstanz eingefangen wird, gemessen werden.

[0060] Nach dem gleichen Prinzip kann der Massensensor **50A** verwendet werden, um eine Massenabnahme zu messen, wenn die Masse der Membran **56** sich ausgehend von der Masse im Ausgangszustand verringert. So kann z. B. der Massensensor **50A** geeignet verwendet werden, wenn die aufgetragene Fängersubstanz sich aus irgendwelchen Gründen ablöst, wenn die außerordentlich geringe Korrosion oder eine außerordentlich kleine Menge der Auflösung in einer bestimmten Lösung des Materials selbst der Membran **56** überprüft werden soll, oder wenn die Massenänderung einer bestimmten chemischen Substanz, die nicht die Fängersubstanz und auf die Membran **56** aufgetragen ist, aufgrund der Verdampfung oder Auflösung einer solchen chemischen Substanz gemessen werden soll.

[0061] Die Struktur eines solchen Massensensors **50A** kann zusammenfassend eine solche Struktur sein, in welcher eine Seite zumindest einer schichtenähnlichen Membran **56** mit einer Seite einer Sensorplatte **51** verbunden ist, so dass die Plattenoberfläche der Membran **56** normal auf die Plattenoberfläche liegt, auf welcher das piezoelektrische Element **55** der Sensorplatte **51** angebracht ist, und so dass die andere Seite der Sensorplatte **51** mit dem Sensorsubstrat **49** verbunden ist. Hier wird als Schwingungsmodus der zur Messung der Resonanzfrequenz im Massensensor **50A** verwendeten Membran vorzugsweise die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts auf der Grundlage zumindest eines der folgenden Schwingungsmoden gemessen: die θ -Schwingungsmodus (nachfolgend hierin als " θ -Mode" bezeichnet), in welcher die Membran **56** eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der Normalachse (Y-Achse), die orthogonal durch die Mitte der feststehenden Ebene verläuft, durchführt, wobei die feststehende Ebene eine Ebene ist, in welcher die Membran **56** mit der Sensorplatte **51** in [Fig. 1\(a\)](#) verbunden ist, in die Richtung orthogonal auf die Seite der Membran **56** und auch in die Richtung orthogonal auf die Y-Achse, d. h. in die Richtung der X-Achse; oder die Φ -Schwingungsmodus (hierin nachfolgend als " Φ -Mode" bezeichnet), in welcher die Membran **56** eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der Y-Achse in die Richtung senkrecht auf die Seite der Membran **56** und auch in die Richtung normal auf die Y-Achse, d. h. in die Rich-

tung der X-Achse durchführt, begleitet von der Schwingungsbewegung in die parallel zur Seite der Membran **56** (Z-Achse) verlaufende Richtung, wenn die Membran **56** sich von der Y-Achse weg bewegt; und die Schwingung in die Richtung der Y-Achse.

[0062] Diese Verschiebungsmoden bezeichnen, dass die Richtung der Verschiebung der Membran **56** in die obig beschriebenen Richtungen dominiert, dass aber die anderen Richtungskomponenten als die obigen Richtungen nicht zur Gänze ausgeschlossen sind. Dies gilt auch für die Anführung der Verschiebungsmoden in den nachfolgenden beschreibenden verschiedenen Ausführungsformen.

[0063] Da die θ -Mode und die Φ -Mode dieselben sind wie im später beschriebenen Massensensor **30**, werden sie detailliert in der Beschreibung des Massensensors **30** beschrieben; da die Schwingungsmoden die Starrkörper-Moden sind, welche die Seite der Membran **56** verwenden, werden sie geeignet insbesondere dann verwendet, wenn die Membran **56** oder der gesamte Massensensor **50A** in eine Flüssigkeit getaucht ist.

[0064] Wird der Massensensor **50A** in einem Gas verwendet, kann die Biegemode, in welcher die Biegung in die Richtung der Z-Achse in [Fig. 1\(a\)](#) vorherrscht, auch wirksam zusätzlich zu den obigen Schwingungsmoden verwendet werden. Wird die Biegemode in einer Flüssigkeit verwendet, obwohl die Wirkung der Viskosität oder Dichte der Flüssigkeit größer ist als im obigen θ - oder Φ -Mode, so kann die Massenänderung aus der Messung der Resonanzfrequenz erhalten werden. Somit kann durch die Detektion der auf dem piezoelektrischen Film **53** durch die Schwingung der Membran **56**, wie dies oben beschrieben ist, induzierten Spannung die Änderung der Resonanzfrequenz oder die Änderung der Masse der Membran **56** erhalten werden.

[0065] Unter Verwendung des Betriebsprinzips des obig beschriebenen Massensensors **50A** können die in den [Fig. 1\(b\)](#) bis [Fig. 1\(d\)](#) gezeigten Konstruktionen als Beispiel für Massensensoren mit einer ähnlichen Funktion wie jener in [Fig. 1\(a\)](#) dargestellte Massensensor verwendet werden. Der Massensensor **50B** in [Fig. 1\(b\)](#) zeigt zwei parallele Membranen **56**, die der Membran **56** in der Ausführungsform der [Fig. 1\(a\)](#) auf einer Seite der Sensorplatte **51** ähnlich sind. Die Verwendung einer Vielzahl von Membranen **56** kann den dynamischen Bereich des Massensensors verbessern.

[0066] Die Stelle, an welcher eine Vielzahl von Membranen **56** mit der Sensorplatte **51** verbunden ist, ist nicht beschränkt, sofern es eine andere Seite als jene ist, an welcher die Sensorplatte **51** mit dem Sensorsubstrat **49** verbunden ist. Da zumindest eine Membran **56** erforderlich ist, kann die Membran **56**

auch mit der Seite verbunden sein, die orthogonal auf die Seite, an welcher die Sensorplatte **51** mit dem Sensorsubstrat **49** verbunden ist, von den Seiten der Sensorplatte **51** liegt, wie im in [Fig. 1\(c\)](#) dargestellten Massensensor **50C**. Weiters kann jede der zwei Membranen **56** mit einem Paar Seiten verbunden sein, die einander gegenüber liegen, wie dies im in [Fig. 1\(d\)](#) dargestellten Massensensor **50D** der Fall ist, um den dynamischen Bereich wie im Massensensor **50B** zu verbessern.

[0067] Zu diesem Zeitpunkt wird bevorzugt, dass die Stelle, an welcher die Membran **56** mit der Sensorplatte **51** verbunden ist, in der Nähe des Endes der Sensorplatte **51** so weit wie möglich vom Sensorsubstrat **49** entfernt liegt, da der Q-Wert (Peak-Wert, nachfolgend als "Q-Wert" bezeichnet) der θ - und der Φ -Mode erhöht werden können, d. h. die Amplitude der Membran **56** wird vergrößert und die Empfindlichkeit verbessert.

[0068] Obwohl das auf den obig beschriebenen Massensensoren **50A–50D** angebrachte piezoelektrische Element **55** gewöhnlich eine Laminationsart ist, in welcher eine erste Elektrode **52**, ein piezoelektrischer Film **53** und eine zweite Elektrode **54**, wie in [Fig. 2](#) dargestellt, laminiert sind, können auch ein piezoelektrisches Element **62A** mit einer Wabenstruktur, in welcher ein piezoelektrischer Film **58** auf einer in [Fig. 3](#) dargestellten Sensorplatte **57** angeordnet ist, und in welcher eine erste Elektrode **59** und eine zweite Elektrode **60** Zwischenräume **61** mit einer konstanten Breite auf der Oberseite des piezoelektrischen Film **58** ausbilden, verwendet werden. Die erste Elektrode **59** und die zweite Elektrode **60** in [Fig. 3](#) können in der Oberfläche zwischen der Sensorplatte **57** und dem piezoelektrischen Film **58** ausgebildet sein. Weiters wird auch, wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, ein piezoelektrisches Element **62B**, in welchem ein piezoelektrischer Film **58** zwischen den wabenförmigen ersten und zweiten Elektroden **59**, **60** eingebettet ist, geeignet verwendet.

[0069] Wird eine wabenförmige Elektrode, wie sie in den [Fig. 3](#) oder [Fig. 4](#) dargestellt ist, hier verwendet, so kann die Messempfindlichkeit erhöht werden, indem die Teilung **63** verringert wird. Solche piezoelektrischen Elemente, wie sie in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) dargestellt sind, werden in allen später beschriebenen Massensensoren der vorliegenden Erfindung verwendet.

[0070] Obwohl die Messung der Masse wie zuvor beschrieben unter Verwendung der Massensensoren **50A** bis **50D** durchgeführt werden kann, ist eine Vergrößerung der Empfindlichkeit begrenzt, da die Fläche der Membranen **56** unvermeidbar klein ist, wodurch die Fläche, auf welche eine Fängersubstanz aufgetragen ist, klein und das Ausführen von Änderungen in der Masse klein gemacht werden, wenn die

Dicke des aufgedampften Films gemessen wird. Weiters können Verwertungen und Biegungen auf der Membran **56** auftreten und zusätzlich kann die Mode, in der nur die Membran **56** schwingt, stark in Erscheinung treten. Daher wird die Struktur bevorzugt modifiziert, so wie in [Fig. 5\(a\)](#) gezeigt, um solche Probleme zu lösen. [Fig. 5\(a\)](#) zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massensensors. In Massensensor **30** sind eine Membran **31** und eine Verbindungsplatte **33** an ihren entsprechenden Seiten miteinander verbunden und eine Sensorplatte **32** ist mit der Verbindungsplatte **33** an ihren entsprechenden Seiten in Richtung normal zur Y-Achsen-Richtung verbunden, welche jene Richtung ist, wo die Membran **31** und die Verbindungsplatte **33** verbunden sind, das ist die X-Richtung. Eine piezoelektrisches Element ist an zumindest einem Teil von zumindest einer der Plattenoberflächen der Sensorplatte **32** angebracht, um einen Sensorabschnitt auszubilden, und ist an zumindest einem Teil der Seiten der Verbindungsplatten **33** und der Sensorplatte **32** mit der Seite des Sensorsubstrats **34** verbunden, ohne daß die Membran **31** unmittelbar mit dem Sensorsubstrat **34** verbunden ist. Daher ist eine Resonanzabschnitt auf der Membran **31**, der Verbindungsplatte **33**, der Sensorplatte **32** und dem piezoelektrischen Element **35** ausgebildet, um einen Massensensor **30** auszubilden.

[0071] Hier sind die Membran **31**, die Verbindungsplatte **33** und die Sensorplatte **32** nicht notwendigerweise von gleicher Dicke, vorzugsweise haben sie die gleiche Dicke, um die gleiche Oberfläche auszubilden, und mehr bevorzugt sind die einstückig ausgebildet. Die Bedingungen, die sich auf die Dicke beziehen sowie auf eine Verbindung für die Membran **31**, die Anschlussplatte **33** und die Sensorplatte **32** werden ebenfalls auf alle nachfolgend beschriebenen Massensensoren gemäß der vorliegenden Erfindung angewendet. Weiters werden die Seiten der Anschlussplatte **33** und der Sensorplatte **32** vorzugsweise einstückig mit dem Sensorsubstrat **34** ausgebildet.

[0072] Die Struktur eines solchen Massensensor **30** kann als ein Massensensor mit zumindest einem piezoelektrischen Element zusammengefasst werden, in welchem eine Anschlussplatte **33** und eine Membran **31** an ihren jeweiligen Seiten miteinander verbunden sind; zumindest eine Sensorplatte **32** ist mit der Anschlussplatte **33** an ihrer jeweiligen Seite in die Richtung normal auf die Richtung, in welcher die Membran **31** mit der Anschlussplatte **33** verbunden ist, verbunden; und zumindest ein Teil der Seiten der Anschlussplatte **33** und der Sensorplatte **32** ist mit einem Teil der Seiten des Sensorsubstrats **34** verbunden. Im Massensensor **30** kann zumindest einer der Schwingungsmoden von den Biegemoden verwendet werden, in welchem die Membran **31** schwingt, wenn sie sich in die Richtung der (nicht dargestellten)

Z-Achse normal auf die beiden X- und Y-Achsen biegt; den axialen Rotationsmodus, in welcher sie schwingt, wenn sie um die Y-Achse rotiert; die θ -Mode, in welcher die Membran **31** eine pendelähnliche Schwingung im Zentrum auf der Y-Achse innerhalb der Plattenoberfläche der Membran **31** in die X-Achsen-Richtung durchführt, um so einen konstanten Winkel θ zur Y-Achse zu erzeugen; und die Φ -Mode, die eine pendelähnliche Schwingung im Zentrum auf der Y-Achse in die X-Achsen-Richtung ist, und in welchem die Schwingungskomponente in die Richtung der (nicht dargestellten) Z-Achse parallel zur Seite der Membran **31** gesteigert wird, wenn sie sich von der Y-Achse weg bewegt.

[0073] Nun werden die obige θ -Mode und die Φ -Mode noch detaillierter beschrieben. [Fig. 5\(b\)](#) ist eine Darstellung der θ -Mode und zeigt die Änderung der Position der Membran **31**, wenn der Massensensor **30** der [Fig. 5\(a\)](#) aus der A-A-Richtung in [Fig. 5\(a\)](#) betrachtet wird, d. h. auf der X-Achse von der Y-Achsen-Richtung. Hierin liegt die obere Stirnfläche **31F** der Membran **31** auf der Position P1, wenn sie nicht schwingt, aber in der θ -Mode führt die Membran **31** mit Zentrum auf der Y-Achse innerhalb der Plattenoberfläche der Membran **31** eine pendelähnliche Schwingungsbewegung durch, d. h. in die X-Y-Achsenenebene in die X-Achsen-Richtung, um somit einen konstanten Winkel θ zur Y-Achse zu erzeugen. Zu diesem Zeitpunkt kann in die A-A-Richtung die Bewegung der oberen Stirnfläche **31F** der Membran **31** als die reziproke Bewegung zwischen den Positionen P2 und P3 auf der X-Achse beschrieben werden, und diese Schwingbewegung wird als θ -Mode definiert.

[0074] Als nächstes ist [Fig. 5\(c\)](#) eine Darstellung der Φ -Mode, und ähnlich wie [Fig. 5\(b\)](#) zeigt [Fig. 5\(c\)](#) die Änderung der Position der Membran **31** von der in [Fig. 5\(a\)](#) dargestellten A-A-Richtung aus gesehen. Hierin ist auch die obere Stirnfläche **31F** der Membran **31** die Position P1, wenn sie nicht schwingt. Wie bereits zuvor beschrieben wurde, führt die Membran in der Φ -Mode eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der Y-Achse innerhalb der Oberfläche der Membran **31** in die X-Achsen-Richtung durch, und die Schwingungskomponente in die Richtung der Z-Achse parallel zur Seite der Membran **31** wird gesteigert, wenn sie sich von der Y-Achse weg bewegt. D. h. die Bewegung der oberen Stirnfläche **31F** der Membran **31** in die A-A-Richtung kann als die reziproke Bewegung zwischen den Positionen P4 und P5 auf dem Bogenorbit S mit dem Mittelpunkt O an einem Punkt der Z-Achse und durch die Position P1 hindurchgehend beschrieben werden. Zu diesem Zeitpunkt ist der Winkel aus der Z-Achse und der geraden Linie, welche die Membran **31** und den Mittelpunkt O verbindet, Φ , und eine solche Schwingungs-mode wird als Φ -Mode definiert.

[0075] Aufgrund dieser verschiedenen Schwin-

gungsmoden wird der piezoelektrische Film des piezoelektrischen Elements **35** einer Dehn- oder Biegebelastung unterzogen, und es wird eine Spannung erzeugt, die der Größe der mechanischen Spannung entspricht. Die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts, der die Membran **31**, die Anschlussplatte **33** und den Sensorabschnitt **36** umfasst, wird zu diesem Zeitpunkt durch das piezoelektrische Element **35** gemessen. Da die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts hauptsächlich in Begleitung der Massenänderung der Membran **31** variiert, wenn sich eine Substanz an der Membran **31** anhaftet oder sich von dieser löst, wodurch die Masse der Membran **31** eine Änderung erfährt, kann die Massenänderung im selben Prinzip wie bei den Massensensoren **50A** bis **50D** erhalten werden. Der dynamische Bereich kann vergrößert werden, indem zwei piezoelektrische Elemente **35** auf beiden Oberflächen der Sensorplatte **32** installiert und durch Betätigung der von diesen piezoelektrischen Elementen **35** abgefühlten Signale verglichen werden. Weiters kann in diesem Fall die Empfindlichkeit verbessert werden, indem eines der piezoelektrischen Elemente **35** für das Ansteuern (Anregen) der Membran **31** und das andere für das Abfühlen (Schwingungsempfang) verwendet wird.

[0076] Weiter wird in [Fig. 5\(a\)](#) bevorzugt, die Empfindlichkeit zu verbessern, indem ein piezoelektrisches Element **35** in die Y-Achsen-Richtung installiert wird, dieses in zwei piezoelektrische Elementteile **35A** und **35B** geteilt wird und diese zum Ansteuern bzw. Abfühlen verwendet werden. Die Verfahren zum Teilen des piezoelektrischen Elements **35** umfasst ein Verfahren, in welchem nach der Installation eines piezoelektrischen Elements **35** dieses mittels Laserbehandlung geteilt wird, sowie ein Verfahren, um zwei piezoelektrische Elementteile **35A** bzw. **35B** gleichzeitig zu installieren. Diese Verfahren zum Installieren einer Vielzahl von piezoelektrischen Elementen und zum Teilen und Verwenden der jeweiligen piezoelektrischen Elemente **35** können auf alle Massensensoren gemäß der vorliegenden Erfindung angewendet werden.

[0077] Wenn eine Resonanzfrequenz durch Eintauchen der Membran **31** in eine Flüssigkeit unter Verwendung der obig beschriebenen Biegemode gemessen wird, weist die Membran **31** den Vorteil auf, dass die Membran **31** von der Flüssigkeit Widerstand empfängt, welcher der Fläche der Membran **31** entspricht, und es somit schwierig wird, eine Änderung in der winzig kleinen Masse der Membran **31** abzufühlen. Ist die Probe ein Gas, so kann aber die Biegemode verwendet werden, weil der Widerstandswert nur klein ist. In diesem Fall wird es aber bevorzugt, die Länge der Membran **31** in die Y-Achsen- und X-Achsen-Richtung zu verkürzen.

[0078] Da die Massenänderung der Membran **31**, wo sich die Breite der Anschlussplatte **33** (Breite in

die Richtung der X-Achse) zur Membran **31** hin ausdehnt, in den Rotationsmode um die Y-Achse die Rotationsschwingung der Membran **31** nur gering beeinträchtigt wird und weniger zur Rotationsschwingung beiträgt als dieselbe Massenänderung an den linken und rechten Enden der Membran **31**, ergibt sich in der Empfindlichkeit abhängig von der Position, wo die Massenänderung der Membran **31** auftritt, ein Problem. In diesem Fall kann ein Messfehler dadurch minimiert werden, dass die Form der Membran **31** konkav gemacht wird und dass der Bereich in der Nähe der Y-Achse klein wie im Massensensor **30A** der [Fig. 6](#) ausgeführt wird. Zu diesem Zeitpunkt wird bevorzugt, die Dimension H_1 zu verringern, um den Messfehler an der Position des Auftragens der Probe zu minimieren, wenn die Massenänderung dieselbe ist; und um den dynamischen Bereich zu vergrößern, wird die Dimension H_2 vorzugsweise erhöht.

[0079] Wird die θ - oder Φ -Mode verändert, ungeachtet dessen was die Probe ist, ob nun flüssig oder gasförmig, so kann der Effekt der Position, an welcher die Fängersubstanz auf die Membran **31** aufgetragen wird, dadurch minimiert werden, dass die Dimensionen H_3 und H_4 in [Fig. 5](#) verringert werden. Zusätzlich dazu ist der Effekt von Dichte oder Viskosität gering, da die Membran **31** dünn ist, und da die Membran **31** in einer Starrkörper-Mode betrieben wird, wird dies auch nur sehr wenig durch eine Temperaturänderung beeinflusst, wodurch dem Massensensor exzellente Empfindlichkeit und Umgebungsbeständigkeit verliehen wird. Somit wird bevorzugt, den Massensensor der vorliegenden Erfindung in der θ -Mode oder in der Φ -Mode zu betreiben.

[0080] In der vorliegenden Erfindung kann als nächster Schritt eine Struktur, in welcher eine Federplatte in einer Plattenfläche oder jeder Fläche der Anschlussplatte befestigt ist, und in welcher die Federplatte mit einem Sensorsubstrat oder einer Federplattenverstärkung verbunden ist, vorteilhaft angenommen werden. [Fig. 7\(a\)](#) ist ein Grundriss des Massensensors **40A**, der eine Ausführungsform ist, in welcher eine Federplatte **38** und eine Federplattenverstärkung **39** auf dem obig beschriebenen Massensensor **30** installiert sind. Die [Fig. 7\(b\)](#) bis (e) sind verschiedene Schnittansichten auf der Y-Achse aus der X-Achsen-Richtung gesehen, die Beispiele für die Anbringung der Federplatte **38** und der Federplattenverstärkung **39** veranschaulichen.

[0081] Die Federplatte **38** ist mit zumindest einer Plattenoberfläche der Anschlussplatte **33** verbunden. Obwohl die Breite der Federplatte **38** geringer als die Breite der Anschlussplatte **33** sein kann, wie dies [Fig. 7\(a\)](#) veranschaulicht, ist die Breite der Federplatte **38** vorzugsweise dieselbe wie die Breite der Anschlussplatte **33**. Auch wenn die Federplatten **38** aus demselben Material an beiden Plattenflächen der Anschlussplatte **33** befestigt sind, wird bevorzugt,

dass die Formen dieser Federplatten **38** dieselben sind. Werden die Materialien der Federplatten **38** aber auf verschiedene Materialien der Anschlussplatte **33** geändert, so ist es nicht erforderlich, dass die Formen dieser Federplatten **38** dieselben sind, wobei aber geeignete Formen unter Berücksichtigung des E-Moduls und anderer physikalischer Eigenschaften jeder Federplatte **38** angenommen werden können.

[0082] Solche Federplatten **38** werden also in der Regel mit dem Sensorsubstrat **34** verbunden. In diesem Fall ist die Notwendigkeit der Federplattenverstärkung **39** abhängig von der Position, an welcher die Anschlussplatte **33** mit dem Sensorsubstrat **34** verbunden wird; bestimmt, d. h. wenn die Anschlussplatte **33** mit der Position verbunden ist, an welcher die Federplatte **38** direkt mit dem Sensorsubstrat **34** verbunden ist, wie dies in den [Fig. 7\(b\)](#) und (c) dargestellt ist, so ist keine Federplattenverstärkung **39** erforderlich, da das Sensorsubstrat **34** auch als Federplattenverstärkung **39** dient. Dann kann die Federplatte **38** nur auf einer Plattenfläche der Anschlussplatte **33** befestigt werden.

[0083] Wenn die Anschlussplatte **33** aber mit dem Sensorsubstrat **34** an ihrem Ende verbunden ist, wie dies in [Fig. 7\(d\)](#) dargestellt ist, so wirkt für die Federplatte **38A** das Sensorsubstrat **34** auch als Federplattenverstärkung **39**; für die Federplatte **38B** wird aber bevorzugt, eine Federplattenverstärkung **39** zum Halten der Federplatte **38B** bereitzustellen. Selbst wenn die Anschlussplatte **33** mit dem Sensorsubstrat **12** an ihrem Ende verbunden ist, wie dies [Fig. 7\(e\)](#) zeigt, ist keine Federplattenverstärkung **39** erforderlich, wenn nur die Federplatte **38A**, die mit dem Sensorsubstrat **12** verbunden werden kann, befestigt wird, und wenn keine Federplatte **38B** verwendet wird.

[0084] Somit wird durch das Befestigen der Federplatte **38** die mechanische Festigkeit des Resonanzabschnitts verbessert. Auch kann dadurch die Dicke der Anschlussplatte **33** und der Membran **31** verringert werden, und auch die Dämpfung des Resonanz-Peaks bei Messung in einer Flüssigkeit wird vorteilhaft verringert. Weiters werden Federplatten **38** vorzugsweise an beiden Plattenflächen der Anschlussplatte **33** befestigt, da der Schwerpunkt des Federabschnitts, der aus der Anschlussplatte **33** und den Federplatten **38** besteht, dadurch angeregt werden kann, und die Membran **31** leicht im θ -Mode schwingt, wenn die Membran **31** mit dem piezoelektrischen Element **35** angeregt wird.

[0085] Hierin sind Schnittansichten auf der X-Achse von der Richtung der Y-Achse der in den [Fig. 7\(c\)](#) und (d) dargestellten Ausführungsformen in den [Fig. 8\(a\)](#) bzw. (b) gezeigt. In [Fig. 8\(a\)](#) schwingen die Membran **31** und der gesamte Resonanzabschnitt leicht in der θ -Mode in die Richtung der X-Achse, da

das piezoelektrische Element **35** den Mittelpunkt O der Federplatte **38A**, der Federplatte **38B** und der Anschlussplatte **33** in die X-Achsen-Richtung ansteuern kann, während im Fall der [Fig. 8\(b\)](#) die Antriebskraft in die Richtung der X-Achse (Pfeil S_1) durch das piezoelektrische Element **35** als Rotationskraft um den Mittelpunkt O (Pfeil S_2) herum angetrieben wird und der Rotationsmodus leicht zu sein scheint, selbst wenn der Rotationsmodus durch die Festigkeit der Federplatte **38A** selbst beschränkt ist, da der Mittelpunkt O der Federplatte **38A**, der Federplatte **38B** und der Anschlussplatte **33** nicht auf der Anschlussplatte **33** liegt.

[0086] Wird die Federplatte **38** wie zuvor beschrieben verwendet, so wird auch bevorzugt, dass eine Verstärkungsplatte **41** an der Federplatte **38** befestigt und mit der Seite des Sensorsubstrats **34** verbunden wird, wie dies am Beispiel des Massensensors **40B** in [Fig. 9](#) dargestellt ist. Die [Fig. 9\(a\)](#) und (b) sind Grundrisse des Massensensors **40B** aus der Sicht von oben bzw. unten; und [Fig. 9\(c\)](#) ist eine Schnittansicht entlang der X-Achse aus der Sicht von der Richtung der Y-Achse in [Fig. 9\(b\)](#). Hierin ist die Verstärkungsplatte **41** an der auf der Anschlussplatte **33** installierten Federplatte **38A** befestigt und mit dem Sensorsubstrat **34** an der senkrecht darauf geschnittenen Seite verbunden. Vorzugsweise ist die Verstärkungsplatte **41** einstückig mit der Federplatte **38** und dem Sensorsubstrat **34** ausgebildet.

[0087] Da eine solche Struktur es erleichtert, dass die Membran **31** in der θ -Mode und in der Φ -Mode in Resonanz gerät, wird die Dämpfung des Q-Werts reduziert, und die Empfindlichkeit wird vorteilhaft verbessert. Somit ist die Struktur insbesondere für die Messung in einer Flüssigkeit geeignet.

[0088] Offensichtlich kann die oben beschriebene Federplatte auf alle Massensensoren gemäß der vorliegenden Erfindung angewendet werden, in welchen eine Anschlussplatte als Komponente verwendet wird, und es wird bevorzugt, dass die Federplatte einstückig mit einer Zwischenplatte ausgebildet ist, die einstückig zwischen der Membranplatte und der Basisplatte eingeschoben ist, oder dass sie einstückig mit einer Federplattenverstärkung ausgebildet ist, die einstückig mit der Membran ausgeführt wurde, und dass sie auch einstückig mit den jeweiligen Anschlussplatten ausgebildet ist, wie dies später im Verfahren zur Herstellung des Massensensors der vorliegenden Erfindung beschrieben ist.

[0089] Die Form der Plattenfläche der Membran **31** im obigen Massensensor **30** ist nicht auf die rechteckige Form beschränkt, wie dies in den [Fig. 5\(a\)](#), [Fig. 7\(a\)](#) und [Fig. 9](#) dargestellt ist, sondern es können verschiedene beliebige Formen, so z. B. rund, dreieckig, umgekehrte U-Form, polygonal, elliptisch und oval, verwendet werden, wie dies in den Massen-

sensoren **30B** bis **30D** in den [Fig. 10\(a\)](#) bis (c) gezeigt ist. Die Membran **31** kann mit der Anschlussplatte **33** nicht symmetrisch um die Y-Achse verbunden sein, wie dies im Massensensor **30E** der [Fig. 10\(d\)](#) dargestellt ist. Eine solche beliebige Auswahl der Form der Membran **31** kann auf alle Massensensoren der vorliegenden Erfindung angewendet werden.

[0090] Als nächstes ist eine Ausführungsform eines Massensensors, in welcher nur eine Federplatte mit dem Massensensor **30** verbunden ist, wie dies oben beschrieben wurde, und in welcher sie im Sensorsubstrat angeordnet ist, in [Fig. 11](#) dargestellt. Im Massensensor **1** ist es offensichtlich möglich, die Federplatte, die Federplattenverstärkung und die Verstärkungsplatte, die zuvor beschrieben wurden, auszubilden, oder gegebenenfalls die Form der Membran zu ändern.

[0091] [Fig. 11](#) ist ein Grundriss eines Massensensors **2** aus der Richtung der Membran **3**. Der Massensensor **1** ist symmetrisch konstruiert. Die Schwingungsplatte **3** bildet gemeinsam mit der Basisplatte **15** und der Zwischenplatte **17** das Sensorsubstrat **2**, wie dies später beschrieben wird. Löcher **8**, die im Sensorsubstrat **2** ausgebildet sind, werden als Ausrichtungsmarkierungen verwendet, die bei den Verpackungs- und Herstellungsprozessen des Massensensors **1** zur Anwendung kommen, und zwei Resonanzabschnitte **26**, wobei einer dieser als Referenz dient, die aus einer Membran **19**, einer Anschlussplatte **20**, einer Sensorplatte **21**, einem piezoelektrischen Element **25** und einer Federplatte **18** bestehen, wie dies in einem späteren Abschnitt beschrieben ist. Indem zwei oder mehr Resonanzabschnitte **26** in einem Massensensor **1** ausgebildet werden, umfassend dabei einen Resonanzabschnitt **26** als Referenz, können die Signale von den jeweiligen Resonanzabschnitten **26** kumuliert werden, um den dynamischen Bereich auszudehnen.

[0092] Die Positionssensorelektroden **4**, **5** werden zum Abfühlen der Position des Massensensors **1** verwendet, wenn der Massensensor **1** in eine leitfähige Probe wie eine wässrige Lösung eingetaucht ist, indem ein elektrischer Strom durch die Probe geleitet wird. Ist die Probe leitfähig, so verhindern diese Positionssensorelektroden **4**, **5** einen Kurzschluss der zweiten Elektrode **24** und der ersten Elektrode **22** auf dem (in [Fig. 11](#) nicht dargestellten) piezoelektrischen Element **25** sowie der Elektrodenleitungen **9**, **10** von diesen Elektroden, indem sie den Teil oberhalb des Musters, der in die horizontale Richtung der Positionssensorelektroden **4**, **5** ausgebildet ist, in die Probe eintauchen und den Teil des Massensensors **1**, der tiefer als die Position der Positionssensorelektroden **4**, **5** liegt, nicht in die Probe eintauchen. An ein Ende jeder der Positionssensorelektroden **4**, **5** ist ein Anschluss **6** bzw. **7** ausgebildet; und an ein Ende

jede der Elektrodenleitungen **9**, **10** ist ein Anschluss **11** bzw. **12** ausgebildet. Diese Anschlüsse werden mit den Sonden oder anderen Verbindungselementen auf den jeweiligen Sensorinstrumenten verbunden.

[0093] Werden das piezoelektrische Element **25** und die Elektrodenleitungen **9**, **10** aber mit einem Isolierharz oder dergleichen beschichtet, so sind keine Positionssensoren **4**, **5** und Anschlüsse **6**, **7** erforderlich, da das piezoelektrische Element **25** und die Elektrodenleitungen **9**, **10** keinen Kurzschluss haben, selbst wenn der Massensensor **1** in die leitfähige Probe getaucht wird.

[0094] [Fig. 12](#) ist ein vergrößerter Grundriss des Sensorabschnitts **13** in [Fig. 11](#), gesehen von der Basisplatte **15** aus, d. h. von der Rückseite der Schwingungsplatte **3** in [Fig. 11](#). [Fig. 13](#) ist eine Perspektive der unmittelbaren Umgebung des in [Fig. 12](#) dargestellten geschnittenen Abschnitts. Der Sensorabschnitt **13** bezeichnet einen Abschnitt des Massensensors **1**, der den Resonanzabschnitt **26** und das Sensorsubstrat **2** in der unmittelbaren Nähe des Resonanzabschnitts **26** im Massensensor **1** umfasst.

[0095] Wie die [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen, ist eine Öffnung **14** mit einem U-förmigen geschnittenen Abschnitt **16** in der Basisplatte **15** ausgebildet. Dieselbe Form des geschnittenen Abschnitts **16** ist auch auf der Zwischenplatte **17**, welche die Basisplatte **15** überlappt, ausgebildet, und in der Zwischenplatte **17** ist eine beinahe prismatische Federplatte **18** ausgebildet, die sich zur Mitte der Öffnung **14** von der Mitte der Unterseite des geschnittenen Abschnitts **16** aus erstreckt. Diese Zwischenplatte **17** und die Federplatte **18** sind aber nicht immer erforderlich, aber sie werden als Elemente verwendet, aus denen sich der Massensensor **1** zusammensetzt, wenn dies für die Einstellung der mechanischen Festigkeit des Resonanzabschnitts **26** oder der Empfindlichkeit des Massensensors **1** erforderlich ist.

[0096] Im geschnittenen Abschnitt **16** der Schwingungsplatte **3** sind eine Anschlussplatte **20**, die mit der Federplatte **18** verbunden ist, und eine Membran **19**, die mit dem oberen Ende der Anschlussplatte **20**, aber nicht mit der Federplatte **18** verbunden ist, ausgebildet. Weiters ist im geschnittenen Abschnitt **16** der Schwingungsplatte **3** eine Sensorplatte **21** über eine Seite der Schwingungsplatte **20** und die gegenüberliegende Seite des geschnittenen Abschnitts **16** ausgebildet.

[0097] [Fig. 14](#) zeigt eine Perspektive der unmittelbaren Nähe des geschnittenen Abschnitts **16**, der in [Fig. 12](#) aus der Sicht der Seite der Schwingungsplatte **3** dargestellt ist. Auf der Oberfläche der Seite der Schwingungsplatte **3** der Sensorplatte **21** ist ein piezoelektrisches Element **25** durch Laminierung einer

ersten Elektrode **22**, eines piezoelektrischen Films **23** und einer zweiten Elektrode **24** in dieser Reihenfolge ausgebildet. Weiters ist die zweite Elektrode **24** mit der Elektrodenleitung **9** verbunden, und die erste Elektrode **22** ist mit der Elektrodenleitung **10** verbunden. Somit besteht ein Sensorabschnitt **29** aus der Sensorplatte **21** und dem piezoelektrischen Element **25**, und der Resonanzabschnitt **26** besteht aus der Federplatte **18**, der Membran **19**, der Anschlussplatte **20** und dem Sensorabschnitt **29**.

[0098] Obwohl nur ein piezoelektrisches Element auf einer Plattenoberfläche der Sensorplatte **21** im Massensensor **1** angeordnet ist, können piezoelektrische Elemente **25** auf beiden Plattenoberflächen der Sensorplatte **21** installiert werden. In diesem Fall kann die Steifigkeit der Sensorplatten **21** ausgeglichen werden, indem die Struktur des Sensorabschnitts **29** symmetrisch wird.

[0099] Obwohl ein Schlitz **27** auf der Unterkante des geschnittenen Abschnitts **16** in der Sensorplatte **21** und der Schwingungsplatte **3** ausgebildet wird, wie dies [Fig. 13](#) zeigt, wird auch im Massensensor **1** eine Struktur bevorzugt, in welcher die Sensorplatte **21** mit der Unterkante des geschnittenen Abschnitts **16**, in der Schwingungsplatte **3** ohne Ausbildung des Schlitzes **27** verbunden wird, d. h. die Sensorplatte **21** wird in die durch die Anschlussplatte **20** und das Sensorsubstrat **2** ausgebildete Vertiefung eingepasst und mit dieser verbunden, wie dies beim Massensensor **42** in [Fig. 15](#) dargestellt ist, um die Biegung des Federabschnitts, der aus einer Anschlussplatte **20** und/oder einer Federplatte **18** besteht, zu verhindern und um die auf das piezoelektrische Element **25** angelegte mechanische Spannung zu steigern.

[0100] Im obig beschriebenen Massensensor **1** kann der Sensorabschnitt **13** auf dem Umfang des Sensorsubstrats **2**, z. B. auf der Oberkante in [Fig. 11](#), installiert werden, obwohl ein Sensorabschnitt **13** angeordnet ist, der den Umfang der im Sensorsubstrat **2** ausgebildeten Öffnung **14** verwendet. Da die schichtähnliche Membran **19** oftmals auf der vom geschnittenen Abschnitt **16** hervorragende Position installiert wird, wie dies aus der Struktur des Sensorabschnitts **13**, der in den [Fig. 11](#) bis [Fig. 14](#) dargestellt ist, ersichtlich ist, wird bevorzugt, die Struktur anzupassen, in welcher der Sensorabschnitt **13** innerhalb des Sensorsubstrats **2** installiert ist, wie dies [Fig. 11](#) zeigt, und zwar in Hinblick auf den Schutz des Resonanzabschnitts **26** vor äußeren Einflüssen, um so z. B. die Membran **19** bei Bedienung des Massensensors **1** nicht zu beschädigen. Eine solche Struktur wird auch bevorzugt, um den Herstellungsvorgang des Massensensors **1** zu erleichtern, wie dies nachfolgend beschrieben ist.

[0101] Als nächstes sind verschiedene Ausführungsformen des Massensensors beschrieben, die

den Sensorabschnitt **13** im obig beschriebenen Massensensor **1** ersetzen können. [Fig. 16\(a\)](#) ist ein Grundriss eines Massensensors **43A**, der eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Der Massensensor **43A** weist eine Struktur auf, in welcher eine Anschlussplatte **20** und eine Membran **19** miteinander an den jeweiligen Seiten verbunden sind, zwei Sensorplatten **21A**, **21B** sind mit der Anschlussplatte **20** verbunden, so dass die Anschlussplatte **20** in die Richtung normal auf die Richtung, in welcher die Membran **19** und die Anschlussplatte **20** verbunden sind, in einer Sandwich-Anordnung eingefügt ist, und die jeweiligen Sensorplatten **21A**, **21B** sind ebenfalls mit dem Sensorsubstrat **2** in derselben Weise wie die Sensorplatte **21** im in [Fig. 15](#) dargestellten Massensensor **42** verbunden, gehalten und an drei Seiten befestigt. Diese dreiseitige Halterung dient einer erhöhten Empfindlichkeit. Die Sensorplatten **21A**, **21B** müssen aber nicht notwendigerweise mit der Unterkante der durch die Anschlussplatte **20** und das Sensorsubstrat **2** ausgebildeten Vertiefung verbunden sein.

[0102] Piezoelektrische Elemente, die jeweils aus einer ersten Elektrode, einem piezoelektrischen Film und einer zweiten Elektrode bestehen, sind auf zumindest einem Teil an zumindest einer der Plattenflächen der zumindest einen Sensorplatte installiert. In den in [Fig. 16](#) dargestellten Ausführungsformen sind piezoelektrische Elemente **25A** bis **25D** auf beiden Plattenoberflächen der Sensorplatten **21A**, **21B** angeordnet, und der Resonanzabschnitt besteht aus einer Membran **19**, einer Anschlussplatte **20**, den Sensorplatten **21A**, **21B** sowie den piezoelektrischen Elementen **25A** bis **25D**. Alle piezoelektrischen Elemente **25A** bis **25D** sind nicht unbedingt notwendig, wengleich die optimale Anzahl an piezoelektrischen Elementen an fakultativen Positionen der Sensorplatte **21A** oder **21B** installiert werden kann.

[0103] Wird eine Vielzahl von piezoelektrischen Elementen **25A** bis **25D** wie in diesem Massensensor **43A** verwendet, können, da die Steifigkeit der Sensorplatten **21A** und **21B** ausgeglichen werden kann und zusätzlich dazu die Q-Werte in der θ -Mode und in der Φ -Mode gesteigert werden können und der Q-Wert des Rotationsmode durch Kumulierung oder Verarbeitung der Signale von den jeweiligen piezoelektrischen Elementen **25A** bis **25D** verringert werden kann, die Resonanzfrequenzen noch genauer gemessen werden. Weiters kann, wenn zumindest zwei der piezoelektrischen Elemente **25A** bis **25D** angeordnet sind, und dabei eines zum Ansteuern und eines zum Abfühlen verwendet wird, die Empfindlichkeit verbessert werden. Hierin werden zur Verbesserung der Empfindlichkeit vorzugsweise diese piezoelektrischen Elemente **25A** bis **25D** auf ähnliche Weise geteilt, wie das piezoelektrische Element **35** in die piezoelektrischen Elemente **35A** und **35B** im Massensensor **30** geteilt wird.

[0104] Auch wird zur Verbesserung der Ausgangsladung bevorzugt, die Struktur anzupassen, in welcher z. B. die piezoelektrischen Elemente **25A** und **25C** auf den Plattenflächen in dieselbe Richtung der Sensorplatten **21A** bzw. **21B** angeordnet werden, und die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Filme in diesen piezoelektrischen Elementen **25A** und **25C** zueinander umgedreht ist. Auch wird vorzugsweise eine Struktur auf den jeweiligen Plattenoberflächen der Sensorplatten **21A** und **21B** angenommen. Weiters wird zur Verbesserung der Empfindlichkeit auch bevorzugt, die Struktur anzunehmen, in welcher zumindest eine der Richtungen von zumindest einem der piezoelektrischen Elemente **25A** bis **25D** eine Seite oder zwei Seiten der dreiseitigen Halterung ist, wie dies im in [Fig. 16\(b\)](#) dargestellten Massensensor **43B** der Fall ist. Selbst in diesem Fall ist aber erforderlich, dass die piezoelektrischen Elemente **25A** bis **25D** nicht die Federplatte überlappen, wenn die Anschlussplatte **20** und die Federplatte verwendet werden.

[0105] Sind die Federplatten an den Massensensoren **43A**, **43B** befestigt, so können Federplattenverstärkungen oder Verstärkungsplatten wie im Massensensor **40B** verwendet werden. So wird z. B. eine Verstärkungsplatte ausgebildet, so dass sie an einer Federplatte befestigt ist, und die Seite der Verstärkungsplatte ist mit den drei Seiten verbunden, d. h. den Seiten des Sensorsubstrats **2**, wo die Sensorplatten **21A**, **21B** mit dem Sensorsubstrat **2** verbunden sind (die seitliche Seite des abgeschnittenen Abschnitts **16**), und der Seite des Sensorsubstrats **2**, wo die Anschlussplatte **20** mit dem Sensorsubstrat **2** verbunden ist (die Unterseite des abgeschnittenen Abschnitts **16**). Zur Verbesserung der Empfindlichkeit kann, da der Q-Wert im θ -Mode verbessert werden kann, die Resonanzfrequenz in der Biegemode (die Mode, in welcher zwischen dem Sensorsubstrat und der Anschlussplatte gebogen wird) des piezoelektrischen Elements erhöht werden, und die Frequenz in der θ -Mode kann gesteigert werden.

[0106] Der in [Fig. 16\(c\)](#) dargestellte Massensensor **43C** ist eine Ausführungsform, in welcher ein Schlitz **48** auf der Mitte in die Längsrichtung der Anschlussplatte **20** im Massensensor **43A** ausgebildet ist. Der Schlitz **48** ist hohl und dient dazu, das Auftreten von Schwingungen in der θ -Mode und in der Φ -Mode der Membran **19** zu erleichtern und die Resonanzfrequenz zu identifizieren. Auch dient, wie dies später beschrieben ist, der Schlitz **48** dazu, die Masse der Anschlussplatte **20** zu verringern und die Empfindlichkeit zu verbessern. Wird eine Federplatte verwendet, so kann die Federplatte in dieser hohlen Form einstückig mit der Anschlussplatte ausgebildet werden.

[0107] Werden zwei Sensorplatten auf einem Resonanzabschnitt angeordnet, wie dies in [Fig. 16\(a\)](#) dar-

gestellt ist, so kann die Antriebskraft der Membran **19** gesteigert werden, indem der Bereich jeder der Sensorplatten **21A** und **21B** dadurch erweitert wird, dass die Längen N_1 und N_2 und die Breiten M_1 und M_2 der Sensorplatten **21A** und **21B** geändert werden, und die Q-Werte in der θ -Mode und in der Φ -Mode können dadurch erhöht werden, dass der Bereich der anderen Sensorplatte verengt wird, wie dies in [Fig. 17\(a\)](#) dargestellt ist. [Fig. 17\(b\)](#) ist eine Schnittansicht entlang der X-Achse der [Fig. 17\(a\)](#) aus der Sicht der Y-Achse. Die Q-Werte in der θ -Mode und in der Φ -Mode können erhöht und die Empfindlichkeit verbessert werden, indem die Eigenfrequenz der biegenden Verschiebungsschwingung der Sensorplatten **21A**, **21B**, die durch die piezoelektrischen Elemente **25A**, **25B** und die Sensorplatten **21A**, **21B** (Pfeil G in [Fig. 17\(b\)](#)) bestimmt sind, auf f_1 bzw. f_2 geändert wird, indem die Breiten M_1 und M_2 der Sensorplatten **21A**, **21B** z. B. unter Verwendung eines der piezoelektrischen Elemente **25A**, **25B** für die Ansteuerung und des anderen für das Abfühlen geändert werden. Auch kann das piezoelektrische Element mit den kleineren Eigenfrequenzen f_1 und f_2 zur Ansteuerung und das andere zur Fehlerdiagnose verwendet werden.

[0108] Werden zwei Sensorplatten in einem Resonanzabschnitt verwendet, wie dies in [Fig. 16](#) oder [17](#) dargestellt ist, so wird auch vorzugsweise eine Struktur angenommen, in welcher zumindest eines der piezoelektrischen Elemente **25C**, **25D** auf einer Sensorplatte angeordnet ist, so z. B. auf der Sensorplatte **21B**, und ein Schlitz **28** ist auf der anderen Sensorplatte **21A** in die Richtung orthogonal auf die Richtung ausgebildet, in welche die Sensorplatte **21A** mit der Anschlussplatte **20** verbunden ist, wie dies [Fig. 18](#) veranschaulicht. Durch eine solche Struktur kann die Schwingung in der Rotationsmode beschränkt werden, die Q-Werte in der θ -Mode und in der Φ -Mode können erhöht und die Abweichung vom Resonanzpunkt kann vergrößert werden, um somit den Absolutwert der Variation der Resonanzfrequenzen zu erhöhen. Obwohl die Anzahl der Schlitze **28** eins sein kann, wird eine Vielzahl von Schlitzen bevorzugt, um die oben erwähnten Effekte zu verstärken.

[0109] Nunmehr zeigt [Fig. 19\(a\)](#) einen Grundriss eines Massensensors **43D**, eine Ausführungsform, in welcher der in [Fig. 16\(a\)](#) dargestellte Massensensor **43A** in der im Sensorsubstrat **2** ausgebildeten Öffnung **14** ausgebildet ist; [Fig. 19\(b\)](#) zeigt eine Schnittansicht dieser entlang der unterbrochenen Linie A-A in [Fig. 19\(a\)](#). Im Massensensor **43D** sind zwei piezoelektrische Elemente **25A**, **25C** installiert, und die Elektrodenleitungen **9**, **10** sind mit den piezoelektrischen Elementen **25A** bzw. **25C** verbunden. Eine Isolierbeschichtungsschicht **65** ist ausgebildet, um die piezoelektrischen Elemente **25A**, **25C** und die Elektrodenleitungen **9**, **10** zu bedecken. Diese Isolierbe-

schichtungsschicht **65** schützt die piezoelektrischen Elemente **25A**, **25C** sowie die Elektrodenleitungen **9**, **10** vor einem Kurzschluss, selbst wenn der Resonanzabschnitt des Massensensors **43D** in eine leitfähige Probe getaucht wird.

[0110] Der Massensensor **43D** ist auch mit Schutzschichten **66** ausgestattet, die ein leitfähiges Material umfassen, um so die Isolierbeschichtungsschicht **65** zu bedecken. Die Schutzschicht **66** ist auf beiden Oberflächen des Sensorsubstrats **2** ausgebildet und mit jeder dieser durch ein Durchgangsloch **67** verbunden. Wird eine extrem kleine Masse in der Größenordnung von 0,1 ng abgefühlt, so wird bevorzugt, auch die Drahtelemente (piezoelektrische Elemente **25A**, **25C** und Elektrodenleitungen **9**, **10**) auf dem Sensorsubstrat **2** als auch die Verdrahtung vom Sensorsubstrat **2** zum Instrument zu schützen, um so den Massensensor vor externen elektromagnetischen Wellen zu schützen und den Bestimmungsfehler der Resonanzfrequenzen zu minimieren. Zusätzlich zum Aspekt der Ausbildung der Schutzschicht **66**, um so das in [Fig. 19\(b\)](#) dargestellte Sensorsubstrat **2** in einer Sandwich-Anordnung anzubringen, kann auch die Ausführungsform verwendet werden, in welcher die Schutzschicht nur die Drahtelemente auf dem Sensorsubstrat **2** umgibt, wie dies in der Schnittansicht der [Fig. 19\(c\)](#) dargestellt ist, und auch die Ausführungsform, in welcher eine Schutzschicht nur die Oberseite der Drahtelemente bedeckt, wie dies in [Fig. 19\(d\)](#) dargestellt ist. Insbesondere Ausführungsformen zum Schutz der gesamten Drahtelemente sind bevorzugt, wie in den [Fig. 19\(b\)](#) und (c) dargestellt. In der Ausführungsform der [Fig. 19\(a\)](#) können diese Schichten unter Verwendung der Seite des Sensorsubstrats **2** verbunden werden, obwohl die Schutzschichten **66**, die auf beiden Oberflächen des Sensorsubstrats **2** ausgebildet sind, elektrisch miteinander durch das Durchgangsloch **67** verbunden sind. Die Details der vorzugsweise zur Ausbildung der Isolierschutzschicht **65** und der Schutzschicht **66** verwendeten Materialien werden zu einem späteren Zeitpunkt in Verbindung mit der Beschreibung der in den Massensensoren verwendeten Materialien beschrieben.

[0111] [Fig. 20](#) ist ein Grundriss einer anderen Ausführungsform eines Massensensors der vorliegenden Erfindung. Im in [Fig. 20\(a\)](#) dargestellten Massensensor **44A** ist eine Anschlussplatte **20** nicht direkt mit einer Sensorplatte **21** verbunden, sondern die Anschlussplatte **20** und die Sensorplatte **21** sind mit der Membran **19** an den jeweiligen Seiten verbunden, so dass die Verbindungsrichtungen mit der Membran **19** parallel zueinander liegen, und die Membran **19** ist nicht mit dem Sensorsubstrat **2** verbunden, sondern die Anschlussplatte **20** und die Sensorplatte **21** sind mit der Seite des Sensorsubstrats **2** verbunden, d. h. die Sensorplatte **21** dient auch als Anschlussplatte **20**.

[0112] Ein piezoelektrisches Element **25** ist auf zumindest einem Teil zumindest einer der Plattenflächen der Sensorplatte **21** installiert, und der Resonanzabschnitt ist aus der Membran **19**, der Anschlussplatte **20**, der Sensorplatte **21** und dem piezoelektrischen Element **25** gebildet. Während im in [Fig. 20\(b\)](#) gezeigten Massensensor **44B** die zwei Sensorplatten **21A**, **21B** auf beiden Seiten einer Anschlussplatte **20** ausgebildet sind, sind die piezoelektrischen Elemente **25A**, **25B** auf den Sensorplatten **21A** bzw. **21B** ausgebildet.

[0113] Solche Massensensoren **44A**, **44B** sind für die Messung in der θ -Mode geeignet, da die Schwingung der Membran **19** leicht in der Ebene der Membran **19** auftritt, und weil die Schwingung der Membran **19** in der Rotationsmode eingeschränkt ist. Da die Schwingung der Membran **19** direkt durch die Sensorplatten auf das piezoelektrische Element **25** übertragen wird, kann die Empfindlichkeit der Massensensoren vorteilhaft verbessert werden.

[0114] Als nächstes zeigen die [Fig. 21\(a\)](#) bis (c) im Grundriss eine weitere Ausführungsform des Massensensors der vorliegenden Erfindung. Zuerst ist im in [Fig. 21\(a\)](#) dargestellten Massensensor **45A** eine Membran **72** mit zwei Anschlussplatten **74A**, **74B** an der jeweiligen Seite verbunden, so dass die Anschlussplatten **74A**, **74B** die Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung aufnehmen, und die Anschlussplatten **74A**, **74B** überbrücken die Seitenwände der Vertiefung **76** des Sensorsubstrats **70** an den jeweiligen Seiten. Hier hat die Vertiefung **76** eine ähnliche Funktion wie der geschnittene Abschnitt **16**, der im Massensensor **1** ausgebildet ist, und kann somit auf der Seite oder auf anderen Abschnitten des Sensorsubstrats **70** ähnlich zum Umfang des in [Fig. 11](#) dargestellten Sensorsubstrats **2** oder der im Sensorsubstrat **2** ausgebildeten Öffnung **14** ausgebildet sein.

[0115] Die Sensorplatten **73A**, **73B** sind über die Anschlussplatten **74A**, **74B** und die Unterseite der Vertiefung **76** in die Richtung vorgesehen, in welche die Anschlussplatten **74A**, **74B** die Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung aufnehmen, d. h. in die Richtung senkrecht auf die Y-Achse. Weiters sind die piezoelektrischen Elemente **75A**, **75B** auf zumindest einer der Plattenflächen der Sensorplatten **73A** bzw. **73B** angeordnet. Somit wird ein Resonanzabschnitt aus der Membran **72**, den Anschlussplatten **74a**, **74B**, den Sensorplatten **73A**, **73B** und den piezoelektrischen Elementen **75A**, **75B** gebildet.

[0116] Die Struktur des Massensensors **45A** kann zusammenfassend als ein Massensensor mit zumindest einem piezoelektrischen Element erklärt werden, in welchem eine Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung mit zwei Anschlussplatten an den jeweiligen Seiten aufgenommen ist, die Anschluss-

platten **74A**, **74B** über die Seitenwände der Öffnung oder des Zwischenraum, die/der im Sensorsubstrat **70** ausgebildet ist, überbrücken, und zumindest eine Vielzahl von Sensorplatten **73A**, **73B** über die Anschlussplatten **74A**, **74B** und die Seiten der Öffnung oder des Zwischenraums in die Richtung normal auf die Richtung, in welche die jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** die Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung aufnehmen, vorgesehen ist.

[0117] In einem solchen Massensensor **45A** kann die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts auf der Grundlage von zumindest einer der Folgenden durch die auf den Sensorplatten **73A**, **73B** installierten piezoelektrischen Elemente **75A**, **75B** gemessen werden:

[0118] Die θ -Schwingungsmode, in welcher die Membran eine pendelähnliche Schwingung auf der feststehenden Fläche, auf welcher die jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** mit dem Sensorsubstrat **70** verbunden sind, um das Zentrum auf der senkrechten Achse, so dass die Membran **72** senkrecht durch die feststehende Fläche verläuft, d. h. die Y-Achse, und in die Richtung senkrecht auf die Seite der Membran **72** und normal auf die Y-Achse, d. h. die X-Achse, ausführt; die Φ -Schwingungsmode, in welchem die Membran **72** eine pendelähnliche Schwingung um das Zentrum auf der Y-Achse in die X-Achsen-Richtung ausführt, begleitet von der Schwingbewegung in die Richtung parallel zur Seite der Membran **72**, d. h. die (nicht dargestellte) Z-Achse; die Schwingungsbewegung, in welcher die Membran **72** eine Schwingung mit dem Zentrum um die Y-Achse in die X-Achsen-Richtung ausführt; oder die Rotationschwingung in der Plattenfläche der Membran **72**.

[0119] Die Strukturen der Massensensoren **46A** bis **46F**, die später beschrieben sind, können auch als ähnlich den Massensensoren **45A** bis **45C** zusammengefasst werden, und das Verfahren zum Abfühlen der Masse mit den Massensensoren **46A** bis **46F** ist dasselbe wie jenes der Massensensoren **45a** bis **45C**. In den Massensensoren **46A** bis **46F** ist aber die Anzahl der Sensorplatten auf vier erhöht, und in diesen Ausführungsformen ist zusätzlich die Struktur zugefügt, in welcher zumindest eine Vielzahl der Sensorplatten **73A** bis **73D** zwischen der Membran **72** und der Seite der Öffnung oder dem Zwischenraum in die Richtung normal auf die Richtung, in welcher die jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** die Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung aufnehmen, überbrücken.

[0120] Somit schwingt, da die Membran **72** und die Sensorplatten **73A**, **73B** in die Richtung des Pfeils K in [Fig. 21](#) geschwungen werden, d. h. die Y-Achse wird zum Zentrum der Schwingung, und in die Richtung normal auf die Plattenfläche der Membran **72** und auch normal auf die Y-Achse, d. h. in die Rich-

tung der X-Achse, die Membran **72** schwingt in die Richtung des Pfeils **K** stabil im Starrkörpermodus als θ -Mode der Membran **72**. Es ist auch von Vorteil, dass die Biegemode der Membran **72** eingeschränkt ist. Die Form der Membran **72** ist nicht wie in den [Fig. 21\(a\)](#) bis (c) dargestellt auf die rechteckige Form beschränkt, sondern es können beliebige Formen, wie in [Fig. 10](#) gezeigt, angepasst werden, und wie im in [Fig. 21\(b\)](#) dargestellten Massensensor **45B** gezeigt ist, kann die Membran **72** mit den jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** an beliebigen Positionen verbunden werden. Weiters können, wie dies im in [Fig. 21\(c\)](#) dargestellten Massensensor **45C** dargestellt ist, die jeweiligen Sensorplatten **73A**, **73B** an drei Seiten der jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** und des Sensorsubstrats **70** auf dieselbe Weise wie die Sensorplatte **21** im in [Fig. 15](#) dargestellten Massensensor **42** gehalten und befestigt werden. Im Massensensor **45B** ist ein Positionssensor **77** ähnlich den Positionssensoren **4**, **5** des Massensensors **1** angeordnet.

[0121] Nun ist in den Massensensoren **46A** bis **46F**, weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, die im Grundriss der [Fig. 22\(a\)](#) bis (f) dargestellt sind, eine Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung von den zwei Anschlussplatten **74A**, **74B** aufgenommen und an den jeweiligen Seiten mit diesen verbunden, die jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** überbrücken die Seitenwände der Öffnung **71** des Sensorsubstrats **70** und zumindest eine Vielzahl von Sensorplatten, hier die Sensorplatten **73A** bis **73D**, ist zwischen den jeweiligen Anschlussplatten **74A**, **74B** und der Seitenwand der Öffnung **71** oder zwischen der Membran **72** und der Seitenwand der Öffnung **71** in die Richtung senkrecht auf die Richtung, in welche die Anschlussplatten **74A**, **74B** die Membran **72** in einer Sandwich-Anordnung aufnehmen, vorgesehen.

[0122] Weiters sind piezoelektrische Elemente **75A** bis **75D** auf zumindest einer der Plattenoberflächen zumindest einer der Sensorplatten **73A** bis **73D** angeordnet, und somit wird ein Resonanzabschnitt aus einer Membran **72**, den Anschlussplatten **74A**, **74B**, den Sensorplatten **73A** bis **73D** und den piezoelektrischen Elementen **75A** bis **75D** gebildet.

[0123] Bei Betrachtung von in den [Fig. 22\(a\)](#) bis (f) dargestellten Massensensoren **46A** bis **46F** erkennt man, dass im in [Fig. 22\(a\)](#) dargestellten Massensensor **46A** die Rotation der Membran **72** um die Y-Achse durch die Sensorplatten **73A**, **73B** im Vergleich zu den in [Fig. 21](#) dargestellten Massensensoren **45A** bis **45C** eingeschränkt wird. Vorzugsweise werden Schlitze **28** auf den Sensorplatten **73A**, **73B** ausgebildet, wie dies in [Fig. 17](#) dargestellt ist, weil die Membran **72** leicht in die Richtung des Pfeils **K** schwingt.

[0124] Im Massensensor **46B** der [Fig. 22\(b\)](#) sind die piezoelektrischen Elemente **75A** bis **75D** auf den Oberflächen der Sensorplatten **73A** bis **73D**, die in [Fig. 22\(a\)](#) dargestellt sind, in dieselbe Richtung ausgerichtet. Dadurch wird die Höhe der in die K-Richtung schwingenden Membran vergrößert, und der Massensensor kann geeignet zur Messung in hochviskosen Substanzen sowie auch in Substanzen mit niedriger Viskosität verwendet werden. Zu diesem Zeitpunkt sollten die Polarisationsrichtungen der piezoelektrischen Filme der piezoelektrischen Elemente **75A** und **75D** sowie **75B** und **75D** einander gegenüberliegen. Weiters können die piezoelektrischen Elemente **75A** bis **75D** auf beiden Seiten der Sensorplatten **73A** bis **73D** angeordnet werden.

[0125] [Fig. 22\(c\)](#) zeigt einen Massensensor **46C**, in welchem eine Seite der Sensorplatten **73A** bis **73D** in den in den [Fig. 22\(a\)](#) und (b) gezeigten Ausführungsformen, die dem Sensorsubstrat **70** gegenüberliegen, mit dem Sensorsubstrat **70** verbunden ist. Durch eine solche Struktur können die durch die Struktur des in [Fig. 15](#) dargestellten Massensensors **42** erzielten Effekte zu den Effekten der in den [Fig. 22\(a\)](#) und (b) gezeigten Ausführungsformen addiert werden.

[0126] Im Massensensor **46D** der [Fig. 22\(d\)](#) sind die piezoelektrischen Elemente **75B**, **75C** auf den Sensorplatten **73B**, **73C** installiert, die punktsymmetrisch um den Schnittpunkt der X-Achse und der Y-Achse, der die Mitte der Membran **72** darstellt, positioniert sind. Da die Resonanzfrequenz unter Verwendung der Starrkörper-Mode, in welcher die Schwingung in die η -Richtung um den Schnittpunkt der X-Achse und der Y-Achse (Richtung des Pfeils in [Fig. 22\(d\)](#)) vorherrscht, abgefühlt wird, sind die Sensorplatten **73A**, **73D** nicht unbedingt erforderlich. Sind die Sensorplatten **73A**, **73D** ausgebildet, so können Schlitze oder piezoelektrische Elemente **75A**, **75D** auf den Sensorplatten **73A**, **73D** bereitgestellt werden. In diesem Fall wird bevorzugt, dass die Polarisationsrichtungen der jeweiligen piezoelektrischen Filme in jedem Satz der piezoelektrischen Elemente **75A** und **75D** sowie **75B** und **75C** dieselben sind.

[0127] Im Massensensor **46E** der [Fig. 22\(e\)](#) sind die Sensorplatten **73A** bis **73D** mit der Membran **72** verbunden, und die Positionen der piezoelektrischen Elemente **75A** bis **75D** sind dieselben wie jene im Fall der [Fig. 22\(b\)](#). Die Schwingung der Membran **72** in die Richtung des Pfeils **K** kann ebenfalls durch eine solche Struktur abgefühlt werden. Weiters weist der in [Fig. 22\(f\)](#) dargestellte Massensensor **46F** die Struktur auf, in welcher er leicht in der θ - und in der Φ -Mode schwingt, indem die Breite einer der Anschlussplatten **74A**, **74B** vergrößert und die Breite der anderen verkleinert wird.

[0128] Obwohl verschiedene Formen für die Massensensoren der vorliegenden Erfindung ausgewählt werden können, werden somit die für die Herstellung dieser Massensensoren verwendeten Materialien abhängig von den jeweiligen Massensensoren nicht geändert. Nachfolgend sind Elemente, aus denen ein Massensensor der vorliegenden Erfindung besteht, und ihre Formen unter Verwendung des obig beschriebenen Massensensors **1** beschrieben. Erstens bestehen das Sensorsubstrat **2**, die Membran **19**, die Anschlussplatte **20**, die Sensorplatte **21** sowie die Federplatte **18** vorzugsweise aus Keramikmaterialien, z. B. stabilisiertem oder teilstabilisiertem Zirconiumoxid, Aluminiumoxid, Magnesiumoxid sowie Siliziumnitrid. Davon werden stabilisiertes oder teilstabilisiertes Zirconiumoxid am meisten bevorzugt verwendet, weil diese eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen, selbst im Fall einer dünnen Platte, eine hohe Zähigkeit sowie eine geringe Reaktivität mit den Materialien der piezoelektrischen Filme oder Elektroden.

[0129] Wird das zuvor erwähnte stabilisierte oder teilstabilisierte Zirconiumoxid als Material für das Sensorsubstrat **2** verwendet, so wird vorzugsweise ein Additiv wie Aluminiumoxid oder Titanoxid zumindest zur Sensorplatte zugegeben.

[0130] Obwohl die Schwingungsplatte **3**, die Zwischenplatte **17** und die Basisplatte **15** im Sensorsubstrat **2** und die Membran **19**, die Anschlussplatte **20**, die Federplatte **20** und die Sensorplatte **21** nicht notwendigerweise aus demselben Material bestehen müssen, und obwohl verschiedene Keramikmaterialien in Kombination abhängig vom Design verwendet werden können, bestehen diese Elemente in Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Teile, an welchen die Elemente verbunden sind, und auf die Vereinfachung des Herstellungsvorgangs vorzugsweise einstückig aus demselben Material.

[0131] Werden die Federplatten **18** aber auf beiden Plattenoberflächen einer Anschlussplatte **20** ausgebildet, so kann die auf der Oberfläche, auf welcher ein piezoelektrisches Element **25** installiert ist, ausgebildete Federplatte so hergestellt werden, dass sie dieselbe Struktur wie das piezoelektrische Elemente **25** aufweist. Dies wird in Hinblick auf den Herstellungsvorgang bevorzugt, da die Federplatte gleichzeitig mit dem piezoelektrischen Element **25** ausgebildet werden kann. Für das als eine Federplatte ausgebildete piezoelektrische Element wird die Elektrode nicht als Elektrode verwendet.

[0132] Obwohl die Hauptaufgabe des Massensensors **1** darin liegt, eine Masse in der Größenordnung von 0,1 Nanogramm (ng) abzufühlen, beträgt die Dicke der Membran **19** vorzugsweise etwa 3 bis 20 μm , noch mehr bevorzugt etwa 5 bis 15 μm , und die Dicke der Basisplatte **15** wird hinsichtlich der leichten Bedienbarkeit geeignet festgelegt.

[0133] Wird eine Federplatte **18** ausgebildet, beträgt in jedem Fall, ob die Federplatte nun auf einer Seite oder auf beiden Seiten der Anschlussplatte **20** befestigt ist, die Dicke vorzugsweise 10 bis 220 μm , die Breite vorzugsweise 100 bis 500 μm , und das Seitenverhältnis (Breite/Dicke) der Federplatte **18** liegt vorzugsweise in einem Bereich zwischen 0,4 und 50. Unter Berücksichtigung der Dämpfung der Schwingungshöhe durch die Verwendung des Massensensors **1** in einer Flüssigkeit beträgt die Dicke vorzugsweise 10 bis 70 μm , die Breite vorzugsweise 100 bis 500 μm , und das Seitenverhältnis liegt vorzugsweise zwischen 1,4 und 50. Noch bevorzugter beträgt die Dicke 10 bis 70 μm , die Breite 100 bis 300 μm und das Seitenverhältnis 1,4 bis 30. Die Dicke der Federplattenverstärkung ist, wenn eine solche Federplattenverstärkung erforderlich ist, vorzugsweise dieselbe wie die Dicke der Federplatte, die mit der Federplattenverstärkung verbunden ist.

[0134] Dennoch kann auch die Anschlussplatte **20** als Federplatte verwendet werden, ohne dass dabei die Federplatte **18** ausgebildet wird. In diesem Fall kann keine Zwischenplatte **17** ausgebildet werden, aber es wird bevorzugt, die Dicke der Basisplatte **15** um die Dicke der Zwischenplatte **17** zu vergrößern, um die mechanische Festigkeit des Sensorsubstrats **2** zu erhalten.

[0135] Für den piezoelektrischen Film **23** im piezoelektrischen Element **25** können auch Elektrostriktionskeramikmaterialien oder ferroelektrische Keramikmaterialien verwendet werden, obwohl filmähnliche piezoelektrische Keramikmaterialien geeignet verwendet werden können. Solche Materialien können entweder Polarisierung erfordern oder nicht.

[0136] Keramikmaterialien, die im piezoelektrischen Film **23** verwendet werden können, umfassen z. B. Bleizirkonat, Bleititanat, Bleimagnesiumniobat, Bleinickelniobat, Bleizinkniobat, Bleimanganniobat, Bleiantimonstannat, Bleimanganwolfram, Bleikobaltniobat und Bariumtitanat. Diese können allein oder als Keramikmaterialien, die aus einer Kombination einiger dieser bestehen, verwendet werden. In der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise ein Material, das die Komponente enthält, die vorrangig aus Bleizirkonat, Bleititanat und Bleimagnesiumniobat als Hauptkomponente besteht, verwendet, weil ein solches Material nicht nur einen hohen elektromechanischen Kopplungskoeffizienten und eine piezoelektrische Konstante aufweist, sondern auch nur geringe Reaktivität mit dem Sensorsubstratelement beim Sintern des piezoelektrischen Films zeigt und stabil die gewünschte Zusammensetzung ausbilden kann.

[0137] Weiters können Keramikmaterialien, die Oxide von Lanthan, Kalzium, Strontium, Molybdän, Wolfram, Barium, Niobium, Zink, Nickel, Mangan, Cerium, Kadmium, Chrom, Kobalt, Antimon, Eisen, Yttrium,

Tantal, Lithium, Bismut und Zinn allein enthalten, oder eine Kombination einiger dieser Oxide, oder Keramikmaterialien, in welchen Verbindungen dieser Elemente zugegeben sind, für die obigen piezoelektrischen Elemente verwendet werden. So wird z. B. ein Keramikmaterial, das Bleizirkonat, Bleititanat und Bleimagnesiumniobat als Hauptkomponenten enthält, zu welchem Lanthan oder Strontium zugegeben wird, bevorzugt, und ein solches Material, zu welchem weiter noch Mangan zugegeben wird, wird insofern bevorzugt, als der mechanische Qualitätsfaktor groß ist und der Q-Wert nicht nur aufgrund der Struktur des Sensors sondern auch aufgrund des Materials erhöht werden kann.

[0138] Andererseits sind die erste Elektrode **22** und die zweite Elektrode **24** im piezoelektrischen Element **25** hauptsächlich aus einem Metall gebildet, das bei Raumtemperatur fest und leitfähig ist. So kann z. B. ein Metall wie Aluminium, Titan, Chrom, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Niobium, Molybdän, Ruthenium, Palladium, Rhodium, Silber, Zinn, Tantal, Wolfram, Iridium, Platin, Gold oder Blei allein oder eine Legierung aus einigen dieser Elemente verwendet werden. Weiters kann ein Cermet-Material, in welchem dasselbe im piezoelektrischen Film **23** oder der Sensorplatte **21** verwendete Material in diesen Materialien dispergiert ist, verwendet werden.

[0139] Die Auswahl des Materials für die tatsächliche erste Elektrode **22** und die zweite Elektrode **24** wird abhängig vom Verfahren zur Herstellung des piezoelektrischen Films **23** bestimmt. Wird z. B. die erste Elektrode **22** auf der Sensorplatte **21** ausgebildet, so wird der piezoelektrische Film **23** auf der ersten Elektrode **22** durch Sintern ausgebildet, und die erste Elektrode **22** muss aus einem Metall mit einem hohen Schmelzpunkt bestehen, so etwa Platin, worauf die Temperatur für den Sintervorgang des piezoelektrischen Films **23** keine Auswirkung hat. Da die auf dem piezoelektrischen Film **23** nach der Ausbildung des piezoelektrischen Films **23** ausgebildete zweite Elektrode bei einer niedrigen Temperatur ausgebildet werden kann, kann ein Metall mit einem niedrigen Schmelzpunkt, so z. B. Aluminium, verwendet werden.

[0140] Obwohl das piezoelektrische Element **25** einstückig durch Sintern ausgebildet werden kann, müssen in diesem Fall sowohl die erste Elektrode **22** als auch die zweite Elektrode **24** aus einem Metall mit einem hohen Schmelzpunkt bestehen, das der Temperatur zum Sintern des piezoelektrischen Films **23** widersteht. Andererseits können, wenn die erste und die zweite Elektrode **59**, **60** auf dem piezoelektrischen Film **58** nach Ausbildung des piezoelektrischen Films **58** ausgebildet werden, wie dies im [Fig. 3](#) dargestellten piezoelektrischen Element **62A** der Fall ist, beide Elektroden aus demselben Material mit niedrigem Schmelzpunkt bestehen, aber wenn

das piezoelektrische Element **62A** gleichzeitig gesintert wird, dann müssen sowohl die erste Elektrode **22** als auch die zweite Elektrode **24** aus einem Metall mit einem hohen Schmelzpunkt bestehen. Somit können die Materialien für die erste Elektrode **22** und die zweite Elektrode **24** geeignet abhängig von der Temperatur zur Ausbildung des piezoelektrischen Elements **23**, die durch die Sintertemperatur des piezoelektrischen Films **23** dargestellt ist, und von der Struktur des piezoelektrischen Elements **25** ausgewählt werden. Die Materialien und Verfahren zur Ausbildung der Elektrodenleitungen **9**, **10** sind dieselben wie jene für die erste Elektrode **22** und die zweite Elektrode **24** des piezoelektrischen Elements **25**.

[0141] Da ein Problem entsteht, wenn der Bereich des piezoelektrischen Films **23** ausgedehnt wird, insofern, als die Größe des Sensors zunimmt, obwohl die Empfindlichkeit sich erhöht, wenn die Ausgangsladung ansteigt, sollte der Bereich des piezoelektrischen Films **23** mit einer adäquaten Größe konfiguriert werden. Auch da sich ein Problem ergibt, wenn die Dicke des piezoelektrischen Films **23** verringert wird, als insofern die Festigkeit des piezoelektrischen Films **23** gesenkt wird, obwohl die Empfindlichkeit zunimmt, beträgt die Gesamtdicke der Sensorplatte **21** und des piezoelektrischen Films **23** vorzugsweise 15 bis 50 µm.

[0142] Wird eine Isolierbeschichtungsschicht **65** auf dem piezoelektrischen Element **26** und den Elektrodenleitungen **9**, **10** ausgebildet, wie dies im Massensensor **43D** in [Fig. 19](#) dargestellt ist, so wird ein Isolierglas oder -harz als Material dafür verwendet. Um die Leistung des Massensensors **1** zu erhöhen, wird noch mehr die Verwendung eines Harzes als Material für die Isolierbeschichtungsschicht als von Glas bevorzugt, und vorzugsweise werden dabei chemisch stabile Fluorharze, z. B. Teflon auf Tetrafluorethylen-Basis (Teflon PTFE von DuPont), Teflon auf Basis von Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer (Teflon FEP), Teflon auf Basis von Tetrafluorethylen-Perfluoralkylvinylether-Copolymer (Teflon PFA) und Teflon aus einem PTFE/PFA-Verbund, verwendet. Obwohl die Korrosionsbeständigkeit und Wetterfestigkeit geringer ist als bei Fluorharzen, können Silikonharze (insbesondere hitzehärtende Silikonharze) geeignet verwendet werden, und es können auch Epoxyharze oder Acrylatharze abhängig von den Anwendungen verwendet werden. Vorzugsweise wird die Isolierbeschichtungsschicht **65** unter Verwendung verschiedener Materialien für das piezoelektrische Element **25** und seine Umgebung sowie für die Elektrodenleitungen **9**, **10** und ihre Umgebung ausgebildet. Weiters werden vorzugsweise auch organische oder anorganische Füllstoffe zum Isolierharz zugegeben, um die Steifigkeit des Resonanzabschnitts einzustellen.

[0143] Wird die Isolierbeschichtungsschicht **65** aus-

gebildet, so sind die Materialien für eine auf der Isolierbeschichtungsschicht **65** ausgebildete Schutzschicht **66** vorzugsweise Metalle wie Gold, Silber, Kupfer, Nickel und Aluminium; es können aber auch beliebige metallische Materialien, die in der obig beschriebenen ersten Elektrode **22** des piezoelektrischen Elements **25** oder dergleichen verwendet werden, zum Einsatz kommen. Es kann auch eine leitfähige Paste, die aus einem in einem Harz gemischten Metallpulver besteht, verwendet werden.

[0144] Als nächstes ist das Verfahren zur Verwendung eines Massensensors der vorliegenden Erfindung beschrieben, wenn der Massensensor **1** als Immunsensor verwendet wird. Eine der zwei Sensorabschnitte **13** wird als Detektionssensorabschnitt **13D** verwendet. Auf die Membran des Detektionssensorabschnitts **13D** wird eine Fängersubstanz aufgetragen, die nur mit einer abzufühlenden Substanz wie etwa einem pathogenen Virus reagiert und diese einfängt. So kann z. B. die Kombination eines Antigens als abzufühlende Substanz und eines Antikörpers als Fängersubstanz verwendet werden. Beispiele für solche Kombinationen umfassen Humanserum Albumin/Anti-Humanserum-Albumin-Antikörper und Humanimmunoglobulin/Anti-Humanimmunoglobulin-Antikörper. Währenddessen wird der andere Sensorabschnitt **13** als Referenzsensorabschnitt **13R** verwendet, auf dessen Membran keine Fängersubstanz aufgebracht wird.

[0145] Die beiden Sensorabschnitte **13D** und **13R** werden in dieselbe Probe getaucht oder auf dieser angeordnet. In vielen Fällen können, da die Proben Fluide wie Flüssigkeiten oder Gase sind, die Proben getestet werden, indem die Signale von den Sensorabschnitten **13D** und **13R** verglichen werden, ohne dabei von den physikalischen Eigenschaften der Proben wie Art, Fluss und Temperatur des Fluids oder von der Testumgebung beeinflusst zu werden.

[0146] Wird dieser Massensensor **1** z. B. in eine leitfähige flüssige Probe getaucht, wenn der Massensensor **1** in die Probe bis zu einer Höhe eingetaucht wird, an welcher die Positionsensorelektroden **4**, **5** einen Kurzschluss haben, werden die Membranen **19** der Sensorabschnitte **13D** und **13R** in die Probe eingetaucht, aber der Sensorabschnitt **28** erfährt durch die Probe keinen Kurzschluss. Werden aber das piezoelektrische Element **25** und die Elektrodenleitungen **9**, **10** mit Isolierglas oder -Harz beschichtet, so können andere Bereiche des Massensensors **1** als die Enden **11**, **12** oder andere Anschlussstücke in die Probe getaucht werden.

[0147] Somit wird, wenn die abzufühlende Substanz in der Probe mit der Fängersubstanz reagiert und durch diese eingefangen wird, die Masse der Membran **19** im Detektionssensorabschnitt **13D** vergrößert, und die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts

26 variiert in Begleitung zu diesem Anstieg der Masse der Membran **19**. Somit kann im Gegensatz dazu durch Beobachtung der Änderung der Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts **26** bestimmt werden, ob die abzufühlende Substanz auf der Membran **19** eingefangen wurde oder nicht, d. h. ob die abzufühlende Substanz in der Probe vorhanden war oder nicht, und es kann der Massenanstieg gemessen werden.

[0148] Im Verfahren zur Verwendung der zwei Sensorabschnitte **13** als einen Detektionssensorabschnitt **13D** und einen Referenzsensorabschnitt **13R** kann, wenn der Resonanzabschnitt im Referenzsensorabschnitt **13R**, d. h. in der Membran, die Anschlussplatte, die Sensorplatte, das piezoelektrische Element und die Federplatte mit Teflon beschichtet sind, die Haftung der abzufühlenden Substanz am Referenzsensorabschnitt **13R** verhindert werden, und es kann eine genauere Messung durchgeführt werden. Wird anders als die Membran **19** der Detektionssensorabschnitt **13D** mit Teflon beschichtet, so kann die abzufühlende Substanz nur auf der Membran eingefangen werden, und es wird die Empfindlichkeit erhöht. Weiters wird aus wirtschaftlicher Sicht bevorzugt, das gesamte Sensorsubstrat **2** und nicht nur die Membran **19** mit Teflon zu beschichten, um somit eine teure Fängersubstanz wie einen Antikörper nur auf einer erforderlichen Stelle aufzubringen.

[0149] Wird der Massensensor **1** in eine Probe wie eine Flüssigkeit getaucht, oder wenn eine Membran **10** in eine Fängersubstanz eingetaucht wird, um die Fängersubstanz auf der Membran **19** aufzutragen, so wird die Struktur angenommen, in welcher zwei Sensorabschnitte **13** in die seitliche Richtung des Sensorsubstrats **2** (horizontale Richtung) in [Fig. 11](#) angeordnet sind, so dass die zwei Sensorabschnitte **13** gleichzeitig in die Probe getaucht werden.

[0150] Sind die zwei Sensorabschnitte **13** aber in die senkrechte Richtung des Sensorsubstrats **2** (nach oben und nach unten) angeordnet, d. h. auf der Position, an welcher der Detektionssensorabschnitt **13D** zuerst in die Flüssigkeit getaucht wird und der Referenzsensorabschnitt **13R** nicht in die Flüssigkeit getaucht wird, so kann der Vorgang leicht durchgeführt werden, wobei nur der Bereich des Detektionssensorabschnitts **13D** in die Fängersubstanz getaucht wird, um diese aufzutragen, und der Referenzsensorabschnitt **13R** wird als Sensor verwendet, so z. B. als temperaturkompensierender Sensor ohne Teflon-Beschichtung, und nicht in die Fängersubstanz getaucht, um die Fängersubstanz somit nicht aufzutragen.

[0151] Selbst wenn aber der Massensensor **1** verwendet wird, in welchem die Fängersubstanz nur auf den Detektionssensorabschnitt **13D** aufgetragen wird, müssen der Detektionssensorabschnitt **13D**

und der Referenzsensorabschnitt **13R** bei der tatsächlichen Massenabföhlung in derselben Umgebung angeordnet werden. Auch wenn der gesamte Massensensor **1** in eine leitfähige Flüssigkeit getaucht wird, müssen die piezoelektrischen Elemente **25** und die Elektrodenleitungen **9**, **10** in den Sensorabschnitten **13R**, **13D** offensichtlich einer Isolierschichtung unterzogen werden.

[0152] Das Verfahren der Verwendung, in welchem dieselbe Fängersubstanz auf die Membranen beider Sensorabschnitte **13D** und **13R** aufgebracht wird, um den dynamischen Bereich durch Addition der Signale von den Sensorabschnitten **13D** und **13R** auszudehnen, kann ebenfalls angewendet werden. Weiters ist es möglich, den Referenzsensorabschnitt **13R** nicht als Referenz zu verwenden, und es wird eine andere Fängersubstanz als jene, die auf dem Detektionssensorabschnitt **13D** aufgetragen ist, auf den Referenzsensorabschnitt **13R** aufgetragen.

[0153] Bei der Messung der Änderung der Resonanzfrequenz im Massensensor **1** unter Verwendung dieser Verfahren wird bevorzugt, die Resonanzfrequenzen in der θ -Mode und in der Φ -Mode, die oben beschrieben wurden, abzuföhlen. Wie z. B. [Fig. 14](#) zeigt, wird, wenn die Membran **19** eine Schwingung in der θ -Mode um die Federplatte **18** und die Anschlussplatte **20** in der Plattenfläche der Membran **19** erzeugt, die Bewegung zur Sensorplatte **21** übertragen, um die Biegeschwingung der Sensorplatte **21** und die Dehnschwingung des planaren piezoelektrischen Films **23** im piezoelektrischen Element **25** auf der Oberfläche der Sensorplatte **21** auszulösen, und es wird eine konstante Spannung auf der Grundlage des elektromechanischen Kopplungskoeffizienten k_{31} (piezoelektrischer Faktor d_{31}) des piezoelektrischen Films **23** erzeugt. Weist das piezoelektrische Element **25** eine wabenförmige Elektrodenstruktur auf, so wird eine konstante Spannung auf der Grundlage von k_{33} (d_{33}) erzeugt. Dasselbe gilt bei Verwendung der Φ -Mode.

[0154] Im Gegensatz dazu wird, wenn ein Wechselstrom an den piezoelektrischen Film **23** durch die zweite Elektrode **24** und die erste Elektrode **22** angelegt wird, eine Dehnschwingung im piezoelektrischen Film **23** durch d_{31} oder d_{33} erzeugt, wodurch die Sensorplatte **21** dazu gebracht wird, eine Biegeschwingung zu erzeugen, und der Schwingungswinkel θ der Membran **19** variiert entsprechend der Masse der Membran **19**, und die Resonanzschwingung wird bei einer gewissen Frequenz erzeugt. Somit ist die Beobachtung der Änderung der Resonanzfrequenz die Beobachtung der Änderung der Masse der Membran **19**, und es kann bestimmt werden, ob eine abzuföhlende Substanz auf der Membran **19** eingefangen wird oder nicht. Indem zwei piezoelektrische Elemente **25** auf beiden Plattenoberflächen der Sensorplatte **21** installiert werden und indem die erhaltenen Signa-

le verglichen werden, kann die Störung verringert, die Wirkung der anderen Schwingungsmoden eliminiert und die Empfindlichkeit verbessert werden.

[0155] Um die Empfindlichkeit des Massensensors **1** weiter zu verbessern, muss hierin die Änderung der Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts **26** gesteigert werden. Dafür kann ein Verfahren zum Einstellen des Verhältnisse der Massen der Membran **19** und der Federplatte **18** verwendet werden. Wird die Federplatte **18** dünner gemacht, um die Masse zu verringern, und wird das Massenverhältnis mit der Membran (Masse der Membran **19**/Masse der Federplatte **18**) erhöht, so wird die Empfindlichkeit verbessert.

[0156] Da die Steifigkeit der Federplatte **18** aber mit der Verringerung der Dicke und der Masse der Federplatte **18** herabgesetzt wird, beträgt das Massenverhältnis (Masse der Membran **19**/(Masse der Federplatte **18** + Masse der Anschlussplatte **20**)) vorzugsweise 0,1 oder mehr innerhalb eines Bereichs, in welchem die Steifigkeit der Federplatte **18** und der Anschlussplatte **20** sichergestellt ist, in Hinblick auf die Dicke und Fläche der Membran **19** wird aber bevorzugt, das geeignete Verhältnis unter Berücksichtigung der Fläche der Membran **19** zu bestimmen. Diese Massenverhältnisse werden aber vorzugsweise innerhalb des Bereichs festgelegt, in welchem die Bedingungen von Dicke, Breite und Seitenverhältnis der obig beschriebenen Federplatte **18** erfüllt werden. Der in [Fig. 16\(c\)](#) dargestellte Massensensor **43C** ist ein Beispiel dafür.

[0157] Ein weiteres Mittel zur Verbesserung der Empfindlichkeit ist ein Verfahren, um die Dicke der Membran **19** zu verringern, um dadurch das Massenverhältnis mit einer abzuföhlenden Substanz (Masse der abzuföhlenden Substanz/Masse der Membran **19**) zu erhöhen, d. h. es kann die Proportion der Änderung der Masse der Membran **19** verwendet werden. Wird die Dicke der Membran **19** verringert, wenn die Oberfläche der Membran **10** vergrößert wird, ohne die Masse zu verkleinern, so kann weiters der Bereich, auf welchen die Fängersubstanz aufgetragen wird, vergrößert werden, und es kann mehr abzuföhlende Substanz eingefangen werden, wodurch eine Verbesserung der Empfindlichkeit erzielt werden kann.

[0158] Im nächsten Schritt sind andere Anwendungen des Massensensors **1** beschrieben. Erstens kann der Massensensor **1** als Feuchtigkeitsmesser verwendet werden, wenn die auf die Membran **19** aufgebrachte Fängersubstanz ein feuchtigkeitabsorbierendes Material ist. Wird auf die Membran **19** ein feuchtigkeitabsorbierendes Material aufgetragen, das eine spezifische gasförmige Komponente absorbiert, oder eine organische oder anorganische Substanz als Fängersubstanz, so kann der Massensen-

sor **1** als Gassensor, Geruchssensor oder Geschmackssensor verwendet werden. Wird die Temperatur der Membran **19** so eingestellt, dass sie Feuchtigkeit kondensiert, kann der Massensensor **1** weiters als Taupunktmesser verwendet werden, der den Taupunkt aus der Temperatur misst, bei welcher die Masse der Membran **19** ansteigt.

[0159] Der Massensensor **1** kann auch als Filmdickenmesser verwendet werden. Die Filme, die gemessen werden können, umfassen Sputter-Filme oder CVD-Filme, die in Vakuum ausgebildet werden, in Gasen ausgebildete LB-Filme oder in Flüssigkeiten ausgebildete elektroabgelagerte Filme. Werden diese Filme ausgebildet, wenn die Membran **19** oder der Resonanzabschnitt **26** des Massensensors **1** in derselben Filmbildungsumgebung angeordnet sind, so wird ein Film auf der Membran **19** oder dem Resonanzabschnitt **26** ausgebildet, wodurch eine Änderung der Masse ausgelöst wird, und es kann die Änderung der Resonanzfrequenz, der Dicke oder der Aufbaugeschwindigkeit des ausgebildeten Films gemessen werden.

[0160] Obwohl man weiß, dass ein Messinstrument für die quarzdampf abgelagerte Filmdicke die Änderung der Resonanzfrequenz eines Quarz-Oszillators **80**, der jenen in **Fig. 21** dargestellten ähnlich ist, in die Gleitrichtung detektiert, wenn sich die Filmdicke ändert, weist dieser insofern Probleme auf, als er durch Temperaturänderung, Störungen aufgrund der Kollision von Verunreinigungen und Änderung des Vakuumdrucks beeinflusst werden kann, da der Oszillator selbst in einer Dampfabscheidungs-Umgebung verwendet wird.

[0161] Wird der Massensensor **1** in der θ -Mode als Messinstrument für die dampfabgelagerte Filmdicke verwendet, so widersteht der Sensorabschnitt **29** der Temperaturänderung aufgrund des Starrkörper-Modus aufgrund dessen, dass die Wahrscheinlichkeit der Kollision von Verunreinigungen gering ist, weil die Membran **19** nur 3 bis 20 μm dünn ist, und aufgrund der Struktur, in welcher der Sensorabschnitt **29**, die Federplatte **19** und die Anschlussplatte **20** leicht in einer konstanten Umgebung gehalten werden, wodurch die Messgenauigkeit im Vergleich zur Verwendung eines Quarz-Oszillators **80** verbessert werden kann.

[0162] Weiters kann der Massensensor **1** als Viskositätsmeter verwendet werden, um das Auftreten von Scherwellen der Transversalwellen in einem Fluid zu bewirken, wenn die Membran **19** in ein Flüssigkeit getaucht wird, und um die Massenbelastung des Abschnitts, an welchem das viskose Wasser eintritt, aufzunehmen.

[0163] Obwohl ein Quarz-Viskositätsmeter zur Detektion der Änderung der Resonanzfrequenz eines

Quarz-Oszillators **80** in die Gleitrichtung ebenfalls verwendet wird, zeigt dieser insofern Probleme, als er durch die Temperaturänderung und Störungen aufgrund der Kollision von Verunreinigungen in der Flüssigkeit beeinflusst wird, da der Quarz-Oszillator **80** selbst in die Flüssigkeit eingetaucht wird.

[0164] Andererseits widersteht, wenn der Massensensor **1** in der θ -Mode als Viskositätsmeter verwendet wird, da der Sensorabschnitt **29**, die Federplatte **18** und die Anschlussplatte **20** nicht in die Flüssigkeit eintauchen müssen, der Sensorabschnitt **29** der Temperaturänderung aufgrund der Starrkörper-Mode, und die Membran **19** ist nur 3 bis 20 μm dünn, die Wahrscheinlichkeit der Kollision von Verunreinigungen ist gering und die Empfindlichkeit wird verbessert.

[0165] Weiters wird ein Quarz-Oszillator als Reibungsvakuummeter verwendet, da sein elektrischer Widerstand aufgrund der Reibung der Gasmoleküle und aufgrund der viskosen Reibung des Gases in einem Vakuum variiert. Da diese Art eines Vakuummeters aber zur Messung von Frequenzänderungen aufgrund des Effekts der Massenbelastung des Quarz-Oszillators verwendet wird, kann der Massensensor **1** der vorliegenden Erfindung, der im Grunde genommen dieselben Messprinzipien anwendet, auch als Vakuummeter verwendet werden.

[0166] Obwohl ein Reibungsvakuummeter unter Verwendung eines Quarz-Oszillators eine Änderung des Widerstands detektiert, wenn der abstimme gabel förmige Oszillator **90** in die X-Achsen-Richtung, wie in **Fig. 28** dargestellt, schwingt, ist es schwierig, die Dicke d_1 des Oszillators **90** zu verringern und somit stellt auch die Verbesserung der Empfindlichkeit eine Schwierigkeit dar. Aber im Massensensor **1** kann die Dicke der Membran **19** auf 3 bis 20 μm verringert und der θ -Mode verwendet werden, und so kann die Empfindlichkeit verbessert werden.

[0167] Zusätzlich dazu kann der Massensensor **1** als Temperatursensor verwendet werden, indem der Biegemodus der Membran **19** verwendet wird, d. h. indem die Änderung des E-Moduls als Änderung der Resonanzfrequenz in der Biegemode abgefühlt wird.

[0168] Obwohl der Massensensor **1** als verschiedene Sensoren verwendet werden kann, besteht das Grundprinzip der Messung darin, die Änderung der Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts **26** auf Grundlage der Massenbelastung auf die Membran **19** zu messen. Somit kann eine Vielzahl von Sensorabschnitten **13** mit verschiedenen Funktionen leicht in einem Massensensor **1** ausgebildet werden. So können z. B. die Funktionen eines Temperatursensors, eines Vakuummeters oder eines Viskositätsensors zur Funktion als Massensensor **1** hinzugezählt werden, d. h., ein Sensor zur Referenz für den

Ausgleich von Temperatur, Vakuum oder Viskosität kann leicht im Massensensor **1** aufgenommen werden. Da es nicht erforderlich ist, eine Vielzahl von Sensoren mit verschiedenen Formen für verschiedene Anwendungen zu verwenden, ist dies in solchen Fällen aus Kostengründen hinsichtlich der Aufnahme von Sensoren für die Messung und ihrem Betrieb sowie hinsichtlich auf die Messinstrumente von Vorteil.

[0169] Als nächstes ist ein Verfahren zur Herstellung eines Massensensors der vorliegenden Erfindung beschrieben, wobei der Massensensor **1** als Beispiel angeführt wird. Als Materialien für das Sensorsubstrat werden geeigneterweise Keramikmaterialien wie Zirconiumoxid verwendet. Eine Aufschlammung wird hergestellt, indem Bindemittel, Lösungsmittel, Dispersionsmittel und andere Additive in einem Keramikpulver vermischt werden, und nach der Entfernung von Schäumen aus der Aufschlammung wird eine grüne Lage oder ein grünes Band für die Schwingungsplatte, die Zwischenplatten und Basisplatten mit der gewünschten Dicke unter Verwendung eines Verfahrens wie dem umgekehrten Walzenbeschichtungsverfahren und dem Rakelverfahren ausgebildet.

[0170] Danach werden diese grünen Schichten unter Verwendung einer Form oder eines Lasers in die gewünschten Formen, z. B., wie dies in [Fig. 23](#) dargestellt ist, gestanzt, in die Form einer Zwischenplatte **17** mit einer Öffnung **14** und einer Federplatte **18**, und die Form einer Basisplatte **15** mit einer Öffnung **14**, und die grüne Lage wird, zumindest für jede der Schwingungsplatte, Zwischenplatte **17** und Basisplatte **15** in dieser Reihenfolge laminiert und gesintert und einstückig ausgebildet wird, um das Sensorsubstrat auszubilden. Nach der Laminierung dieser grünen Lagen werden Löcher **8** in jeder grünen Schicht für die Laminierungsausrichtung ausgebildet. Die Formen der in [Fig. 23](#) dargestellten grünen Schichten wurden zur besseren Verständlichkeit der Ausbildung des Sensorabschnitts **13** des in [Fig. 11](#) dargestellten Massensensors **1** vereinfacht.

[0171] Obwohl auch eine Öffnung **14** oder eine Membran **19** in der Schwingungsplatte **3** im grünen Zustand ausgebildet werden kann, da die Schwingungsplatte nur 20 µm oder weniger dünn ist, wird bevorzugt, die Öffnung **14** oder die Membran **19** in einer vorbestimmten Form auszubilden, nachdem das Sensorsubstrat **2** ausgebildet und das piezoelektrische Element **25** mittels nachfolgend beschriebener Laserbehandlung installiert wurde, um die Ebenheit und dimensionale Genauigkeit nach dem Sintern der Membran **19**, der Anschlussplatte **20** und der Sensorplatte **21**, die in der Schwingungsplatte **3** ausgebildet sind, sicherzustellen.

[0172] Verfahren zur Installation des piezoelektrischen Elements **25**, das aus einer ersten Elektrode

22, einem piezoelektrischen Film **23** und einer zweiten Elektrode **24** besteht, auf dem Bereich der Schwingungsplatte **3**, wo die Sensorplatte **21** ausgebildet wird, umfassen ein Verfahren, in welchem ein piezoelektrischer Film **23** durch Pressausbildung unter Verwendung einer Form oder durch Bandausbildung unter Verwendung eines Schlammmaterials ausgebildet wird, wobei der piezoelektrische Film **23** vor dem Sintern durch Hitze und Druck auf dem Bereich der Schwingungsplatte **3**, wo die Sensorplatte **21** ausgebildet ist, überlagert wird, und sie gleichzeitig gesintert werden, um das Sensorsubstrat **2** und den piezoelektrischen Film **23** gleichzeitig auszubilden. In diesem Fall müssen aber die Elektroden **22**, **24** auf dem Sensorsubstrat **2** oder dem piezoelektrischen Film **23** zuvor im nachfolgend beschriebenen Filmausbildungsverfahren ausgebildet werden.

[0173] Obwohl die Temperatur zum Sintern des piezoelektrischen Films **23** abhängig vom Material bestimmt wird, liegt sie im Allgemeinen bei 800 bis 1.400°C und vorzugsweise bei 1.000 bis 1.400°C. In diesem Fall wird für die Steuerung der Zusammensetzung des piezoelektrischen Films **23** bevorzugt, dass der Sintervorgang in Gegenwart der Verdampfungsquelle des Materials für den piezoelektrischen Film **23** durchgeführt wird. Werden der piezoelektrische Film **23** und das Sensorsubstrat **2** gleichzeitig gesintert, so müssen die Sinterbedingungen zueinander passen.

[0174] Andererseits kann, wenn das Filmausbildungsverfahren verwendet wird, das piezoelektrische Element **25** in verschiedenen Dickfilmausbildungsverfahren wie dem Siebdruck, dem Eintauchen und dem Aufmalen; oder in verschiedenen Dünnschichtausbildungsverfahren wie dem Ionenstrahlverfahren, dem Sputter-Verfahren, der Dampfablagerung, Ionenplattierung, chemischen Dampfablagerung (CVD) oder mittels Elektroplattierung auf dem Bereich des gesinterten Sensorsubstrats **2** installiert werden, wo die Sensorplatte **21** ausgebildet ist. Davon werden vorzugsweise die Dickfilmausbildungsverfahren wie der Siebdruck, das Eintauchen und das Aufmalen für die Ausbildung des piezoelektrischen Films **23** verwendet. Dies liegt darin, dass der piezoelektrische Film **23** unter Verwendung einer Paste oder einer Aufschlammung ausgebildet werden kann, die hauptsächlich aus Teilchen der piezoelektrischen Keramikmaterialien mit einem mittleren Teilchendurchmesser von 0,01 bis 5 µm, vorzugsweise 0,05 bis 3 µm besteht, und es werden dadurch günstige piezoelektrische Eigenschaften erhalten.

[0175] Nachdem das Sensorsubstrat **2** unter vorbestimmten Bedingungen gesintert wurde, wird z. B. die erste Elektrode **22** auf dem vorbestimmten Oberflächenbereich der Schwingungsplatte **3** gedruckt und gesintert, und danach wird der piezoelektrische Film **23** gedruckt und gesintert, und danach wird die zwei-

te Elektrode **24** gedruckt und gesintert, um das piezoelektrische Element **25** auszubilden. Danach werden die Elektrodenleitungen **9**, **10** gedruckt und gesintert, um die Elektroden **22**, **24** mit der Messvorrichtung zu verbinden. Wird z. B. Platin (Pt) für die erste Elektrode **22** verwendet, und Bleizirkonattitanat (PZT) wird für den piezoelektrischen Film **23** verwendet, so werden Gold (Au) für die zweite Elektrode **24** und Silber (Ag) für die Elektrodenleitungen **9**, **10** verwendet, wobei die Sintertemperaturen im Sintervorgang schrittweise verringert werden können. Somit werden die zuvor gesinterten Materialien nicht noch einmal in einem gewissen Sinterschritt gesintert, und es kann vermieden werden, dass Probleme beim Material für die Elektroden oder dergleichen, so z. B. Ablösung und Aggregation, auftreten.

[0176] Indem die geeigneten Materialien ausgewählt werden, können die jeweiligen Elemente des piezoelektrischen Elements **25** und der Elektroden **9**, **10** eines nach dem anderen gedruckt und auf einmal einstückig gesintert werden, oder nachdem der piezoelektrische Film **23** ausgebildet ist, können die jeweiligen Elektroden oder dergleichen bei einer niedrigen Temperatur ausgebildet werden. Auch können die jeweiligen Elemente des piezoelektrischen Elements **25** und der Elektroden **9**, **10** im Dünnschichtverfahren wie etwa dem Sputter-Verfahren oder der Dampfablagerung ausgebildet werden. In diesem Fall ist eine Wärmebehandlung nicht erforderlich.

[0177] Somit wird insbesondere bevorzugt, das piezoelektrische Element **25** unter Verwendung des Filmausbildungsverfahrens auszubilden, da das piezoelektrische Element **25** und die Sensorplatte **21** einstückig verbunden und ohne Verwendung von Klebstoffen installiert werden können, und weiters zeigt auch der Massensensor exzellente Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit und wird leicht aufgenommen. Hierin kann der piezoelektrische Film **23** ein passendes Muster aufweisen, und die Verfahren für die Musterung umfassen z. B. Siebdruck, Lichtlithografie, Laserbehandlung oder mechanische Verarbeitung wie in Scheiben schneiden und mit Ultraschall behandeln.

[0178] Als nächstes wird eine Membran **19** auf dem vorbestimmten Bereich des auf diese Weise ausgebildeten Sensorsubstrats ausgebildet. Hier wird vorzugsweise der unnötige Teil der Schwingungsplatte **3** durch die Behandlung mit der vierten Harmonischen des YAG-Lasers entfernt. Somit kann z. B. eine Öffnung **14** ausgebildet werden, wobei sich mit dem Sensorsubstrat **2** einstückig verbundene Elemente wie z. B. die Membran **19** und die Sensorplatte **21**, wie in [Fig. 11](#) oder [Fig. 12](#) ersichtlich, ergeben, und zu diesem Zeitpunkt kann durch Einstellung der Form der Membran **19** oder dergleichen die Resonanzfrequenz auf einen vorbestimmten Wert einge-

stellt werden, und es kann der Massenbereich der abzufühlenden Substanzen bestimmt werden.

[0179] Wie in [Fig. 24](#) dargestellt ist, kann, wenn ein Teil der Membran **19** geschnitten und entfernt worden ist, so dass die Länge der Membran **19** von L_0 auf L_1 verkürzt wurde, der Resonanzpunkt erhöht werden, und andererseits kann, wenn die Breite der Federplatte **18** und der Anschlussplatte **20** von t_0 auf t_1 verengt wird, der Resonanzpunkt gesenkt werden. Somit kann durch die Kombination dieser Werte der Resonanzpunkt eingestellt werden. Weiters kann durch das Verringern der Breite der Membran **19** von W_0 auf W_1 der Rotationsmodus eingeschränkt werden, es kann der Q-Wert in der θ -Mode erhöht und der Unterschied der Änderung der Resonanzfrequenzen abhängig von der Haftstelle verkleinert werden, selbst wenn die Masse der angehafteten Substanz dieselbe ist.

[0180] Weiters kann, wie [Fig. 25](#) zeigt, nachdem ein piezoelektrisches Element **25**, das eine erste Elektrode **22** als obere Elektrode, eine zweite Elektrode **24** als untere Elektrode und einen dazwischen ausgebildeten piezoelektrischen Film **23** umfasst, ausgebildet wurde, die obere Elektrode durch die vierte Harmonische des YAG-Lasers entfernt werden, oder durch eine solche Bearbeitung, dass der wirksame Elektrodenbereich des piezoelektrischen Elements eingestellt und die Empfindlichkeit angepasst wird. Ist die Struktur des piezoelektrischen Elements **25** eine Wabenstruktur, wie sie in den [Fig. 3](#) oder [Fig. 4](#) gezeigt ist, so kann ein Teil der einen oder beiden Elektroden entfernt werden.

[0181] Durch die Verarbeitung eines solchen Resonanzabschnitts sind verschiedene Behandlungsverfahren für die Größe und Form des Resonanzabschnitts geeignet, so z. B. so etwa die Laserbehandlung mit einem YAG-Laser, die zweite oder dritte Harmonische des YAG-Lasers, Excimer-Laser oder CO₂-Laser; Elektronenstrahlverarbeitung; und Würfeln (maschinelle Bearbeitung) zusätzlich zur oben beschriebenen vierten Harmonischen des YAG-Lasers.

[0182] Zusätzlich zum oben beschriebenen Verfahren unter Verwendung von grünen Lagen kann das Sensorsubstrat **2** durch Pressformen hergestellt werden, wobei Formteile, der Schlickerguss und die Spritzgusstechnik dabei zur Anwendung kommen. In diesen Fällen wird auch eine Bearbeitung wie Schneiden, Mahlen, Laserbehandlung, Pressstanzen und Ultraschallbehandlung vor und nach dem Sintern durchgeführt, und der Massensensor **1** einer vorbestimmten Form wird erhalten.

[0183] Wird eine Isolierbeschichtungsschicht **65** auf dem piezoelektrischen Element **25** und den Elektrodenleitungen **9**, **10** in auf diese Weise hergestellten

Massensensor **1** ausgebildet, wie dies beim in **Fig. 19** dargestellten Massensensor **43D** der Fall ist, so kann diese unter Verwendung eines Glases oder eines Harzes mittels Siebdruck, Bemalung oder Aufsprühen ausgebildet werden. Wird hierin Glas als Material verwendet, so muss der Massensensor **1** selbst bis zum Erweichungspunkt des Glases erhitzt werden, und da Glas über eine große Härte verfügt, kann die Schwingung verhindert werden. Da das Harz weich ist, und nachdem nur eine Bearbeitung wie das Trocknen erforderlich ist, ist die Verwendung eines Harzes bevorzugt. Obwohl bereits beschrieben wurde, dass Fluor- oder Silikonharze als Harze, die in der Isolierbeschichtungsschicht **65** verwendet werden können, geeignet sind, wird bevorzugt, dass bei Verwendung dieser Harze eine Primer-Schicht, die für die Arten der verwendeten Harze und Keramikmaterialien geeignet ist, ausgebildet wird, um z. B. die Haftung mit den unterliegenden Keramikmaterialien zu verbessern und um die Isolierbeschichtungsschicht **65** auf der Primer-Schicht auszubilden.

[0184] Als nächstes wird, wenn eine Schutzschicht **66**, die auf der Isolierbeschichtungsschicht **65** ausgebildet ist, aus einem Harz besteht, da das Sintern schwierig ist, ein Verfahren, für das keine Hitze erforderlich ist, so z. B. das Sputtern, verwendet, wenn verschiedene metallische Materialien als leitfähige Elemente verwendet werden; wird aber eine leitfähige Paste verwendet, die ein Metallpulver und ein Harz umfasst, so kann vorzugsweise der Siebdruck oder das Malverfahren verwendet werden. Besteht die Isolierbeschichtungsschicht **65** aus Glas, so kann eine metallhaltige Platte siebgedruckt und unter einer Temperatur gesintert werden, bei welcher Glas fließt.

[0185] Schließlich wird eine Fängersubstanz oder dergleichen auf die gesamte Membran **19** oder den Resonanzabschnitt **26** aufgetragen, um den Massensensor zu vervollständigen. Die Messung der Resonanzfrequenzen wird unter Verwendung eines Impedanzanalysators oder eines Netzwerkanalysators oder mittels des SINSWEEP-Systems, oder durch die Messung der Transferfunktionen durch Schwingen um externe Ultraschallwellen. Weiters kann eine Änderung der Masse der Membran **19** aus der Messung der Änderung der Resonanzfrequenzen gemessen werden.

[0186] Die vorliegende Erfindung wird nunmehr nachfolgend in Bezug auf das Beispiel beschrieben; dieses Beispiel dient aber keineswegs dazu, die vorliegende Erfindung einzuschränken.

[0187] Bei der Herstellung des Massensensors mit der in **Fig. 11** dargestellten Struktur wurden grüne Lagen mit unterschiedlicher Dicke für die Schwingungsplatte, die Zwischenplatte und die Basisplatte aus Zirconiumoxid, welche durch Yttriumoxid teilsta-

bilisiert, in vorbestimmte Formen verarbeitet, in dieser Reihenfolge laminiert, erhitzt und komprimiert und einstückig bei 1.450°C gesintert wurden, hergestellt. Danach wurden ein piezoelektrisches Element, das aus einer ersten Elektrode, einem piezoelektrischen Film und einer zweiten Elektrode besteht, und an diesen Elektroden befestigte Elektrodenleitungen auf dem vorbestimmten Bereich der Schwingungsplatte, auf welchem die Sensorplatte im Siebdruckverfahren ausgebildet wird, ausgebildet. Die erste Elektrode war aus Platin; der piezoelektrische Film bestand aus einem Material, das Bleizirconat, Bleititanat und Bleimagnesiumniobat als Hauptkomponenten enthält; die zweite Elektrode war aus Gold; und die Elektrodenleitungen wurden aus Silber hergestellt.

[0188] Danach wurde eine Behandlung mit einem YAG-Laser (vierte Harmonische, Wellenlänge: 266 nm) durchgeführt, so dass eine Öffnung, eine Membran und eine Sensorplatte im in **Fig. 12** dargestellten Sensorabschnitt **13** ausgebildet wurden, um den Massensensor **1** zu vervollständigen. Hier betrug die Dicke der Membran 7 µm, die Dicke der Zwischenplatte 65 µm, die Dicke der Basisplatte 150 µm und die Dimension der Membran war 0,5 mm × 0,3 mm.

[0189] Die Masse auf der Membran wurde geändert, indem eine Vielzahl von Punktmustern mit einem Durchmesser von 10 µmΦ in einer Goldschicht mit einer Dicke von 0,3 µm, die auf einer gesamten Oberfläche der Membran mit dem YAG-Laser ausgebildet wurde, wie dies oben beschrieben ist, um die Masse zu verkleinern. Die Resonanzfrequenzen vor und nach der Behandlung wurden beobachtet, und es wurden die in **Fig. 26** dargestellten Ergebnisse erzielt. Aus diesen Ergebnissen lässt sich bestätigen, dass der Massensensor der vorliegenden Erfindung eine Änderung der Resonanzfrequenzen entsprechend der Änderung der Masse in der Größenordnung im Nanometerbereich zeigte.

[0190] Der Massensensor der vorliegenden Erfindung wurde mit Schwerpunkt auf einer piezoelektrischen Umwandlungsvorrichtung unter Verwendung eines piezoelektrischen Films, der den piezoelektrischen Effekt als Vorrichtung zum Abfühlen der Schwingung eines Resonanzabschnitts und zum Umwandeln der Schwingung in elektrische Signale einsetzt. Eine solche Schwingungssignale umwandelnde Vorrichtung ist aber nicht auf jene beschränkt, die den piezoelektrischen Effekt nutzen, sondern sie kann eine solche sein, in welcher die elektromagnetische Induktion, die Änderung der elektrostatischen Kapazität, Änderung des Einfalllichts, Änderung des elektrischen Widerstands oder Pyroelektrizität angewendet werden.

[0191] So umfassen z. B. jene, die sich der elektromagnetischen Induktion bedienen, solche, die auf

der Sensorplatte eine Spule installiert haben, die einen Stromkreis zum Detektieren der in der Spule fließenden elektrischen Signale und einen Magneten (kann ein Elektromagnet sein) zur Erzeugung eines Magnetfelds in der Spule umfasst. In diesem Fall fließt, wenn die Spule gemeinsam mit dem Resonanzabschnitt schwingt, aufgrund der elektromagnetischen Induktion ein elektrischer Strom durch die Spule, und der elektrische Strom wird durch den elektrischen Stromkreis detektiert. Jene Vorrichtungen, welche die Änderung der elektrostatischen Kapazität verwenden, umfassen jene mit einem Paar auf der Oberfläche der Sensorplatte installierter Elektroden, mit einer zwischen diesen Elektroden in Sandwich-Anordnung aufgenommenen dielektrischen Schicht sowie einen mit diesen Elektroden verbundenen Stromkreis, und jene zur Detektion der in diesem bestimmten Raum mit dem elektrischen Stromkreis beladenen elektrostatischen Kapazität.

[0192] Die Vorrichtungen, welche die Änderung des Einfalllichts verwenden, umfassen jene mit einer Vorrichtung zum Erleuchten des Resonanzabschnitts, z. B. eine Leuchtdiode, und eine Vorrichtung zum Messen der Menge an Licht, die durch den Resonanzabschnitt reflektiert wird (Lichtempfänger). Der Lichtempfänger kann ein Lichtsensor sein. Wenn der Resonanzabschnitt schwingt, so ändert sich die Menge an Licht, die vom Resonanzabschnitt reflektiert wird, und die Änderung der Menge an Einfalllicht wird durch den Lichtempfänger gemessen.

[0193] Jene Vorrichtungen, die eine Änderung des elektrischen Widerstands verwenden, werden grob gesprochen in jene unterteilt, die einen Leiter verwenden, und jene, die einen Halbleiter verwenden. Die einen Leiter verwendende Vorrichtung verfügt über einen auf der Oberfläche des Resonanzabschnitts bereitgestellten Leiter und einen mit dem Leiter verbundenen elektrischen Stromkreis. Da der Leiter durch die Schwingung gestört wird, wenn der Leiter gemeinsam mit dem Resonanzabschnitt schwingt und wenn sich der Widerstand ändert, wird diese Widerstandsänderung durch den elektrischen Stromkreis detektiert. Die Vorrichtung, die einen Halbleiter verwendet, verwendet anstatt des Leiters einen Halbleiter.

[0194] Jene Vorrichtungen, die Pyroelektrizität verwenden, umfassen ein Paar auf der Oberfläche der Sensorplatte bereitgestellte Elektroden, ein zwischen diesen Elektroden ausgebildetes piezoelektrisches Element sowie eine Wärmequelle, und detektieren einen durch die Schwingung mit dem elektronischen Schaltkreis erzeugten pyroelektrischen Strom.

[0195] Diese Arten von Schwingungssignalwandlern können anstelle der obig beschriebenen piezoelektrischen Elemente verwendet werden, und zusätzlich dazu können verschiedene Signalwandler für die

Anregung des Resonanzabschnitts und getrennt davon für das Aufnehmen der Schwingung aus dem Resonanzabschnitt verwendet werden. So kann z. B. ein piezoelektrischer Wandler zum Anregen und ein elektrostatischer Wandler vom Kapazitätstyp zum Empfangen verwendet werden. Die Anordnung der anregenden und empfangenden Vorrichtungen kann geeignet und passend abhängig von der Anzahl der Sensorplatten ausgewählt werden. Wenn z. B. nur eine Sensorplatte verwendet wird, können sie auf der Oberfläche der Sensorplatte angeordnet werden; wenn zwei Sensorplatten verwendet werden, können sie auf beiden Oberflächen der zwei oder auf jeder Oberfläche angeordnet werden.

Industrielle Anwendbarkeit

[0196] Wie bereits oben beschrieben wurde, zeigen ein Massensensor und ein Verfahren zum Abfühlen einer Masse gemäß der vorliegenden Erfindung insofern exzellente Wirkungen, als die verschiedenen extrem kleinen Massenänderungen, die auf einer Membran auftreten, d. h. Änderung der Massenbelastung auf der Membran, leicht und genau innerhalb eines kurzen Zeitraums abgefühlt werden können. Somit kann, wenn eine Fängersubstanz zum Einfangen verschiedener abzufühlender Substanzen auf der Membran aufgetragen wird, der Massensensor als Gassensor, Geschmacks- oder Geruchssensor, Immunsensor oder ein Feuchtigkeitsmessgerät verwendet werden, das verschiedene chemischen Substanzen oder Mikroorganismen wie Bakterien und Viren leicht und schnell abfühlen kann. Wird eine solche Fängersubstanz nicht auf die Membran aufgetragen, so kann der Massensensor als Filmdickenmeter, Viskositätsmeter, Vakuummeter oder Thermometer verwendet werden. Zusätzlich dazu kann, wenn der Sensor als das Trockenverfahren ersetzender Immunsensor, als Geruchs- oder Geschmackssensor verwendet wird, die Zuverlässigkeit der Tests verbessert werden, da die Bestimmung sich nicht nur auf den menschlichen Sinn verlässt.

[0197] Auch da der Massensensor der vorliegenden Erfindung nur in sehr geringem Ausmaß durch die Temperatur der Probe oder durch eine Änderung der Eigenschaften der Materialien für den Massensensor selbst aufgrund der Temperatur der Probe nach dem Abfühlen von Resonanzfrequenzen beeinflusst wird und eine extrem geringe Menge in der Größenordnung von 0,1 Nanogramm als die Natur der Struktur messen kann, zeigt der Massensensor die Wirkung des Abfühlens einer extrem kleinen Menge der Substanz.

[0198] Obwohl der Massensensor der vorliegenden Erfindung für verschiedene, oben beschriebene Anwendungen verwendet werden kann, da die Messung auf der Basis eines grundlegenden Messprinzips durchgeführt wird, in welchem die Änderung der

Resonanzfrequenzen des Resonanzabschnitts, umfassend dabei die einer Massenbelastung ausgesetzte Membran, gemessen wird, kann weiters eine Vielzahl von Resonanzabschnitten mit verschiedenen Funktionen leicht in einem Massensensor bereitgestellt werden. Somit zeigt, da die Verwendung einer Vielzahl verschiedener diskreter Sensoren nicht erforderlich ist, der Massensensor der vorliegenden Erfindung auch eine exzellente wirtschaftliche Wirkung hinsichtlich der Kostenreduzierung für die Aufnahme des Sensors an der Messstelle, für die Einrichtungen zur Handhabung oder Messung solcher Messinstrumente sowie auch in Hinblick auf die Kostenverringerung durch die Aufnahme und geteilte Verwendung der Herstellungsausrüstung.

Patentansprüche

1. Massensensor, umfassend:
 ein Sensorsubstrat (**34, 2, 70**);
 zumindest eine Anschlussplatte (**33, 20, 74**), die sich in eine erste Richtung erstreckt und ein erstes, an einen ersten Abschnitt des Sensorsubstrats (**34, 2, 70**) angebrachtes Ende und ein gegenüberliegendes zweites Ende aufweist;
 zumindest eine in Schwingung versetzbare Membran (**31, 19, 72**), die am zweiten Ende der Anschlussplatte (**33, 20, 74**) an jeweiligen Seiten dieser in einer ersten Verbindungsrichtung angebracht ist;
 zumindest eine Sensorplatte (**32, 21, 73**) mit einem ersten, an einem zweiten Abschnitt des Sensorsubstrats (**34, 2, 70**) angebrachten Ende und einem gegenüberliegenden, an eine der Membranen (**31, 19, 72**) und an der Anschlussplatte (**33, 20, 74**) angebrachten zweiten Ende, wobei das zweite Ende entweder
 (a) an der Anschlussplatte (**33, 20, 74**) an jeweiligen Seiten dieser in einer zweiten Verbindungsrichtung, die senkrecht zur ersten Verbindungsrichtung verläuft, angebracht ist; oder
 (b) an der Membran (**31, 19, 72**) an jeweiligen Seiten dieser in einer Verbindungsrichtung, die parallel zur ersten Verbindungsrichtung verläuft, angebracht ist, und wobei im Fall (b) die Anschlussplatte (**33, 20, 74**) und die Sensorplatte nicht direkt miteinander verbunden sind; und
 zumindest ein piezoelektrisches Element (**35, 25, 75**) an einer Fläche der Sensorplatte (**32, 21, 73**) angeordnet ist;
 worin die zumindest eine Anschlussplatte (**33, 20, 74**), die zumindest eine Membran (**31, 19, 72**), die zumindest eine Sensorplatte (**32, 21, 73**) und das zumindest eine piezoelektrische Element (**35, 25, 75**) einen Resonanzabschnitt definieren.

2. Massensensor nach Anspruch 1, worin die Sensorplatte (**32, 21, 73**) mit der Anschlussplatte (**33, 20, 74**) in der senkrecht zur Verbindungsrichtung der Membran (**31, 19, 72**) und der Anschlussplatte verlaufenden Richtung verbunden ist.

3. Massensensor nach Anspruch 1 oder 2, worin zwei Sensorplatten (**21A, 21B**) mit der Anschlussplatte (**20**) an gegenüberliegenden Seiten in der senkrecht zur Verbindungsrichtung der Membran (**19**) und der Anschlussplatte (**20**) verlaufenden Richtung verbunden sind;
 das piezoelektrische Element (**25**) an zumindest einer der Flächen von zumindest einer der Sensorplatten (**21A, 21B**) angeordnet ist;
 die ersten Enden beider Sensorplatten mit dem Sensorsubstrat (**2**) verbunden sind.

4. Massensensor nach Anspruch 3, worin das piezoelektrische Element (**25**) an einer Fläche einer ersten der beiden Sensorplatten (**21B**) angeordnet ist und ein oder mehrere Schlitze (**28**) in der anderen Sensorplatte (**21A**) ausgebildet sind, die sich in eine senkrecht zur Verbindungsrichtung der ersten Sensorplatte (**21B**) und der Anschlussplatte (**20**) verlaufenden Richtung erstreckt.

5. Massensensor nach Anspruch 3 oder 4, worin das piezoelektrische Element (**25A, 25B**) an einer Fläche einer jeden der Sensorplatten (**21A, 21B**) angeordnet ist, die sich in dieselbe Richtung erstrecken, und die jeweiligen Polarisationsrichtungen der piezoelektrischen Filme in den piezoelektrischen Elementen auf den jeweiligen Sensorplatten entgegengesetzt zueinander sind.

6. Massensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin die zwei Anschlussplatten (**74A, 74B**) mit der Membran (**72**) an gegenüberliegenden Seiten dieser verbunden sind, um so eine Vertiefung des Sensorsubstrats (**70**) zu überbrücken, und zwei der Sensorplatten jeweils zwischen den Anschlussplatten und dem Boden der Vertiefung in der zur Richtung der Anschlussplatten mit der dazwischen eingebrachten Membran senkrecht stehenden Richtung angeordnet sind.

7. Massensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin eine Anordnung der Membran mit zwei der an gegenüberliegenden Seiten der Membran verbundenen Anschlussplatten, zwischen denen sie eingebracht ist, ein im Sensorsubstrat ausgebildetes Durchgangsloch überbrückt, und zumindest eine Vielzahl der Sensorplatten zwischen den Anschlussplatten und der Seite des Durchgangslochs, oder der Membran und der Seite des Durchgangslochs, in der senkrecht zur Richtung der jeweiligen Anschlussplatten, zwischen denen die Membran eingebracht ist, stehenden Richtung angeordnet sind.

8. Massensensor nach Anspruch 7, worin auf jedem Paar oder den Sensorplatten, die einander über die Anschlussplatten oder die Membran gegenüberliegen, ein piezoelektrisches Element auf zumindest einer der Flächen der Sensorplatten angeordnet ist

und ein oder mehrere Schlitze in der anderen Sensorplatte ausgebildet sind, die sich in eine senkrecht zur Verbindungsrichtung der anderen Sensorplatte und den Anschlussplatten oder der Membran verlaufenden Richtung erstreckt.

9. Massensensor nach Anspruch 7 oder 8, worin die piezoelektrischen Elemente auf der Fläche eines jeden Paares an Sensorplatten, die einander über die Anschlussplatten oder die Membran gegenüberliegen, in zumindest derselben Richtung angeordnet sind, und die Polarisationsrichtungen der piezoelektrischen Filme in den jeweiligen piezoelektrischen Elementen, die auf den jeweiligen Sensorplatten angeordnet sind, entgegengesetzt zueinander sind.

10. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin die Membran (**31**, **19**, **72**), die Anschlussplatte (**33**, **20**, **75**), und die Sensorplatte (**32**, **21**, **73**) in derselben Ebene liegen.

11. Massensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, worin die Sensorplatte (**21**) in eine Vertiefung, die von der Anschlussplatte (**20**) und dem Sensorsubstrat (**2**) ausgebildet ist, eingepasst und mit dieser verbunden ist.

12. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin die Membran, die Anschlussplatte und die Sensorplatte einstückig aus einer Schwingungsplatte geformt sind und das Sensorsubstrat mit der Schwingungsplatte einer Basisplatte einstückig laminiert ist.

13. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin eine Federplatte (**18**, **38**) an einer oder an jeder der Flächen der Anschlussplatte (**33**) angebracht ist und die Federplatte mit dem Sensorsubstrat (**34**) oder einer Federplattenverstärkung (**39**) verbunden ist.

14. Massensensor nach Anspruch 13 in Abhängigkeit von Anspruch 12, worin die Federplatte einstückig mit der Anschlussplatte und einer Zwischenplatte, die zwischen der Schwingungsplatte und der Basisplatte eingeführt ist, geformt ist, oder einstückig mit der Federplattenverstärkung und der Schwingungsplatte geformt ist.

15. Massensensor nach Anspruch 13 oder 14, worin das Sensorsubstrat mit der Federplatte verbunden ist und die Verstärkung mit der Seite des Sensorsubstrats verbunden ist.

16. Massensensor nach Anspruch 15, worin die Verstärkung (**39**) einstückig mit der Federplatte und dem Sensorsubstrat gebildet ist.

17. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin eine Fängersubstanz aus-

schließlich mit einer abzufühlenden Substanz reagiert und das Einfangen der abzufühlenden Substanz zumindest in einem Teilbereich der Membran vollzogen wird, die Resonanzfrequenz des Resonanzabschnitts durch das piezoelektrische Element im Zustand, in dem die abzufühlende Substanz noch nicht von der Fängersubstanz eingefangen wurde, und im Zustand, nachdem die abzufühlende Substanz von der Fängersubstanz eingefangen wurde, messbar ist, und die Masse der abzufühlenden Substanz, die von der Fängersubstanz eingefangen wurde, aufgrund der Veränderung in der gemessenen Resonanzfrequenz messbar ist.

18. Massensensor nach Anspruch 17, worin zumindest zwei Resonanzabschnitte (**14**) auf dem Sensorsubstrat angeordnet sind und die Fängersubstanz auf die Membran von zumindest einem der Resonanzabschnitte nicht aufgebracht wird.

19. Massensensor nach Anspruch 17 oder 18, worin zumindest zwei Resonanzabschnitte (**14**) auf dem Sensorsubstrat angeordnet sind und jeweils unterschiedliche Fängersubstanzen auf die Membranen der Resonanzabschnitte aufgebracht werden.

20. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin zumindest zwei Resonanzabschnitte (**14**) auf dem Sensorsubstrat angeordnet sind und der Dynamikbereich durch Integrieren der Signale der Resonanzabschnitte erweitert wird.

21. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin ein Durchgangsloch im Sensorsubstrat ausgebildet ist und der Resonanzabschnitt (**14**) auf der inneren Umfangsoberfläche des Durchgangslochs ausgebildet ist.

22. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin das piezoelektrische Element in zwei Abschnitte (**35A**, **35B**) geteilt ist, wobei einer zur Ansteuerung und der andere zum Abfühlen eingesetzt wird.

23. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin zwei piezoelektrische Elemente auf einem Resonanzabschnitt angeordnet sind, wobei eines zur Ansteuerung und das andere zum Abfühlen eingesetzt wird.

24. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin ein Positionssensor, bestehend aus einem Paar an Elektroden, zwischen der Membran und dem piezoelektrischen Element auf dem Sensorsubstrat bereitgestellt ist.

25. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin mit dem piezoelektrischen Element und einer Elektrode des piezoelektrischen Elements verbindende Elektrodenleitungen mit einer

Harz- oder Glas-Isolierbeschichtungsschicht überzogen sind.

26. Massensensor nach Anspruch 25, worin das Harz ein Fluorharz oder Silikonharz ist.

27. Massensensor nach Anspruch 25 oder 26, worin zudem eine Schutzschicht, die aus einem leitfähigen Material besteht, zusätzlich auf der Oberfläche der Isolierbeschichtungsschicht ausgebildet ist.

28. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin das Sensorsubstrat (**34**, **270**), die Membran (**31**, **19**, **72**), die Anschlussplatte (**33**, **20**, **75**), die Sensorplatte (**32**, **21**, **73**) und die Federplatte, falls bereitgestellt, aus stabilisiertem Zirconiumoxid oder teilstabilisiertem Zirconiumoxid zusammengesetzt sind.

29. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin ein piezoelektrischer Film im piezoelektrischen Element aus einem Material besteht, das eine in erster Linie aus Bleizirkonat, Bleitanat und Bleimagnesiumniobat bestehende Komponente enthält.

30. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin die Formen von zumindest einigen der Membranen, der Anschlussplatte, der Sensorplatte oder der Federplatte, falls bereitgestellt, durch Zuschneiden mittels Laserbehandlung oder -bearbeitung dimensional angepasst sind.

31. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin eine Elektrode des piezoelektrischen Elements laserbehandelt oder -bearbeitet ist, um die tatsächliche Elektrodenfläche des piezoelektrischen Elements anzupassen.

32. Massensensor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, worin die Anschlussplatte (**20**) und die Sensorplatte (**21**), die nicht direkt miteinander verbunden sind, mit der Membran (**19**) in Verbindungsrichtungen mit der Membran, die parallel zueinander verlaufen, verbunden sind, und die Anschlussplatte (**20**) und die Sensorplatte (**21**) mit einer Seite des Sensorsubstrats verbunden sind.

33. Verfahren zur Bestimmung von Masse mit einem Massensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 31, in dem zumindest eine Sensorplatte mit der Anschlussplatte in der zur Verbindungsrichtung der Membran und der Anschlussplatte senkrecht verlaufenden Richtung verbunden ist, umfassend das Messen der Resonanzfrequenz mithilfe des piezoelektrischen Elements auf der Grundlage von zumindest einer aus:
der θ -Schwingungsmode der Membran, in der die Membran eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der senkrechten Achse, die durch den Mit-

telpunkt einer feststehenden Ebene verläuft, die die Verbindungsoberfläche der Anschlussplatte und des Sensorsubstrats bildet, in die senkrecht zur Seite der Membran und ebenfalls senkrecht zur senkrechten Achse verlaufende Richtung aufweist, oder der ϕ -Schwingungsmode der Membran, in der die Membran eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der senkrechten Achse aufweist, wobei die Schwingbewegung in die senkrecht zur Seite der Membran und ebenfalls senkrecht zur senkrechten Achse verlaufende Richtung verläuft, begleitet von der Schwingbewegung in die parallel zur Seite der Membran verlaufenden Richtung.

34. Verfahren zur Bestimmung von Masse mit einem Massensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 31, in dem eine Anordnung der Membran mit den zwei an gegenüberliegenden Seiten der Membran verbundenen Anschlussplatten, zwischen denen sie eingebracht ist, die Seitenflächen einer Vertiefung oder ein Durchgangsloch, ausgebildet im Sensorsubstrat, überbrückt, zumindest eine Vielzahl der Sensorplatten zwischen den Anschlussplatten und dem Boden der Vertiefung oder der Seite des Durchgangslochs, oder zwischen der Membran und dem Boden der Vertiefung oder der Seite des Durchgangslochs, in der zur Verbindungsrichtung der Anschlussplatten, zwischen denen die Membran eingebracht ist, senkrecht verlaufenden Richtung angeordnet sind,

umfassend das Messen der Resonanzfrequenz mithilfe des piezoelektrischen Elements auf der Grundlage von zumindest einer der Folgenden:

der θ -Schwingungsmode der Membran, in der die Membran eine pendelähnliche Schwingung mit dem Zentrum auf der senkrechten Achse, die durch den Mittelpunkt einer feststehenden Ebene verläuft, die die Verbindungsoberfläche der Anschlussplatte und des Sensorsubstrats bildet, in die senkrecht zur Seite der Membran und ebenfalls senkrecht zur senkrechten Achse verlaufende Richtung aufweist, oder der ϕ -Schwingungsmode der Membran, in der die Membran eine pendelähnliche Schwingung mit Zentrum auf der senkrechten Achse aufweist, wobei die Schwingbewegung in die senkrecht zur Seite der Membran und ebenfalls senkrecht zur senkrechten Achse verlaufende Richtung verläuft, begleitet von der Schwingbewegung in die parallel zur Seite der Membran verlaufenden Richtung,
der Schwingung der Membran mit dem Zentrum auf der senkrechten Achse, die parallel zum senkrecht zur Seite der Membran und ebenfalls senkrecht zur senkrechten Achse stehenden Richtung schwingt, oder der Rotationschwingung der Membran in der Plattenoberfläche der Membran.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

FIG. 1 (b)

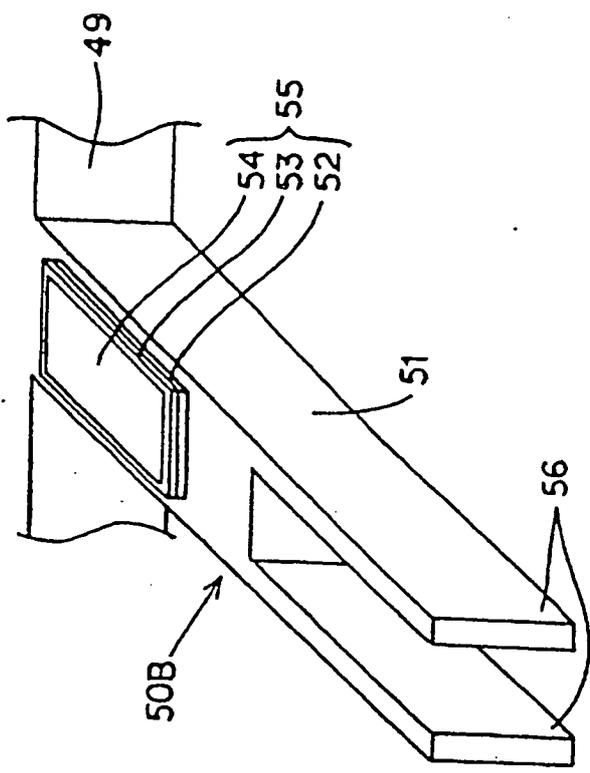


FIG. 1 (a)

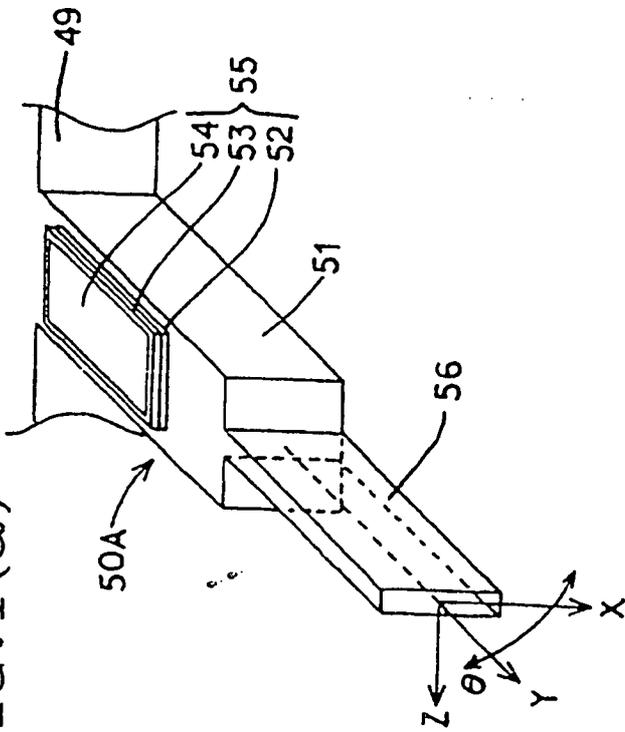


FIG. 1 (d)

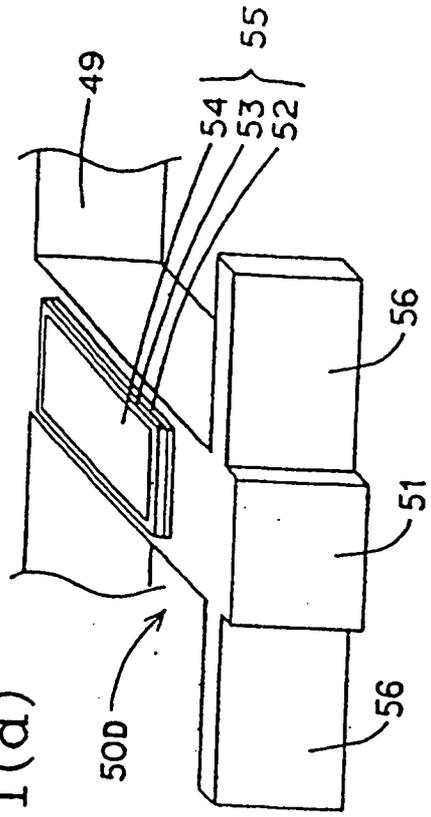


FIG. 1 (c)

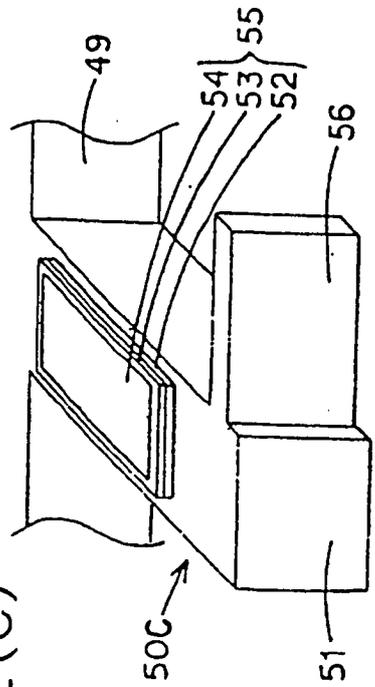


FIG. 2

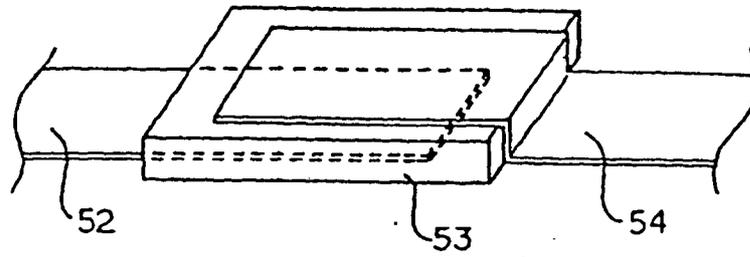


FIG. 3

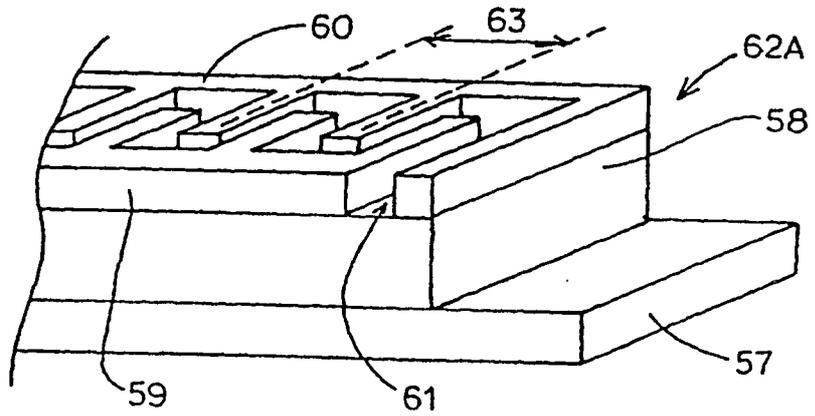


FIG. 4

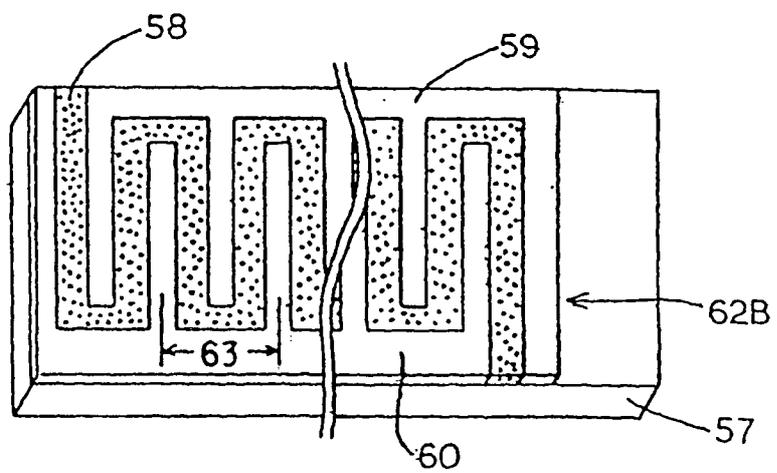


FIG. 5(a)

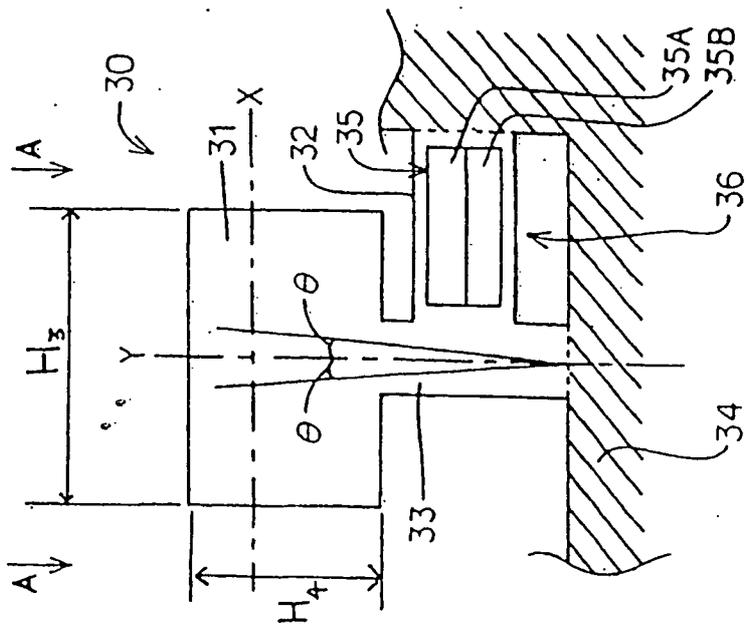


FIG. 5(b)

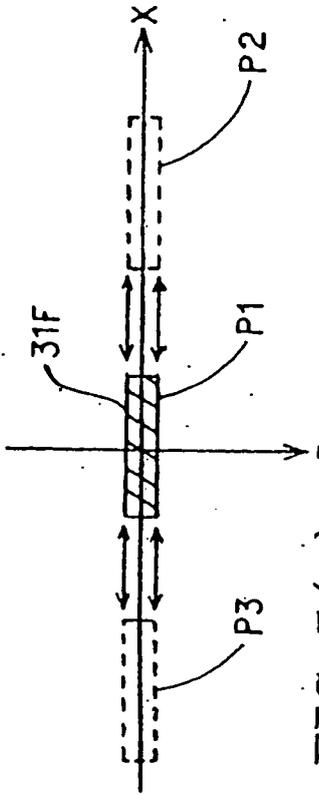


FIG. 5(c)

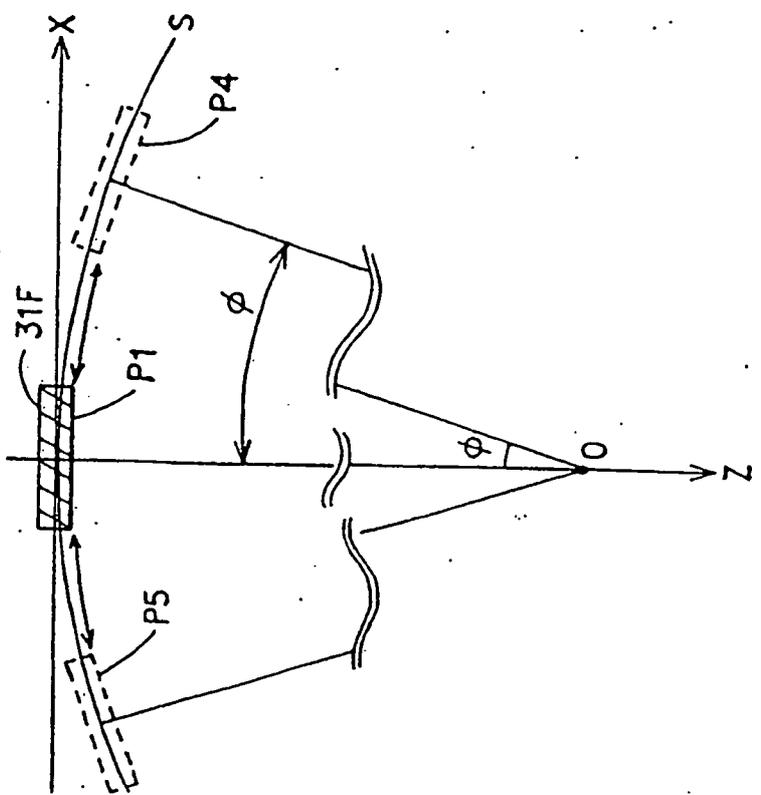


FIG. 6

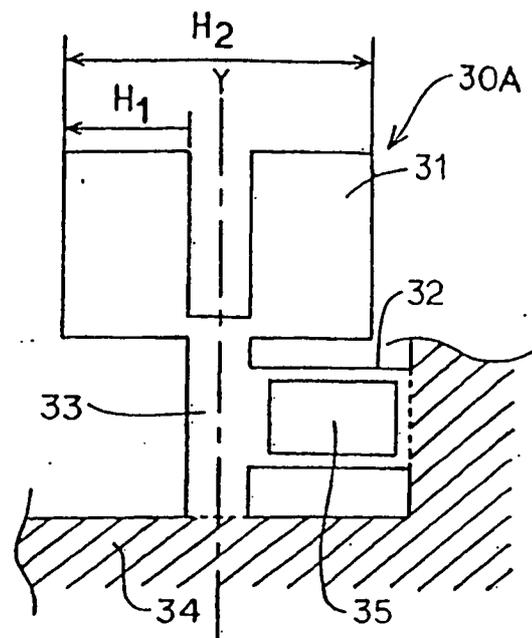


FIG. 7(a)

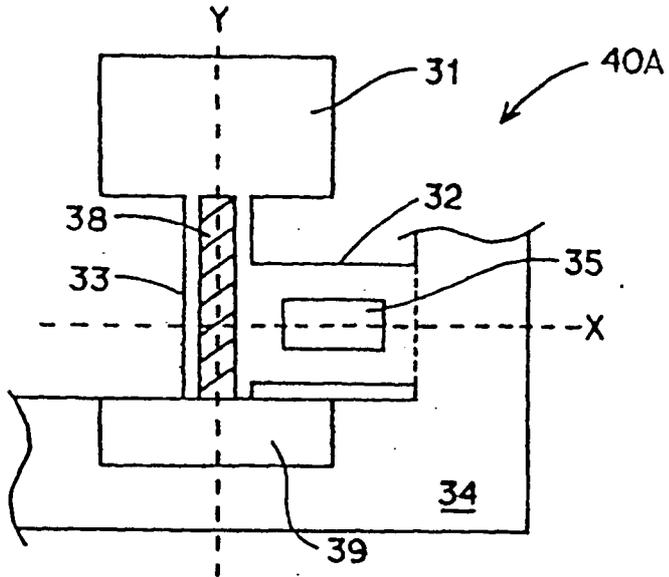


FIG. 7(b)

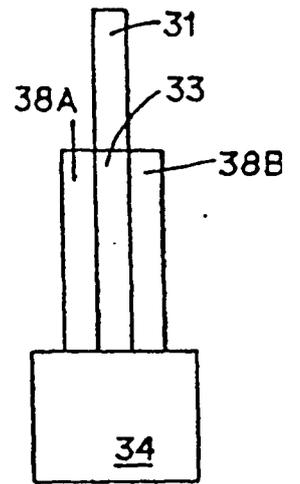


FIG. 7(c)

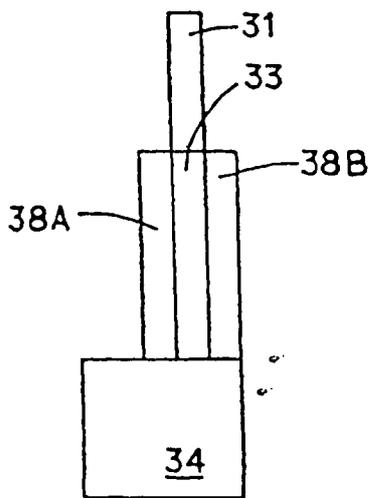


FIG. 7(d)

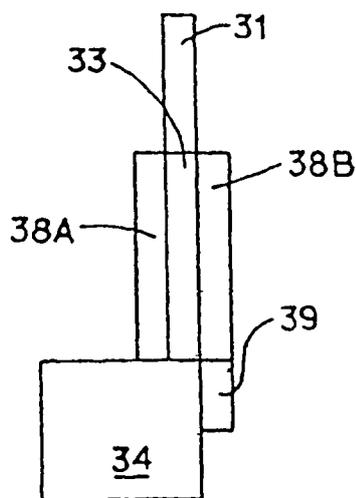
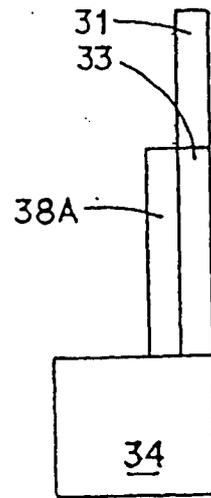


FIG. 7(e)



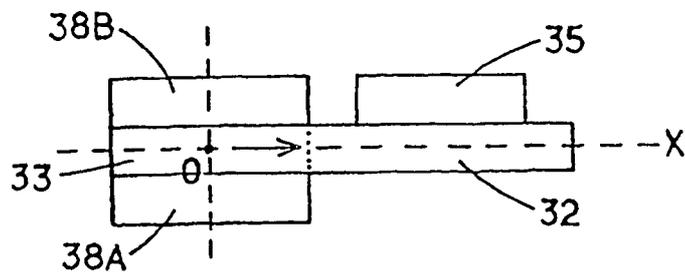


FIG. 8(a)

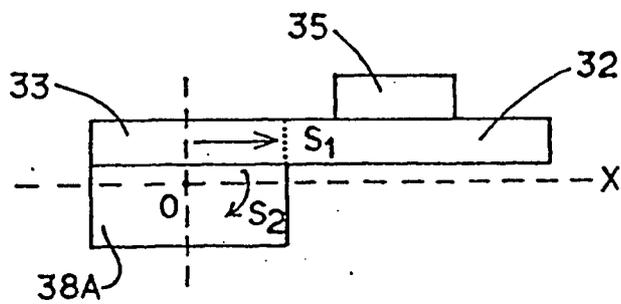


FIG. 8(b)

FIG. 9(a)

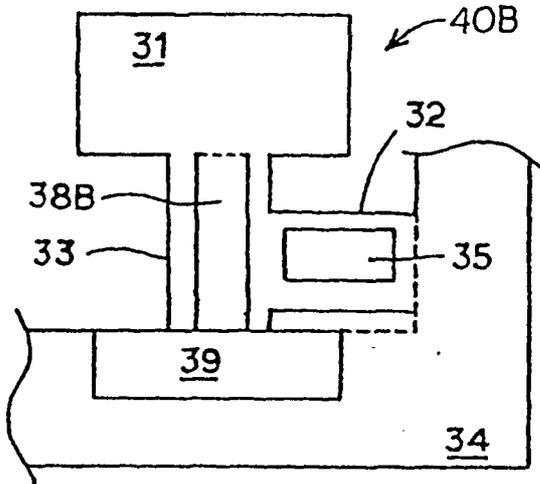


FIG. 9(b)

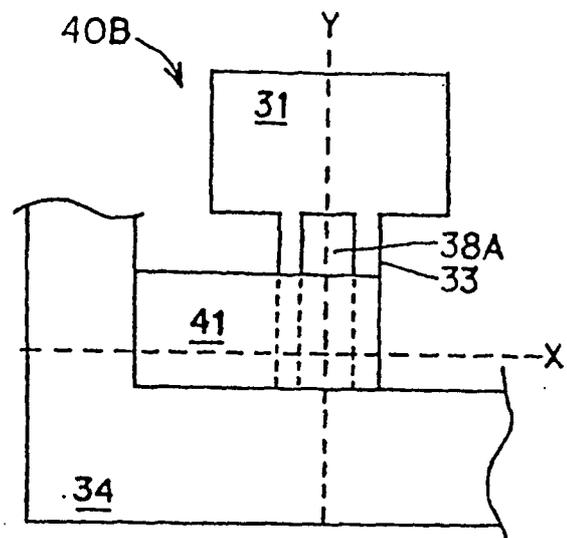


FIG. 9(c)

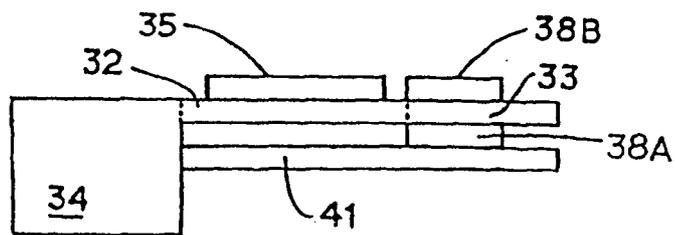


FIG. 10(a)

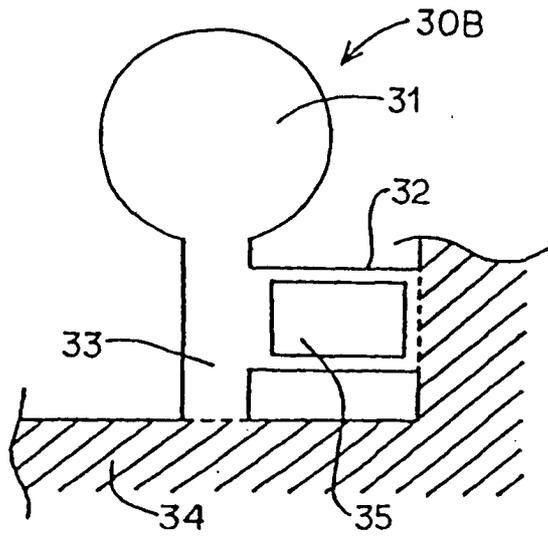


FIG. 10(b)

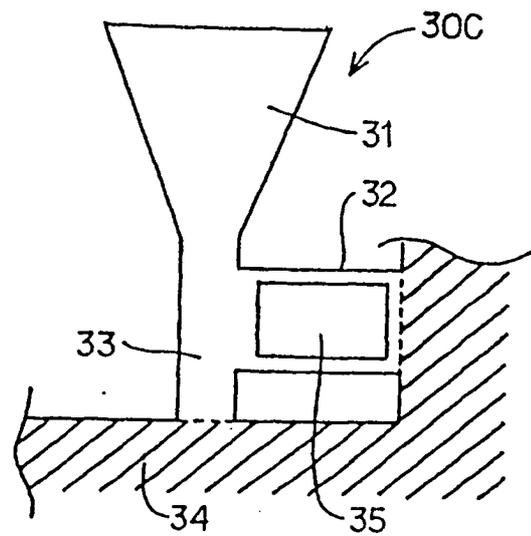


FIG. 10(c)

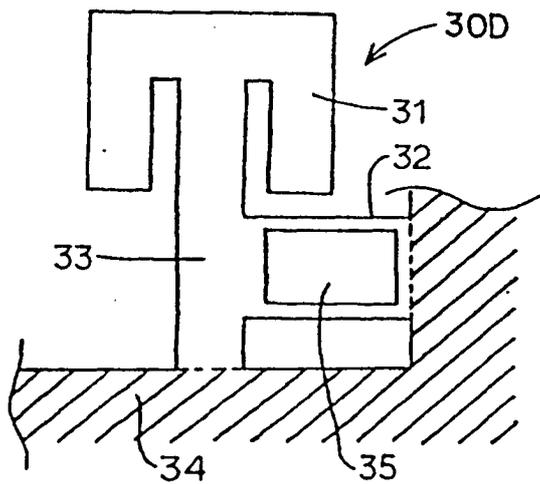


FIG. 10(d)

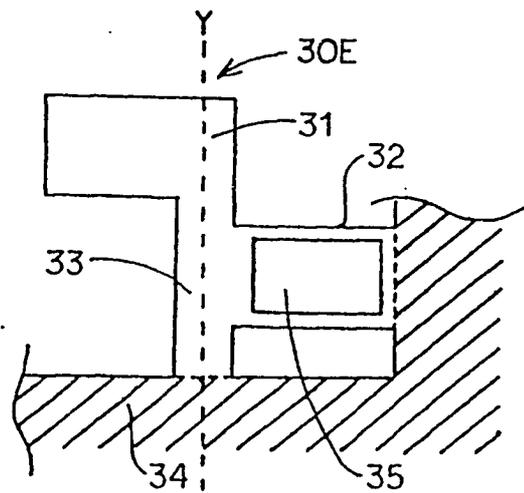


FIG. 11

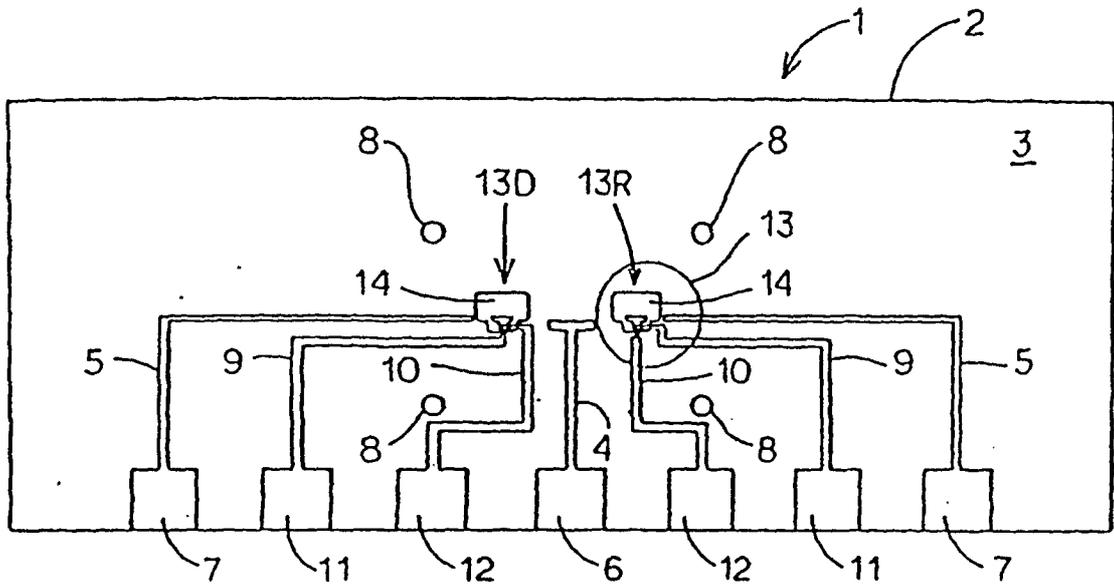


FIG. 12

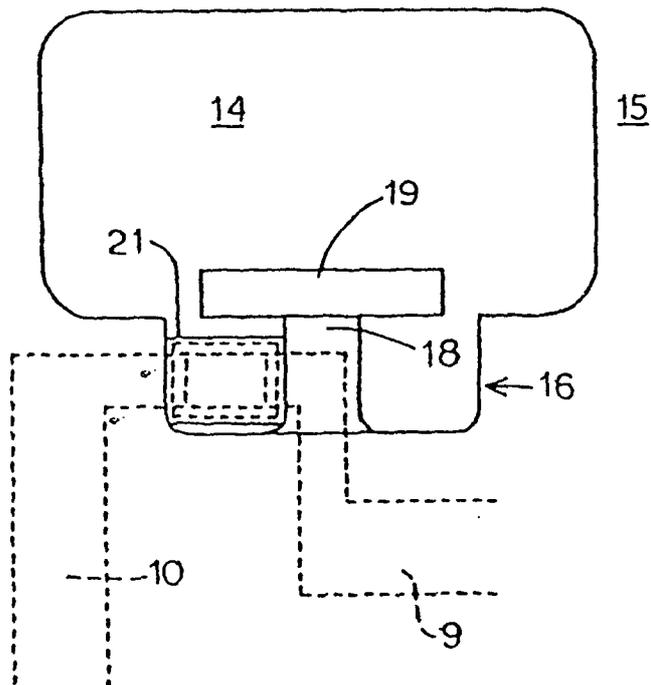


FIG. 13

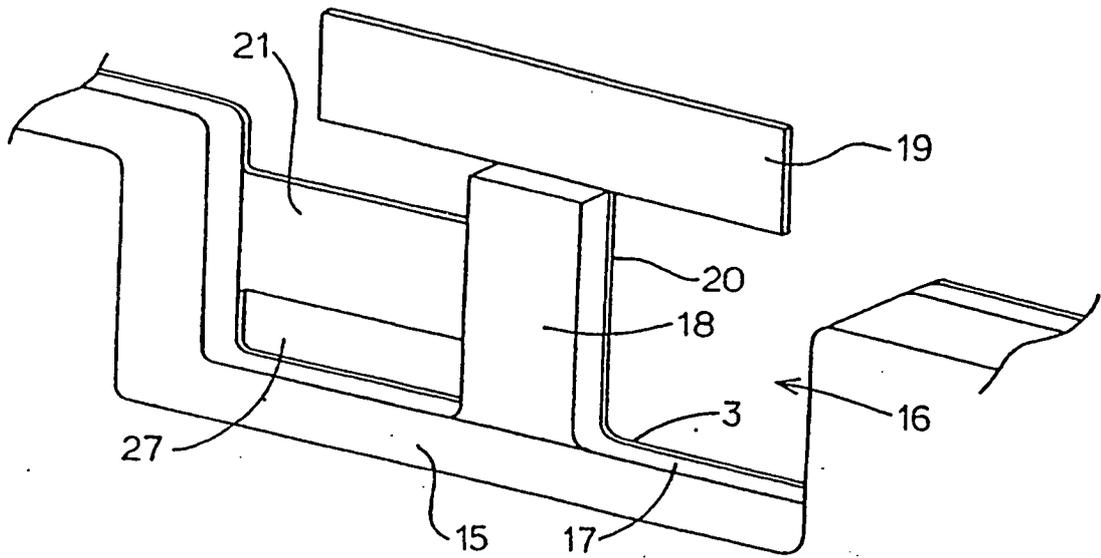


FIG. 14

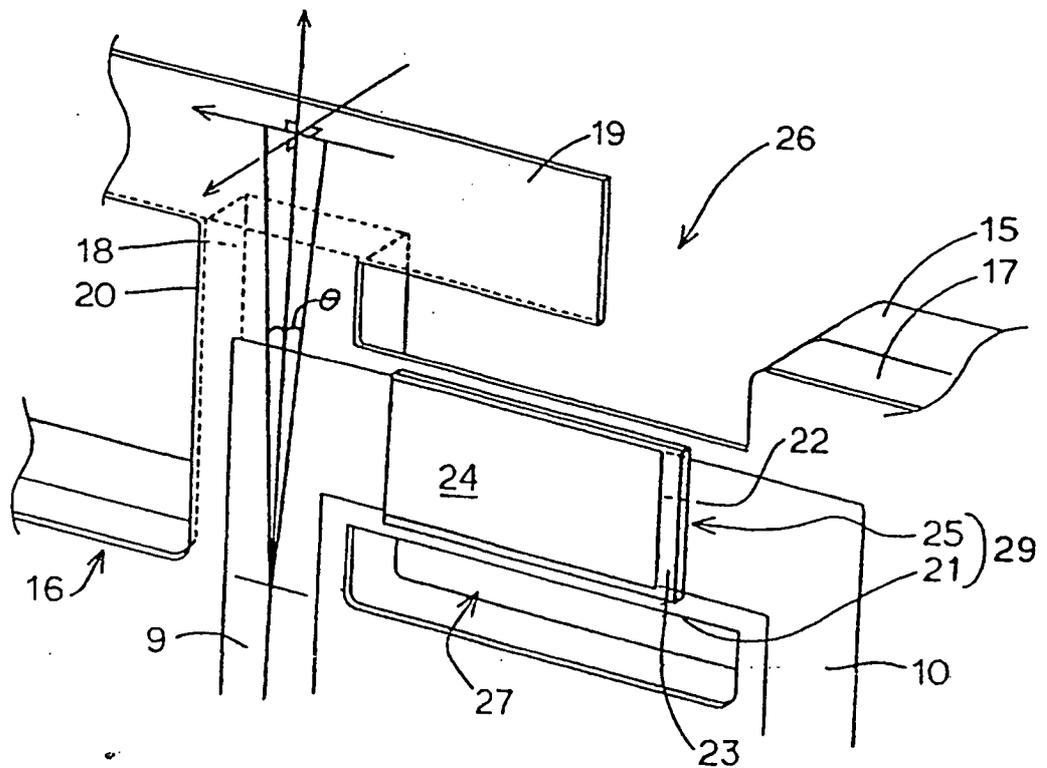


FIG. 15

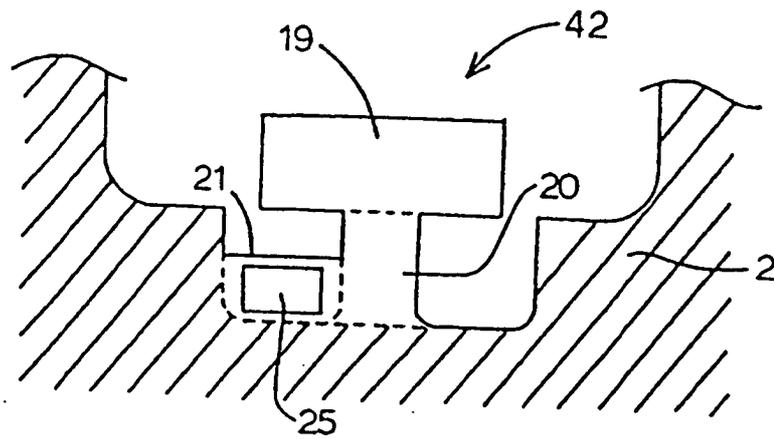


FIG. 16(a)

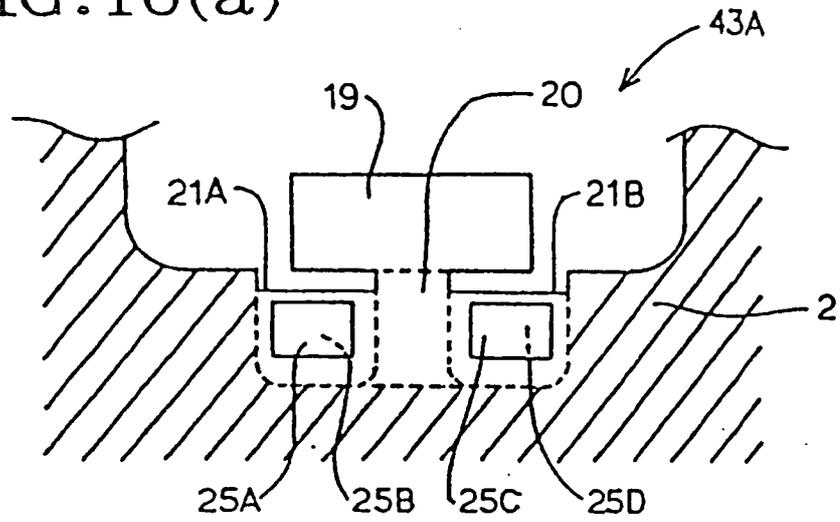


FIG. 16(b)

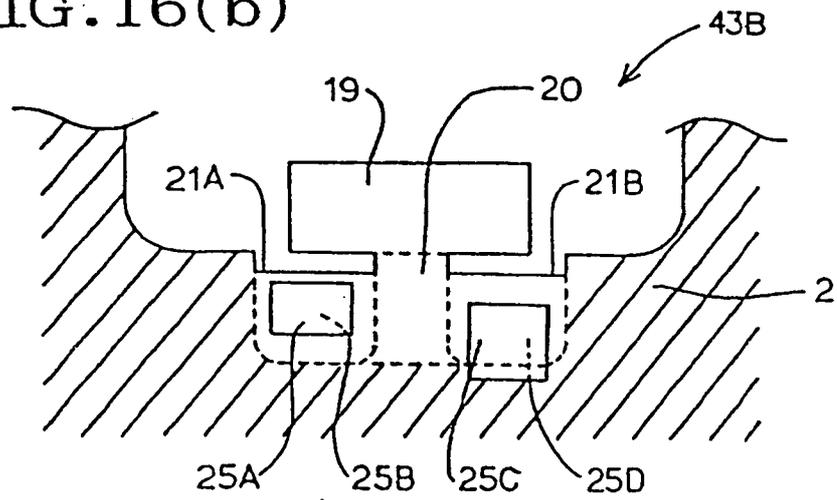


FIG. 16(c)

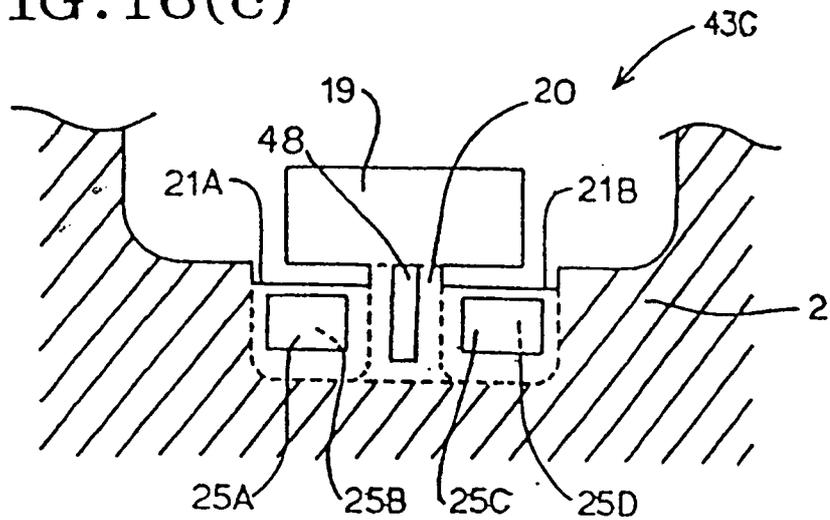


FIG. 17(a)

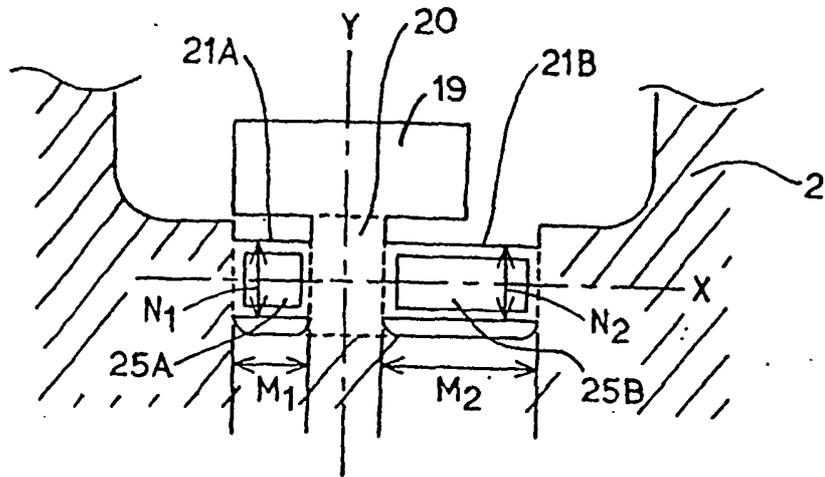


FIG. 17(b)

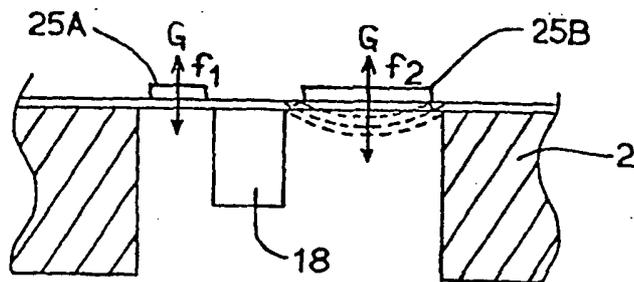


FIG. 18

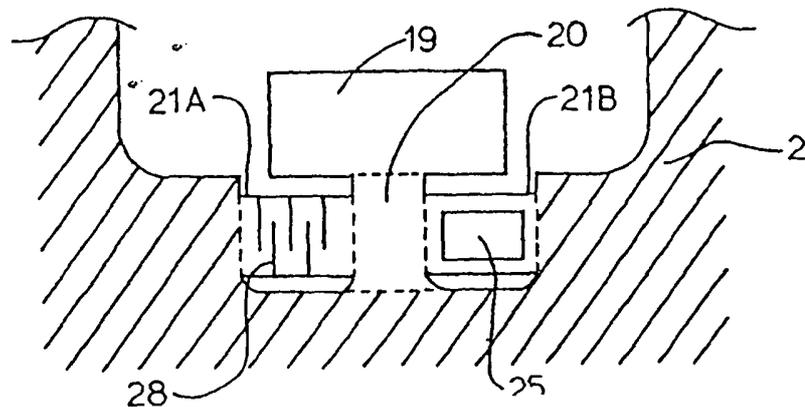


FIG. 19(a)

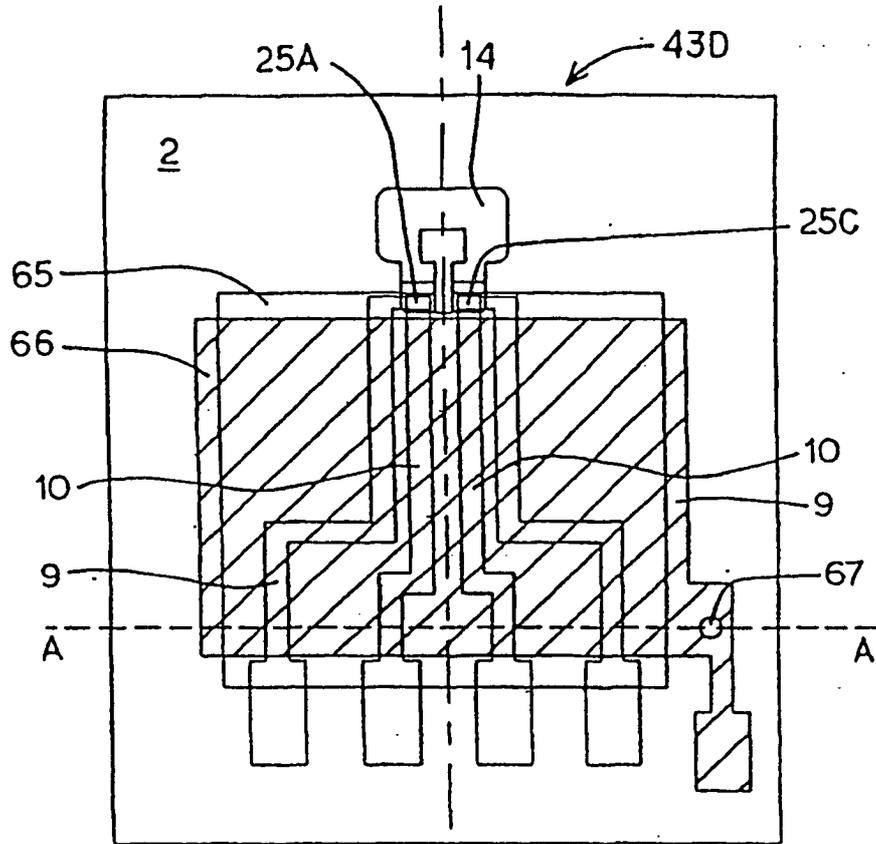


FIG. 19(b)

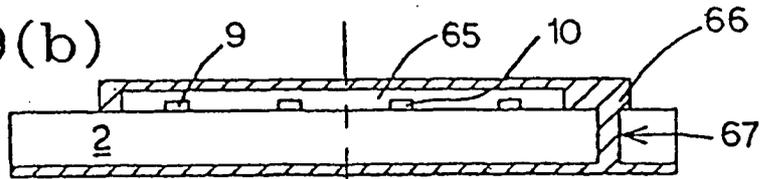


FIG. 19(c)

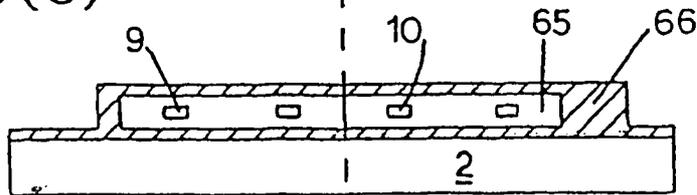


FIG. 19(d)

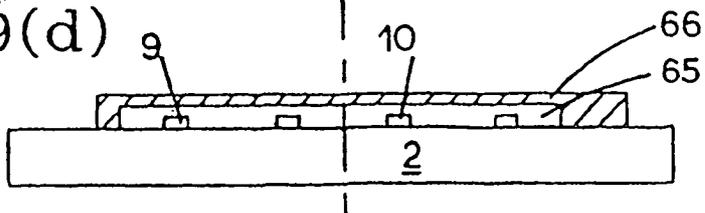


FIG. 20(a)

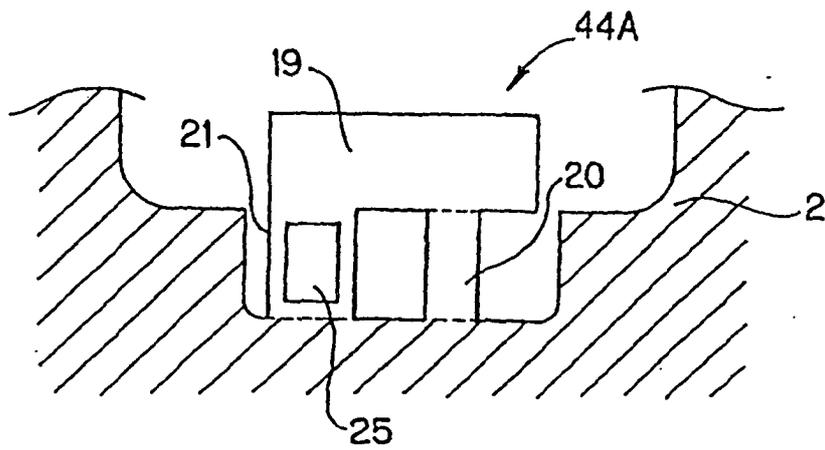


FIG. 20(b)

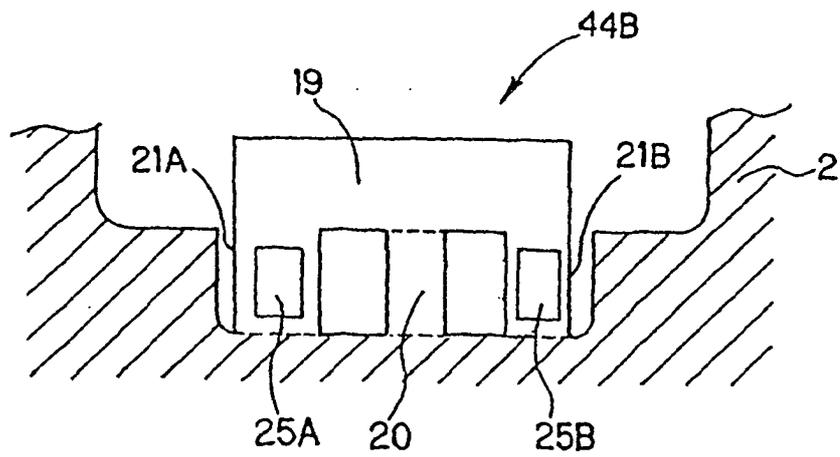


FIG. 21(a)

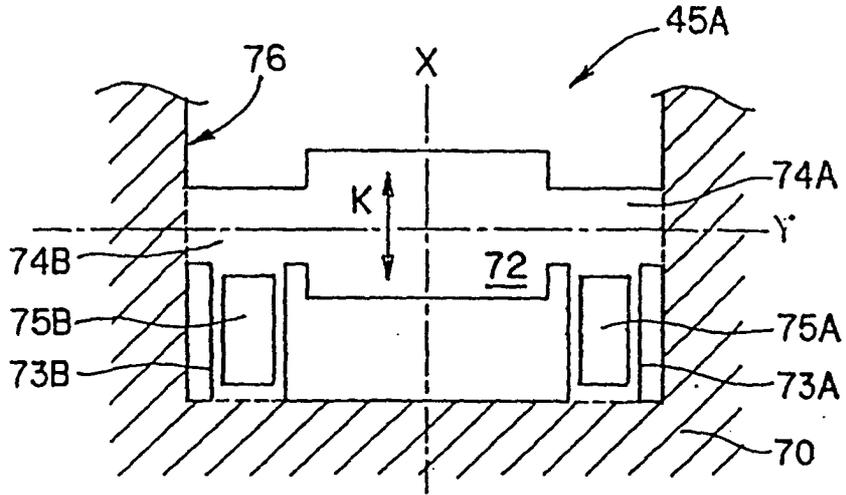


FIG. 21(b)

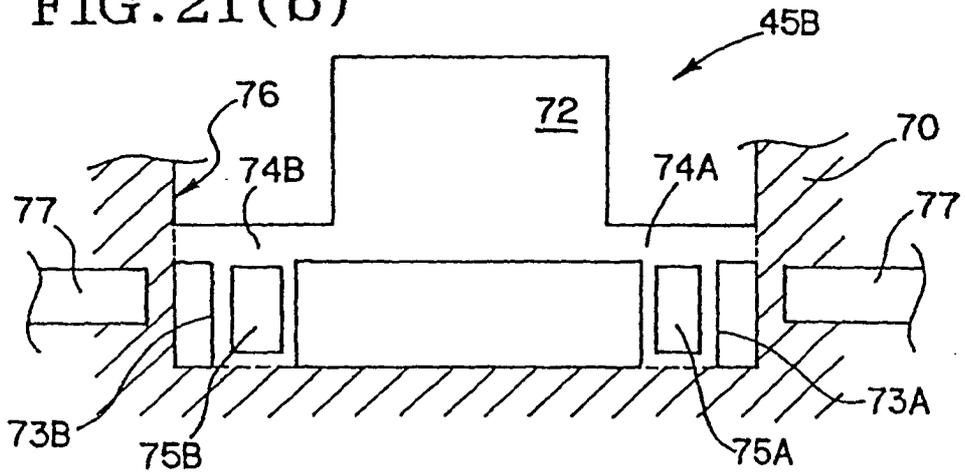


FIG. 21(c)

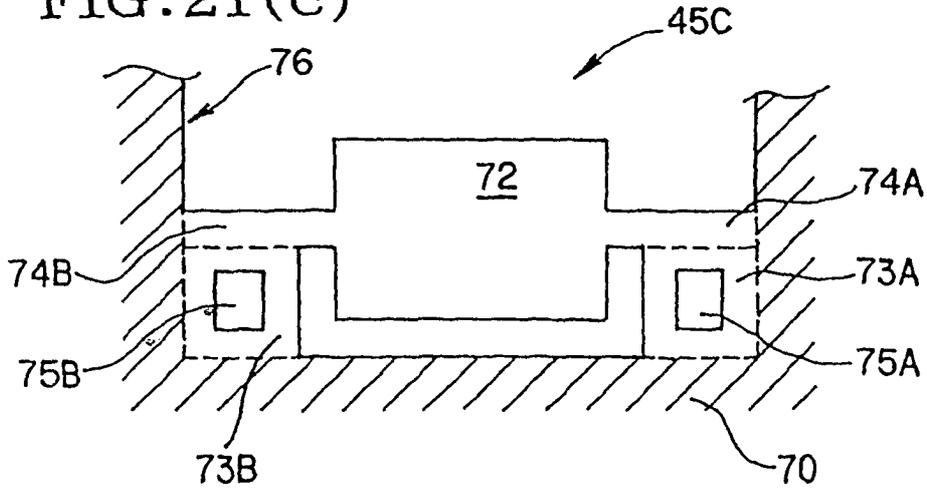


FIG. 22(a)

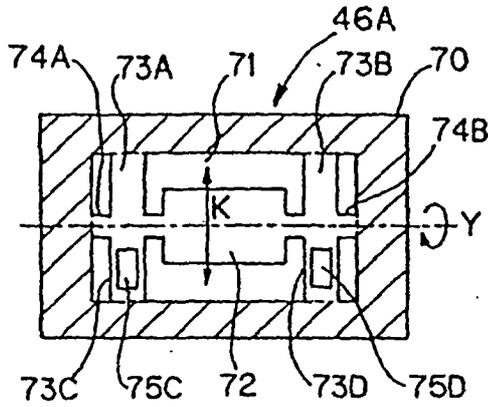


FIG. 22(b)

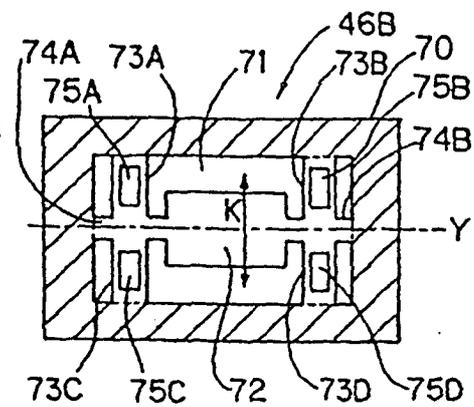


FIG. 22(c)

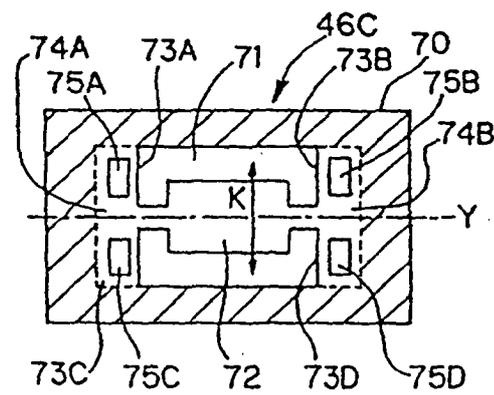


FIG. 22(d)

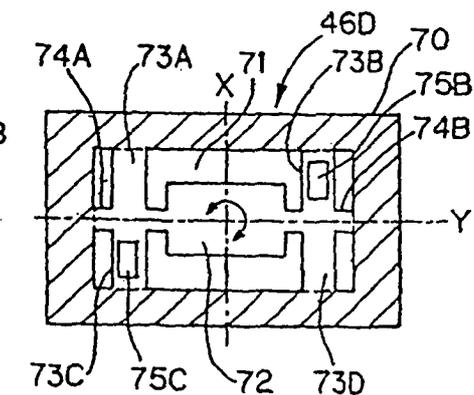


FIG. 22(e)

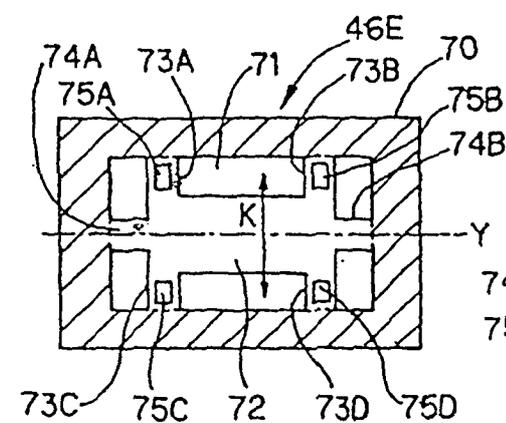


FIG. 22(f)

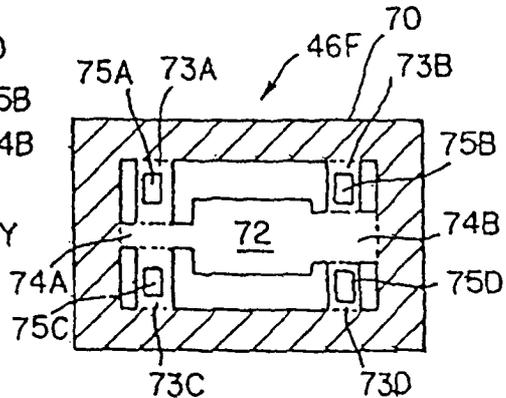


FIG. 23

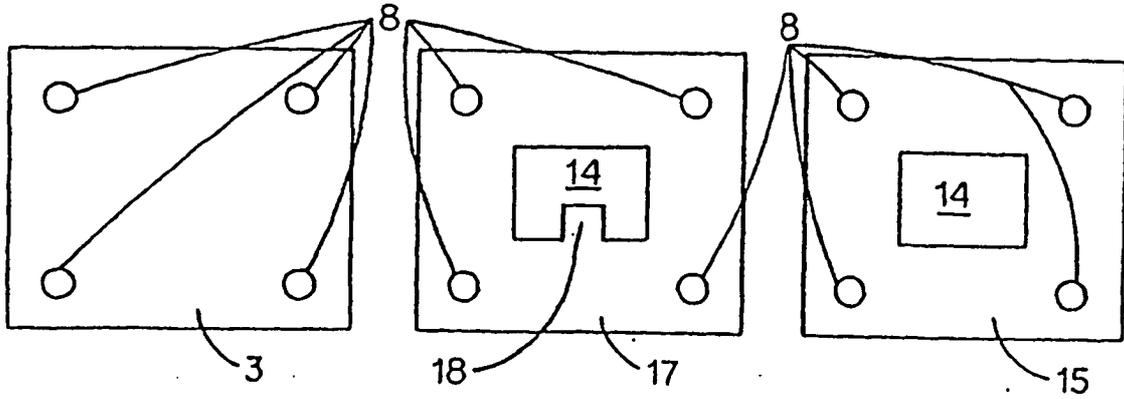


FIG. 24

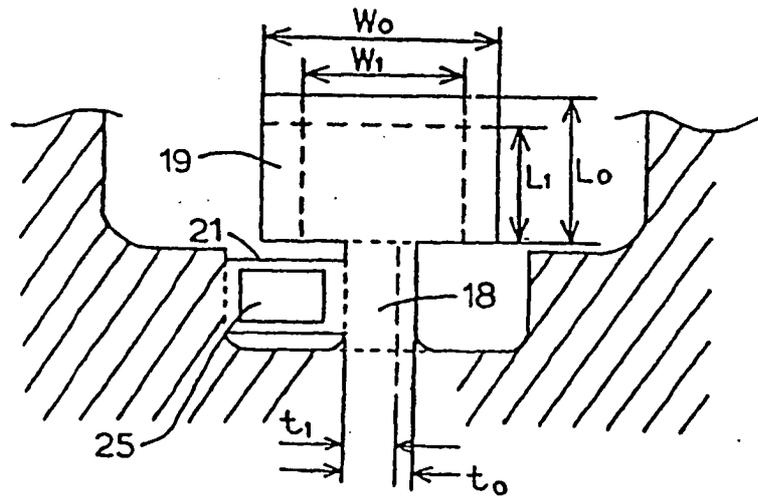


FIG. 25

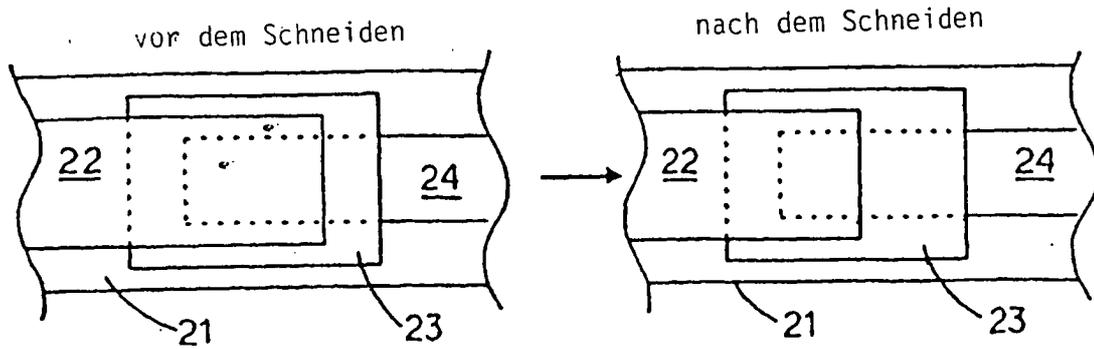


FIG. 26

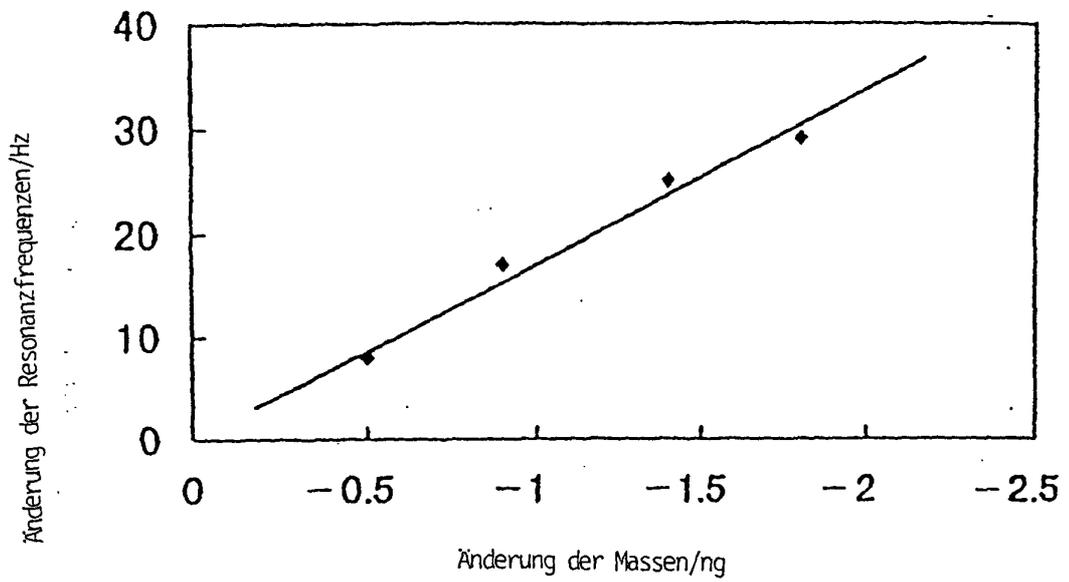


FIG. 27

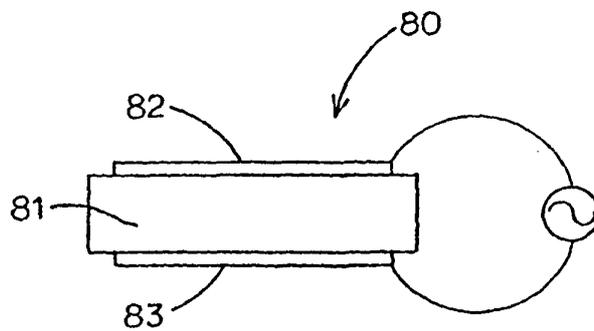


FIG. 28

