

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

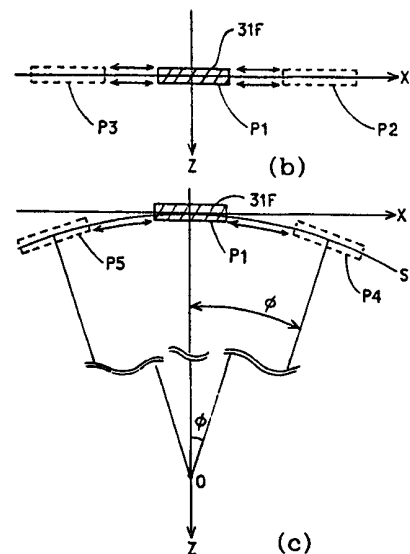
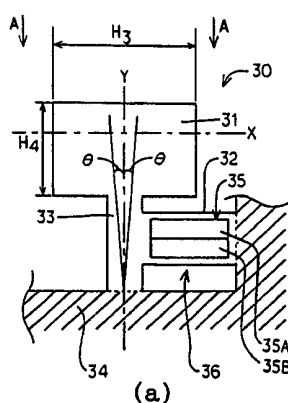
(51) 国際特許分類6 G01G 3/13, 3/16, G01N 5/02	A1	(11) 国際公開番号 WO99/13300	(43) 国際公開日 1999年3月18日(18.03.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03969	(22) 国際出願日 1998年9月4日(04.09.98)	(30) 優先権データ 特願平9/243073 1997年9月8日(08.09.97) JP 特願平9/361368 1997年12月26日(26.12.97) JP	(74) 代理人 弁理士 渡邊一平(WATANABE, Kazuhira) 〒111-0053 東京都台東区浅草橋3丁目20番18号 第8菊星タワービル3階 Tokyo, (JP)
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.)(JP/JP] 〒467-8530 愛知県名古屋瑞穂区須田町2番56号 Aichi, (JP)	(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 武内幸久(TAKEUCHI, Yukihiisa)(JP/JP] 〒470-0204 愛知県西加茂郡三好町三好丘桜1丁目5番地4号 Aichi, (JP) 大西孝生(OHNISHI, Takao)(JP/JP] 〒452-0015 愛知県西春日井郡西枇杷島町泉町40 サンコート西枇杷島2-401 Aichi, (JP) 木村浩二(KIMURA, Koji)(JP/JP] 〒457-0022 愛知県名古屋南区明円町331番地 グランドール明円401号 Aichi, (JP)	(81) 指定国 CN, JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	添付公開書類 国際調査報告書

(54)Title: MASS SENSOR AND MASS DETECTION METHOD

(54)発明の名称 質量センサおよび質量検出方法

(57) Abstract

A mass sensor (30) comprising a coupling board (33) and a diaphragm (31) bonded to each other on the side faces thereof, a detection plate (32) bonded to the coupling board (33) on the side faces thereof in the direction orthogonal to the bonding direction of the diaphragm (31) and the coupling board (33), and a piezoelectric element (35) comprising a piezoelectric film and an electrode arranged at least on one planar surface of the detection plate (32), wherein a resonance section comprising the diaphragm (31), the detection plate (32), the coupling board (33) and the piezoelectric element (35) is bonded to a sensor substrate (34). Variation in the mass of the diaphragm (31) is measured by measuring variation in the resonance frequency at the resonance section due to variation in the mass of the diaphragm (31). Micromass on the nanogram order of a microorganism, e.g. a bacteria or a virus, a chemical substance or a deposition film can be measured easily and accurately.



(57)要約

連結板(33)と振動板(31)とが互いの側面において接合され、検出板(32)が、振動板(31)と連結板(33)との接合方向と直交する方向において、連結板(33)と互いの側面において接合され、検出板(32)の少なくとも一方の平板面上には圧電膜と電極からなる圧電素子(35)が配設され、振動板(31)、検出板(32)、連結板(33)および圧電素子(35)よりなる共振部がセンサ基板(34)に接合されてなる質量センサ(30)である。振動板(31)の質量変化にともなう共振部の共振周波数の変化を測定することにより、振動板(31)の質量変化を測定する。細菌、ウイルス等の微生物や化学物質、蒸着膜厚等のナノグラムオーダーの微小質量の測定を、簡単に、かつ正確に行うことができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ			TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZW	ジンバブエ
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノルウェー		
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェコ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KR	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		

- 1 -

明 細 書

質量センサおよび質量検出方法

技術分野

本発明は、ナノグラム (10^{-9} g) オーダーの微小質量を測定する質量センサ、例えば、細菌、ウィルス、原虫等の微生物を検出するための質量センサ（免疫センサ）や、水分や有毒物質あるいは味覚成分等の特定化学物質の検出に使用される質量センサ（水分計、ガスセンサ、味覚センサ）と質量検出方法に関し、特に、これら被検出体とのみ反応して被検出体を捕捉する捕捉物質を塗布した振動板の質量変化に基づく共振周波数の変化を測定することで、被検出体の質量を測定する目的に好適に使用される質量センサおよび質量検出方法に関する。

また、本発明の質量センサは、上述のように、振動板に塗布された捕捉物質の質量変化を測定する、すなわち、間接的な振動板の質量変化を測定することに限られず、振動板自体の質量変化に基づく共振周波数の変化を検知することも、当然可能であるため、蒸着膜厚計や露点計としても用いられる。

さらに、直接的あるいは間接的に振動板の質量を変化させることがなくとも、共振周波数の変化を起こさせる環境に置く、すなわち、真空度や粘性、温度等の異なる気体や液体等の媒体環境下に置くことによって、真空計や粘性計、温度センサとしても使用することができる。

このように、本発明の質量センサは、その実施の形態により、種々の用途があるが、振動板および振動板を含む共振部の共振周波数の変化を測定するという基本的な測定原理は同じものである。

背景技術

近年の科学技術、医療技術の進歩と、抗生物質や化学薬品等の新たに開発される薬品により、これまで治療が困難とされていた種々の病気についての治療が可能となってきている。一方で、こうした医療文明に慣れた特に先進国においては、人間の免疫抵抗力が低下し、従来、人間に危害を及ぼすことのなかった物質や微

生物により種々の病気が発病するようになってきている。

病気と呼ばれるもののうち、細菌やウィルス、原虫といった微生物に起因する病気については、これらの病原体を見つけ出し、それがいかなる種類のものかを明らかにし、さらに、どのような薬剤に感受性があるかを決定する微生物検査が、病気の治療に必要不可欠である。

現在では病状からおおよその原因、病原体の種類を推測することが可能であるため、微生物検査の第一段階では、病気の種類によって血液等の種々の検体を選ばれ、検体中に存在する病原体を形態学的にあるいは、検体中に存在する抗原あるいは病原体の特異代謝産物（毒素や酵素等）を免疫化学的に確認している。この過程は、細菌検査で行われている塗抹、染色、鏡検の作業であり、最近はこの段階で蛍光抗体染色や酵素抗体染色等により、即時同定が可能となってきている。

また、近年、ウィルスの検出に用いられているウィルス血清検査法は、患者の血清中に出現する特異免疫抗体を証明する方法であり、例えば、試験血液へ補体を加えることによって、補体とその血液中の抗原もしくは抗体と反応して抗原もしくは抗体の細胞膜へ付着するか、あるいは細胞膜を破壊することにより抗体もしくは抗原の存在を決定する補体結合反応が例として挙げられる。

病状が従来に見られない新たなもので、その病気がこれまでに未発見な新たな病原体によるものである極めて特殊な場合を除けば、微生物等による病気の治療においては、上述した微生物検査により、早期に病原体を発見することで、適当な処置を施すことができ、病状が悪化することなく病人を回復に導くことが可能となる。

しかしながら、上述した塗抹、染色、鏡検等の方法では、微生物の量により検出が困難な場合が多々あり、必要に応じて検体を寒天培地等で培養するといった時間を要する処理を行う必要がある。また、ウィルス血清検査法においては、原則として、急性期と回復期の両者について測定し、その抗体量の動きから判定する必要がある、早期診断という観点から時間的な問題がある。

ところで、上述した補体結合反応にみられるように、被検出体たる特定の微生物とのみ反応して被検出体を捕捉する捕捉物質と被検出体が反応した場合には、

非常に小さいが被検出体の質量の分だけ捕捉物質の質量が増加する。このような質量増加は、特定のガス物質や臭い成分等の化学物質とその捕捉物質との関係においても同様であり、さらに、質量変化のない基板自体を捕捉物質と見立てて、その基板に特定物質が析出、付加等した場合にもあてはまる。反対に、捕捉物質等に捕捉されていた被検出体が脱離するような反応が起こった場合には、捕捉物質等の質量が微小に減少することとなる。

このような微小質量の変化を検出する方法として、例えば、米国特許 No. 4 789 804 には、図 27 に示されるように、水晶振動子 81 の対向する面に電極 82・83 を形成し、この電極 82・83 に何らかの物質が外部から付着したときの電極面の面方向の水晶振動子 81 の厚みすべり振動の共振周波数の変化を利用して、その質量変化を検出する質量センサ 80 が開示されている。そして、このような質量センサ 80 は、基本的に、水晶振動子 81 の質量負荷の変化に基づく共振周波数の変化を測定するものであるため、例えば、蒸着膜の膜厚や膜成長を計測するための蒸着膜厚計あるいは水分計等としても使用が可能と考えられる。

しかし、このような水晶振動子 81 を用いた場合には、外部からの物質の付着部と共振周波数の検出部とは同じ部位となるため、例えば、検体の温度あるいは温度変化により質量センサ 80 自体の圧電特性が変化した場合には、共振周波数が一定せず、また、検体が導電性溶液の場合には質量センサ 80 をそのまま検体に浸漬すると、電極間の短絡を引き起こすために常に、樹脂コーティング等の絶縁処理を施さなければならないといった不具合が生ずる。

発明の開示

本発明は上述した微小質量センサの問題点に鑑みてなされたものであり、本発明によれば、以下に記す第 1 から第 6 の質量センサが提供される。

まず、第 1 の質量センサとして、検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、少なくとも 1 枚の薄板状の振動板の一側面が、当該振動板の平板面と当該検出板の平板面とが互いに直交するように当該検出板の一側面に接合され、当該検出板の他の一側面がセンサ基板に接合されて、当該

検出板と当該振動板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

また、第2の質量センサとして、連結板と振動板とが互いの側面において接合され、検出板が、当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において、当該連結板と互いの側面において接合され、当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、当該連結板と当該検出板の少なくとも一部の側面が、センサ基板側面に接合されて、当該振動板と当該連結板と当該検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

さらに、第3の質量センサとして、連結板と振動板とが互いの側面において接合され、2枚の検出板が、当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において、当該連結板を挟持するように当該連結板と互いの側面において接合され、少なくとも一方の当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、当該連結板と当該各検出板の少なくとも一部の側面が、センサ基板の側面に接合されて、当該振動板と当該連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

ここで、第3の質量センサにおいては、連結板を介して対向する各検出板において、一方の検出板の少なくとも一方の平板面に圧電素子が配設され、他方の検出板には、この他方の検出板と当該連結板との接合方向に垂直な方向に1以上、好ましくは複数のスリットが形成されていることが好ましい。また、連結板を介して対向する各検出板の少なくとも同方向の平板面にそれぞれ圧電素子が配設され、一方の検出板に配設された圧電素子における圧電膜の分極方向と、他方の検出板に配設された圧電素子における圧電膜の分極方向とが、互いに連結板に対して逆向きとすることが好ましい。

次に、第4の質量センサとして、直接には接合されない連結板と検出板とが、振動板との接合方向が互いに平行となるように、当該振動板とそれぞれ側面において接合され、当該連結板および当該検出板がセンサ基板の一側面に接合され、当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され

て、当該振動板と当該連結板と当該検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

第5の質量センサとして、2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた凹部の側部側面の間に跨設され、2枚の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、それぞれ当該各連結板と当該凹部の底部側面に跨設され、当該各検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設されて、当該振動板と当該各連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

ここで凹部とは、対向する側面とそれら側面を接続する底部側面とからなるものをいうが、本発明においては、必ずしも底部側面は一平面である必要はなく、底部側面に窪みを設けたり、あるいは逆に突起部を設ける等、振動板の振動や共振周波数の測定に影響を及ぼさない限りにおいて、種々に形状を変更することができるものをいう。

さらに、第6の質量センサとして、2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた貫通孔に跨設され、少なくとも複数の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、当該各連結板と当該貫通孔の側面との間もしくは当該振動板と当該貫通孔の側面との間に跨設され、少なくとも1枚の当該各検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設されて、当該振動板と当該各連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ、が提供される。

ここで第6の質量センサにあつては、連結板もしくは振動板を介して対向する各対の検出板において、一方の検出板の少なくとも一方の平板面に圧電素子を配設した場合には、他方の検出板にはこの他方の検出板と連結板との接合方向に垂直な方向に1以上、好ましくは複数のスリットを形成することが好ましい。また、連結板もしくは振動板を介して対向する各検出板の少なくとも同方向の平板面にそれぞれ圧電素子を配設した場合には、一方の検出板に配設された圧電素子における圧電膜の分極方向と、他方の検出板に配設された圧電素子における圧電膜の

分極方向とを、互いに連結板もしくは振動板に対して逆向きとすることが好ましい。

これら第2～第6の質量センサにおいては、連結板と振動板および検出板がお互いに接合されるときに同一板平面を形成する、すなわち、これらの部材がほぼ同一の厚みを有することが好ましい。また、検出板が、連結板およびセンサ基板により形成される凹部に嵌合され、接合されている構造とすることも好ましい。このため、振動板と連結板および検出板が、1枚の振動プレートから一体的に形成され、センサ基板が振動プレートとベースプレートを積層して、一体的に形成されていることが好ましい。

また、連結板における一方の平板面もしくは両平板面に、バネ板が貼合され、そのバネ板が、センサ基板もしくはバネ板補強部に接合されていることが好ましい。このとき、このバネ板が、接着剤等を用いて貼合した構造ではなく、振動プレートとベースプレートとの間に嵌挿されて一体化される中間プレートと一体的に形成され、もしくは、振動プレートと一体的に形成されるバネ板補強部と一体的に形成され、さらに、連結板とも一体的に形成されていることが好ましい。なお、このようなバネ板は、連結板が複数枚あるときは、連結板とバネ板が接合された形状が同じになるようにすることが好ましい。また、バネ板に貼合され、かつ、センサ基板の側面に接合された補強板を設けることも好ましく、ここで、補強板は、バネ板およびセンサ基板と一体的に形成されていることが好ましい。

次に、上述した本発明に係る全ての質量センサは、振動板に被検出体とのみ反応して被検出体を捕捉する捕捉物質を塗布し、捕捉物質に被検出体が捕捉されていない状態、および捕捉物質に被検出体が捕捉された後の状態における共振部の共振周波数の変化を圧電素子により測定することにより、捕捉された被検出体の質量を測定する用途に好適に使用される。

そして、これらの質量センサには、共振部がセンサ基板に少なくとも2箇所以上設けられ、1つの共振部における振動板には捕捉物質を塗布せずに参照用の共振部とすることが好ましく、他方、各共振部に種類の異なる捕捉物質を塗布する、すなわち、1つのセンサ内に2種類以上の異なる捕捉物質が別々に塗布された複数の共振部を設けることもまた好ましい。ここで、共振部を2箇所以上設けて各

共振部からの信号を積算することによりダイナミックレンジを大きくすることもできる。そして、このような共振部はセンサ基板内部に任意形状の貫通孔を形成し、この貫通孔の内周面に形成してもよい。

また、1つの圧電素子を2分割し、一方を駆動用として用い、他方を検出用として用いると、検出感度を高めることができ好ましい。さらに、圧電素子を1つの共振部に対して2箇所配設し、一方の圧電素子を駆動用として用い、他方の圧電素子を検出用として用いることにより検出感度を高めることも好ましい。したがって、1つの共振部に対して2箇所配設された圧電素子のそれぞれを、さらに2分割してもよく、この場合は、駆動用と検出用とを組み合わせた圧電素子が、2箇所に配設されることとなる。

さらに、検体が導電性溶液である場合には、質量センサを浸漬させた場合に、振動板はその溶液に浸漬されるが圧電素子はその溶液に浸漬されないように、センサ基板上の振動板と圧電素子との中間位置に一对の電極からなる位置センサを設けると、質量センサを好適な位置に設置できるため、好ましい。また、この圧電素子および圧電素子の電極とこの電極に接続する電極リードを樹脂あるいはガラス等からなる絶縁コーティング層により被覆することで、検体が導電性溶液である場合でも、電極等の短絡を防止することも可能である。さらに、絶縁コーティング層表面に、導電性部材からなるシールド層を形成すると、外部からの電磁波等のノイズを減少させることが可能となり、好ましい。

上述した本発明の質量センサを構成するセンサ基板、振動板、連結板、検出板、バネ板は、安定化ジルコニアあるいは部分安定化ジルコニアを用いて一体的に形成されていることが好ましく、圧電素子の圧電膜としては、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料が好適に使用される。また、振動板、連結板、検出板もしくはバネ板の形状をレーザ加工や機械加工によりトリミングして形状を調整することにより、共振部の共振周波数の調整や共振部の感度の調節、振動の検出に不要な他の振動モードの抑制が行われる。さらに、圧電素子における電極を、レーザ加工もしくは機械加工して、圧電素子の有効電極面積を調整することも、好ましい。

なお、本願における圧電という語意は、圧電作用ならびに電歪作用を含むもの

とし、例えば、圧電素子と称するものには電歪素子が含まれ、また、圧電セラミックスには電歪セラミックスも含まれることを意味する。

次に、本発明によれば、上述した種々の質量センサの構造に応じた質量検出方法が提供され、まず、少なくとも1枚の薄板状の振動板の一側面が、当該振動板の平板面を検出板の圧電素子を配した平板面に直交するようにして、当該検出板の一側面に接合され、当該検出板の他の一側面がセンサ基板に接合されてなる質量センサにおいて、当該振動板が、当該振動板と当該検出板との接合面を固定面として、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直かつ当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れをともないながら振り子状に振動する ϕ モード揺れ振動、あるいは、当該振動板の当該垂直軸方向における振動、の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を、当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法、が提供される。

このような質量センサの質量検出方法は、その構成から上述した本発明による第1の質量センサにおける質量検出方法として好適に採用される。

また、本発明によれば、連結板と振動板とが互いの側面において接合され、少なくとも1枚の検出板が当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において当該連結板と互いの側面において接合され、当該連結板と当該検出板の少なくとも一部の側面が当該センサ基板側面の一部に接合された、少なくとも1個以上の圧電素子を有する質量センサにおいて、当該振動板が、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直かつ当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動する ϕ モード揺れ振動、の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法、が提供される。

このような質量センサの質量検出方法は、その構成から上述した本発明による

第2および第3の質量センサにおける質量検出方法として好適に採用される。

さらに、本発明によれば、2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた凹部の側部側面もしくは貫通孔に跨設され、少なくとも複数の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、当該各連結板と当該凹部の底部側面もしくは当該貫通孔の側面との間あるいは当該振動板と当該凹部の底部側面もしくは当該貫通孔の側面との間に跨設されてなる少なくとも1個の圧電素子を有する質量センサにおいて、当該振動板が、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れをとめないながら振り子状に振動する ϕ モード揺れ振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直な方向であって、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に平行に振動する揺れ振動、または、当該振動板の平板面内における回転振動、の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法、が提供される。

このような質量センサの質量検出方法は、その構成から上述した本発明による第5および第6の質量センサにおける質量検出方法として好適に採用されるが、検出板が連結板としての機能をも有する構造である第4の質量センサにおいても、好適に用いることができる。

上述の通り、本発明の質量センサによれば、質量センサ内に設けられた共振部の共振周波数の変化という具体的な数値により、確実にしかも短時間の間に振動板に生じた微小質量の変化を知ることができ、さらに、測定操作が容易であるという利点を有している。したがって、共振部の共振周波数を変化させる環境下におくことによって、種々の物理量や化学量を測定することが可能である。例えば、振動板の直接の質量変化を利用する蒸着膜厚計や露点計、振動板の置かれた真空度や粘性あるいは温度といった環境を利用する真空計や粘性計あるいは温度センサ、そして、特に、検体中における微生物や化学物質等の被検出体と選択的に反

応する捕捉物質を振動板に塗布し、その質量変化を利用した被検出体の存在の有無とその質量の測定に好適に用いることができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の質量センサの一実施形態を示し、(a)～(d)はそれぞれ振動板の位置と配置数を変えた実施形態の斜視図である。

図 2 は、本発明の質量センサに配設される圧電素子の一実施形態を示す斜視図である。

図 3 は、本発明の質量センサに配設される圧電素子の別の実施形態を示す斜視図である。

図 4 は、本発明の質量センサに配設される圧電素子のさらに別の実施形態を示す斜視図である。

図 5 は、本発明の質量センサの別の実施形態を示し、(a)は平面図であり、(b)は θ モード揺れ振動の説明図であり、(c)は ϕ モード揺れ振動の説明図である。

図 6 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 7 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a)は平面図であり、(b)～(e)は断面図である。

図 8 は、本発明の質量センサの駆動に関する説明図である。

図 9 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a)、(b)は平面図であり、(c)は断面図である。

図 10 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 11 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態の外観を示す平面図である。

図 12 は、図 11 記載の質量センサにおけるセンサ部の構造を示す平面図である。

図 13 は、図 12 記載の質量センサにおけるセンサ部の構造を示す斜視図である。

図 14 は、図 12 記載の質量センサにおけるセンサ部の構造を示す別の斜視図

である。

図 1 5 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 1 6 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 1 7 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) は平面図であり、(b) は断面図である。

図 1 8 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 1 9 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) は平面図であり、(b) ～ (d) は断面図である。

図 2 0 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 2 1 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 2 2 は、本発明の質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) ～ (d) および (f) は検出板を連結板に接合した種々の構造を示した平面図であり、(e) は検出板を振動板に接続した構造を示す平面図である。

図 2 3 は、本発明の質量センサの作製に用いられるセンサ基板用のグリーンシート of 加工例を示す平面図である。

図 2 4 は、本発明の質量センサの作製の際に調整することが好ましい寸法形状を示す説明図である。

図 2 5 は、本発明の質量センサの圧電素子の加工方法の一例を示す説明図である。

図 2 6 は、本発明の質量センサの作動特性を示す説明図である。

図 2 7 は、従来の微小質量センサの基本構造を示す断面図である。

図 2 8 は、従来の水晶摩擦真空計の水晶振動子の構造を示す斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態について、特に、特定の被検出体とのみ反応してその被検出体を捕捉する捕捉物質を振動板に塗布して用いる質量センサを中心に、図面を参照しながら説明する。

但し、本発明には上述したように他に多くの用途があるため、本発明が以下の説明に限定されるものではないことはいうまでもない。

図1(a)は本発明の質量センサ50Aの一実施形態を表す斜視図であり、検出板51の少なくとも一方の平板面上には、第一電極52、圧電膜53、第二電極54からなる圧電素子55が設けられている。なお、圧電素子55は、検出板51の両平面に設けてもよく、第一および第二電極52・54は、周波数測定機器等に接続するために使用される電極リード(図示せず)と接続される。

そして、薄板状の振動板56が、振動板56の平板面と検出板51の平板面とが互いに直交するように検出板51の一側面に接合される。ここで、検出板51の側面とは、圧電素子55が配設される検出板51の平板面と垂直な平面、すなわち厚み方向の平面をいい、一側面とはその側面の一部をいう。さらに検出板51の他の側面、ここでは振動板56が接合された反対側の側面がセンサ基板49に接合されて、振動板56と検出板51および圧電素子55から共振部が形成され、質量センサ50Aが形成されている。

ここで、振動板とは主に質量変化を起こさせる場もしくは受ける場であって、後述する種々のモードで振動する要素をいい、連結板とは振動板とセンサ基板ならびに検出板とを連結する要素をいい、検出板とは振動板の動きによって歪みを生じ、表面に配設した圧電素子等の検知素子にその歪みを伝達し、もしくはその逆に圧電素子等の駆動素子が発生する歪みないし振動を振動板に伝達する要素をいうものとする。また、センサ基板は、共振部を保持すると共に、測定装置へ取り付けるための種々の電極端子を配設し、実際の使用においてハンドリングに供される要素をいう。

このような質量センサ50Aの使用方法として、例えば、振動板56に被検出体とのみ反応してその被検出体を捕捉する捕捉物質を塗布し、この振動板56を検体たる液体に浸漬し、もしくは特定ガス等の気体雰囲気中にさらして、圧電素子55により質量センサ50Aの共振周波数の変化を測定する方法、もしくは振動板56を検体たる液体に浸漬させた後に気体中で振動板56を乾燥させて共振周波数を測定する方法等が挙げられる。なお、このような被検出体の一例としては病気の原因となる抗原を、また、捕捉物質としてはこの抗原に対する抗体をそれぞれ挙げることができる。

ここで、質量センサ50Aの共振周波数は、共振部の質量、特に振動板56の

質量に依存して変化する。すなわち、振動板 5 6 に被検出体が捕捉されていない状態での共振部の共振周波数と、被検出体が捕捉された後での共振部の共振周波数とは、捕捉された被検出体の質量の分に依存して異なる値を示す。したがって、この共振周波数の変化を圧電素子 5 5 を用いて測定することにより、振動板 5 6 に塗布された捕捉物質に捕捉された被検出体の質量を測定することが可能となる。

これと同じ原理により、質量センサ 5 0 A は、振動板 5 6 の質量が初期状態から減少するような場合において、その減少量を測定するために使用することも可能である。例えば、塗布した捕捉物質が何らかの原因で剥離したときや、振動板 5 6 の材料自体の微小腐食や特定溶液に対する微小溶解量を調べる場合、あるいは振動板 5 6 に捕捉物質ではなく特定の化学物質を塗布して、その化学物質の蒸発、溶解等による変化量を測定する目的にも好適に使用することができる。

このような質量センサ 5 0 A の構造は、簡単には、少なくとも 1 枚の薄板状の振動板 5 6 の一側面が、振動板 5 6 の平板面を検出板 5 1 の圧電素子 5 5 を配した平板面に直交するようにして、検出板 5 1 の一側面に接合され、検出板 5 1 の他の一側面がセンサ基板 4 9 に接合されてなる、と表現することができるが、ここで、質量センサ 5 0 A において共振周波数の測定に用いられる振動板の振動モードとしては、図 1 (a) 中の振動板 5 6 と検出板 5 1 との接合面を固定面として、振動板 5 6 がこの固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸 (Y 軸) を中心として、振動板 5 6 の側面に垂直な方向であって、かつ、Y 軸に垂直な方向、すなわち X 軸方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動 (以下、「 θ モード」という)、もしくは、Y 軸を中心として、振動板 5 6 の側面に垂直かつ Y 軸に垂直な方向、すなわち X 軸方向への振り子状の振動であって、しかも、Y 軸から離れるにしたがって振動板 5 6 の側面に平行な方向 (Z 軸方向) へ大きくなる揺れを伴う ϕ モード揺れ振動 (以下、「 ϕ モード」という)、あるいは、Y 軸方向における振動のうち、少なくともいずれかの振動に基づく共振部の共振周波数を測定することが好ましい。

なお、これらの各種の変位モードは、振動板 5 6 の変位方向がそれぞれ前述した方向に支配的であることを意味しているものであって、記された方向以外の方向成分を完全に排除しているものではない。このことは、以下、種々の実施の形

態について説明する際に、変位モードについて言及する場合にも同様に言えることである。

ところで、これら θ モード、 ϕ モードについては、後述する質量センサ30と同等であるので、質量センサ30に関する説明において詳細に解説することとするが、これらの振動モードは、振動板56の側面を利用した剛体モードであることから、特に、振動板56もしくは質量センサ50A全体を液体に浸漬して用いる場合に好適に用いられる。

また、質量センサ50Aを気体中で用いる場合には上記の振動モードに加え、さらに図1(a)中のZ軸方向への屈曲が支配的である曲げモードも有効に用いることができる。また、曲げモードにおいては、液体中での使用にあっては液体からの粘性、密度の影響が上記 θ モード、 ϕ モードに比べて大きい、共振周波数を測定して質量変化を知ることができる。こうして、振動板56のこれら上述の振動に起因して圧電膜53に誘発される電圧を検出することにより、振動板56の共振周波数変化、すなわち質量変化を知ることが可能となる。

さて、上述した質量センサ50Aの作動原理を用い、図1(a)と同様に機能する質量センサの実施形態として、図1(b)～(d)に示すものを例示することができる。図1(b)に示した質量センサ50Bは、図1(a)における1枚の振動板56を2枚平行に検出板51の一側面に取り付けたものであり、このように振動板56を複数枚配設することで、ダイナミックレンジを向上させることが可能となる。

なお、複数の振動板56と検出板51との接合位置は、検出板51におけるセンサ基板49と検出板51との接合側面以外の側面であれば特に限定されない。また、少なくとも1枚の振動板56が配設されていればよいので、例えば、図1(c)に示す質量センサ50Cのように、振動板56を検出板51の側面のうち検出板51とセンサ基板49との接合側面に垂直な側面において接合してもよく、さらに、図1(d)に示す質量センサ50Dのように対向する一对の側面に各1計2枚の振動板56を設けて、質量センサ50Bと同様にダイナミックレンジの向上を図ることもできる。

このとき、振動板56の検出板51との接続位置を、検出板51のセンサ基板

49からなるべく離れた端部近傍とすると、 θ モード、 ϕ モードのQ値（尖鋭値、以下、「Q値」と記す）を大きくとることができる、すなわち、振動板56の振幅を大きくとることができ、検出感度が向上するので、好ましい。なお、上記図1(a)～図1(d)の質量センサ50A～50Dの実施形態を任意に組み合わせることができることはいうまでもない。

上述した質量センサ50A～50Dに配設される圧電素子55の形態としては、図2に示す第一電極52、圧電膜53、第二電極54が層状に形成された積層型が代表的であるが、図3に示すような検出板57上に圧電膜58を配し、圧電膜58上部に第一電極59と第二電極60とが、一定幅の隙間部61を形成した櫛型構造を有する圧電素子62Aを用いることもできる。なお、図3における第一電極59と第二電極60は、検出板57と圧電膜58との接続面の間に形成されてもかまわない。さらに、図4に示すように、櫛型の第一電極59と第二電極60との間に圧電膜58を埋設するようにした圧電素子62Bも好適に用いられる。

ここで、図3および図4に示した櫛型電極を用いる場合には、ピッチ63を小さくすることで、測定感度を上げることが可能となる。このような図2～図4記載の圧電素子は、後述する本発明の質量センサ全てに適用することができる。

さて、質量センサ50A～50Dを用いて、上述したように質量測定等を行うことが可能であるが、このような構造では、振動板56の面積が小さくならざるを得ず、このため捕捉物質を塗布する面積が小さくなり、また、蒸着膜厚を測定するときには質量変化が小さい等、検出感度を高める点で限界がある。さらに、振動板56に反りや湾曲が生ずる可能性があり、加えて、振動板56のみが振動するモードが強く現れるおそれもある。そこで、図5(a)に示す構造に変形して用いると、これらの問題が解決され、好ましい。

すなわち、図5(a)は本発明の質量センサの別の実施形態を示す平面図であり、質量センサ30においては、振動板31と連結板33とが互いの側面において接合され、検出板32が振動板31と連結板33との接合方向であるY軸方向と直交する方向、すなわちX軸方向において、連結板33と互いの側面において接合されている。そして、検出板32の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部には圧電素子35が配設されて、検出部36が構成され、振動板31が、セ

ンサ基板 3 4 と直接に接合されることなく、連結板 3 3 と検出板 3 2 の少なくとも一部の側面が、センサ基板 3 4 側面に接合されている。こうして、振動板 3 1 と連結板 3 3 と検出板 3 2 および圧電素子 3 5 から共振部が形成されて、質量センサ 3 0 が形成されている。

ここで、振動板 3 1 と連結板 3 3 および検出板 3 2 は、必ずしも同一の厚みを有することを必要としないが、好ましくは、同一平板面を形成するように同じ厚みを有し、さらに好ましくは一体的に形成される。そして、このような振動板 3 1 と連結板 3 3 および検出板 3 2 の厚みや接合に関する条件は、後述する全ての本発明に係る質量センサにおいても同様に適用される。さらに、連結板 3 3 および検出板 3 2 の側面は、センサ基板 3 4 と好ましくは一体的に形成される。

このような質量センサ 3 0 の構造は、簡単には、連結板 3 3 と振動板 3 1 とが互いの側面において接合され、少なくとも 1 枚の検出板 3 2 が、当振動板 3 1 と連結板 3 3 との接合方向と直交する方向において、連結板 3 3 と互いの側面において接合され、連結板 3 3 と検出板 3 2 の少なくとも一部の側面が、センサ基板 3 4 側面の一部に接合された、少なくとも 1 個以上の圧電素子を有する質量センサ、と表現することができ、質量センサ 3 0 においては、振動板 3 1 が X 軸と Y 軸の両方に垂直な Z 軸方向（図示せず）に屈曲するように振動する曲げモード、あるいは Y 軸を基軸として回転するように振動する軸回転モード、もしくは、振動板 3 1 が振動板 3 1 の平板面内において Y 軸を中心として Y 軸と一定角度 θ をなすように X 軸方向に振り子状に振動する θ モード、さらには、Y 軸を中心とした X 軸方向への振り子状の振動であり、かつ、Y 軸から離れるにしたがって振動板 3 1 の側面に平行な Z 軸方向（図示せず）の揺れの成分が大きくなるように振動する ϕ モードの少なくともいずれかの振動モードを利用することができる。

ここで、上記 θ モードおよび ϕ モードについてさらに詳細に説明する。図 5 (b) は、 θ モードの説明図であり、図 5 (a) の質量センサ 3 0 を図 5 (a) 中の矢視 A A、すなわち、X 軸上 Y 軸方向からみた振動板 3 1 の位置の変化の様子を示している。ここで、振動板 3 1 の上部端面 3 1 F は、振動していない状態では位置 P 1 にあるが、前述の通り、 θ モードにおいては、振動板 3 1 は振動板 3 1 の平板面内、すなわち、X-Y 平面内において Y 軸を中心として Y 軸と一定

角度 θ をなすようにX軸方向に振り子状に振動する。このとき、矢視AAにおいては、振動板31の上部端面31Fの動きは、X軸上の位置P2と位置P3との間を往復移動する振動として表すことができ、この振動運動を θ モードと定義する。

次に、図5(c)は ϕ モードの説明図であり、図5(b)同様に、図5(a)中の矢視AAから見た振動板31の位置の変化の様子を示している。ここでも振動板31の上部端面31Fは、振動していない状態では位置P1にある。前述の通り、 ϕ モードにおいては、振動板31は、Y軸を中心としてX軸方向へ振り子状に振動するとともに、Y軸から離れるにしたがって振動板31の側面に平行なZ軸方向の揺れの成分が大きくなるように振動する。すなわち、矢視AAにおける振動板31の上部端面31Fの動きは、Z軸上の一点を中心Oとし、位置P1を通る円弧軌道S上の位置P4と位置P5間を往復する振動として表される。このときの、振動板31と中心Oとを結ぶ直線とZ軸とのなす角が ϕ であり、上記振動モードを ϕ モードと定義する。

さて、これらの各種モードの振動により、圧電素子35の圧電膜に伸縮応力あるいは撓み応力がかかり、その応力の大きさに応じた電圧が発生する。このときの振動板31と連結板33および検出部36からなる共振部の共振周波数を圧電素子35により測定する。ここで共振部の共振周波数は、主に振動板31の質量の変化に伴って変化することから、振動板31に何らかの物質が付着し、あるいは離脱等して振動板31の質量が変化した場合に、前述した質量センサ50A～50Dと同様にして、その質量変化を共振部の共振周波数の変化から求めることができる。なお、圧電素子35を検出板32の両平板面にそれぞれ配設し、これらの検出する信号を比較演算処理することにより、ダイナミックレンジを大きくとることが可能となる。さらに、この場合、一方の圧電素子35を振動板31の駆動用（励振用）に用い、他方の圧電素子35を検出用（受振用）に用いることにより、検出感度を向上させることができる。

ここで、さらに、図5(a)において、1つの圧電素子35を、Y軸方向に2つの圧電素子35A・35Bが形成するように配設し、圧電素子35Aを駆動用を使用し、圧電素子35Bを検出用に用いると、検出感度を向上させることがで

き、好ましい。なお、このような圧電素子 35 の分割形成は、1つの圧電素子 35 を配設した後に、レーザ加工等により分割する方法、あるいは圧電素子 35 を配設する際に、最初から分割して配設する方法のいずれを用いてもよい。これら複数の圧電素子の配設とそれぞれの圧電素子 35 の分割および使用方法は、本発明に係る全ての質量センサに適用することができる。

さて、前述の曲げモードを利用して振動板 31 を液体に浸漬して共振周波数を測定する場合には、振動板 31 は振動板 31 の面積の大きさに応じて液体からの抵抗を受け、振動板 31 の微小質量変化をとらえ難くなる欠点がある。しかし、検体が気体の場合にはこの抵抗が小さいために曲げモードを用いることができるが、このときには、振動板 31 の Y 軸方向の長さ X 軸方向の長さを短くとることが好ましい。

また、Y 軸を中心軸とする回転モードにおいては、連結板 33 の幅 (X 軸方向の幅) を振動板 31 へ延長した部分の振動板 31 の Y 軸近傍での振動板 31 の質量変化は、振動板 31 の回転振動にほとんど影響をおよぼさず、また、振動板 31 の左右端における同じ質量変化よりも回転振動に寄与しないことから、振動板 31 において質量変化が起こる位置によって測定感度に問題が生ずる。この場合、図 6 に示す質量センサ 30A のように、振動板 31 の形状を凹型とし、Y 軸近傍の面積を小さくすることで測定誤差を小さくすることができる。ここで、質量変化が同じで、付着位置での測定誤差を小さくするためには、寸法 H_1 を短くし、ダイナミックレンジを上げるためには寸法 H_2 を長くすることが好ましい。

これに対し、 θ モードもしくは ϕ モードを用いた場合には、検体が液体、気体であるかの別を問わず、図 5 に示した寸法 H_3 、 H_4 を短くすることで、付着物質の振動板 31 への付着位置による影響を小さくすることができ、しかも、振動板 31 の厚みが薄いために密度や粘性等の影響が小さく、また、振動板 31 は剛体モードとして動作するために温度変化に強く、最も検出感度と対環境性に優れたものとなる。したがって、本発明の質量センサにおいては θ モードもしくは ϕ モードを用いることが好ましい。

次に、本発明においては、連結板における一方の平板面もしくは両平板面に、バネ板が貼合され、このバネ板がセンサ基板もしくはバネ板補強部に接合されて

いる構造も好適に採用できる。図7（a）は、前述した質量センサ30にバネ板38およびバネ板補強部39を配設した実施形態たる質量センサ40Aの平面図である。また、図7（b）～（e）は、バネ板38およびバネ板補強部39の配設例を示すY軸におけるX軸方向から見た種々の断面図を示している。

バネ板38は連結板33の少なくとも一方の平板面に接合されるが、その幅は、図7（a）に示されるように連結板33よりも狭くともよいが、連結板33の幅と同じとすることが好ましい。また、連結板33の両平板面に同じ材質からなるバネ板38を配設するときにはそれらの形状を同じくすることが好ましいが、バネ板38の材質を連結板33の各平板面で異ならしめるときには、各バネ板38を同形状とする必要はなく、各バネ板38のヤング率等を考慮して、適宜好適な形状に設定することができる。

このようなバネ板38は、原則としてセンサ基板34とも接合されるが、このとき連結板33のセンサ基板34との接合位置により、バネ板補強部39の配設の必要性の有無が判断される。すなわち、図7（b）・（c）に示すように、バネ板38が直接にセンサ基板34に接合できるような位置に連結板33が接合されている場合には、センサ基板34がバネ板補強部39の機能を兼ねるためにバネ板補強部39を別途設ける必要はない。またこのとき、バネ板38は、連結板33の一方の平板面にのみ配設してもよい。

しかしながら、図7（d）に示されるように、連結板33がセンサ基板34の端部に接合されている場合には、バネ板38Aについてはセンサ基板34がバネ板補強部39の機能を兼ねるが、バネ板38Bについては、バネ板38Bを支持する部位としてバネ板補強部39を設けることが好ましい。なお、図7（e）に示すように、連結板33がセンサ基板12端部に接合されている場合であっても、センサ基板12に接合することができるバネ板38Aのみを設け、バネ板38Bを設けない場合には、バネ板補強部39は必要ではない。

こうして、バネ板38を設けることにより、共振部の機械的強度が高められる。また、これにより連結板33および振動板31の薄肉化が図れ、液体中での測定における共振ピークの減衰が少なくなるといった利点がある。さらに、連結板33の両平板面にバネ板38を設けた場合には、圧電素子35により振動板31を

励振させるときに、連結板 3 3 とバネ板 3 8 から構成されるバネ部の重心点を励振できるため、振動板 3 1 が θ モードに揺れやすくなり、好ましい。

ここで、図 7 (c)、(d) に示した実施形態における X 軸上 Y 軸方向から見た断面図をそれぞれ図 8 (a)、(b) に示すが、図 8 (a) においては、圧電素子 3 5 は、バネ板 3 8 A とバネ板 3 8 B および連結板 3 3 の中心 O を X 軸方向に励振できるために、振動板 3 1 および共振部全体が X 軸方向の θ モードに揺れやすくなる。これに対し、図 8 (b) の場合には、バネ板 3 8 A とバネ板 3 8 B および連結板 3 3 の中心 O が連結板 3 3 上にないために、バネ板 3 8 A 自体の有する剛性に起因して回転モードが抑制されているにもかかわらず、圧電素子 3 5 による X 軸方向の駆動力 (矢印 S_1) は、中心 O に対して回転力 (矢印 S_2) として加わり、回転モードが生じ易くなる。

前述のように、バネ板 3 8 を設けた場合には、さらに図 9 の質量センサ 4 0 B に示すように、バネ板 3 8 に貼合され、かつ、センサ基板 3 4 の側面に接合されるような補強板 4 1 を設けることも好ましい。なお、図 9 (a)、(b) は、質量センサ 4 0 B を表裏それぞれの面からみた正面図を示し、図 9 (c) は、図 9 (b) 中の X 軸における Y 軸方向から見た断面図を示したものである。ここで、補強板 4 1 は、連結板 3 3 に取り付けられたバネ板 3 8 A に貼合され、かつ、センサ基板 3 4 の直角に切り欠けられた側面に接合されている。さらに、補強板 4 1 は、バネ板 3 8 およびセンサ基板 3 4 と一体的に形成されていることが好ましい。

このような構造とすることにより、振動板 3 1 は θ モードおよび ϕ モードにおいて共振し易くなるため、Q 値の減衰が小さくなり、検出感度が向上するといった利点がある。そのため、特に、液体中での測定に好適に使用することができる。

なお、上述したバネ板は、連結板が構成部材として使用されている本発明に係る全ての質量センサに適用されるものであることはいうまでもなく、このバネ板は後述する本発明の質量センサの製造方法に記されるように、振動プレートとベースプレートとの間に嵌挿されて一体化される中間プレートと一体的に形成され、もしくは、振動プレートと一体的に形成されるバネ板補強部と一体的に形成され、さらに、各連結板とも一体的に形成されていることが好ましい。

また、上述した質量センサ 30 等における振動板 31 の平板面の形状は図 5 (a) や図 7 (a)、図 9 に示したような長方形に限定されるものではなく、図 10 (a) ~ (c) の質量センサ 30 B ~ 30 D に示されるように、円形、三角形、逆凹型をはじめ、多角形や楕円形、長円形等の種々の任意の形状のものを用いることが可能である。そして振動板 31 は、図 10 (d) の質量センサ 30 E に示されるように、Y 軸について対称となるように連結板 33 と接合されなくともよい。このように振動板 31 の形状を任意に選択することができることもまた、本発明の全ての質量センサに適用される。

次に、上述した質量センサ 30 にバネ板を一枚のみ貼合し、センサ基板内に組み込んだ質量センサの実施形態を図 11 に示す。ここで、質量センサ 1 において、上述したバネ板とバネ板補強部および補強板を形成することや、振動板の形状を任意に変更することが可能なことはいうまでもない。

図 11 は、質量センサ 1 を振動プレート 3 側からみた平面図であり、質量センサ 1 は左右対称の形状となるように設計されている。なお、振動プレート 3 は後述するベースプレート 15 および中間プレート 17 とともにセンサ基板 2 を構成している。そして、センサ基板 2 に設けられた孔部 8 は質量センサ 1 のパッケージングおよび製造工程において利用されるアライメントマークとして設けられるものであり、後述する振動板 19 と連結板 20 および検出板 21 と圧電素子 25、さらにバネ板 18 からなる共振部 26 が、一方を参照用等として使用する目的から 2箇所 に設けられている。なお、1つの質量センサ 1 に形成される共振部 26 の数を参照用を含めて 2箇所以上とすることにより、各共振部 26 からの信号を積算してダイナミックレンジを大きくとることが可能となる。

また、位置センサ電極 4・5 は、質量センサ 1 を水溶液等の導電性を有する検体に浸漬させたときに、検体によって導通し、質量センサ 1 の浸漬位置を検出するものである。検体が導電性を有する場合には、位置センサ電極 4・5 の水平方向に形成されたパターンから上部を検体に浸漬させ、位置センサ電極 4・5 が応答した位置より深くは質量センサ 1 を検体に浸漬させないようにすることにより、後述する圧電素子 25 (図 11 には示さず) における第二電極 24 および第一電極 22 とこれらの電極からそれぞれ引き出される電極リード 9・10 の短絡を防

止することができる。なお、位置センサ電極 4・5 の一端部には端子部 6・7 が、電極リード 9・10 の一端部には端子部 11・12 がそれぞれ設けられており、これら端子部がそれぞれの検出装置の端子等に接続される。

但し、圧電素子 25 および電極リード 9・10 を絶縁樹脂等でコーティングした場合には、質量センサ 1 を導電性の検体に浸漬させた場合でも圧電素子 25 および電極リード 9・10 が短絡することがないので、位置センサ電極 4・5 および端子部 6・7 は設けなくともよい。

図 12 は図 11 におけるセンサ部 13 のベースプレート 15 側、つまり、図 11 における振動プレート 3 の裏面側からみた拡大平面図であり、また、図 13 は図 12 に示した切欠部 16 近傍の斜視図である。なお、センサ部 13 とは、質量センサ 1 内に設けられた共振部 26 とその周辺のセンサ基板 2 からなる質量センサ部分を指す。

図 12 および図 13 に示されるように、ベースプレート 15 には凹型形状の切欠部 16 を有する貫通孔 14 が設けられている。また、ベースプレート 15 と重なる中間プレート 17 にも同様の切欠部 16 が形成されているが、中間プレート 17 においては、切欠部 16 の底辺の中央部から貫通孔 14 の中心に向かう略角柱状のバネ板 18 が形成されている。ただし、この中間プレート 17 およびバネ板 18 は、必ずしも必要ではなく、共振部 26 の強度や質量センサ 1 の検出感度の調整といった必要性に応じて質量センサ 1 を構成する部材として用いられるものである。

振動プレート 3 の切欠部 16 には、バネ板 18 に接合される連結板 20 と、連結板 20 の上端辺部に接合され、バネ板 18 とは接合されない振動板 19 が形成されている。さらに、振動プレート 3 の切欠部 16 において、検出板 21 が連結板 20 の一方の側面と切欠部 16 の対向する側面との間に跨設されている。

図 14 には図 12 に示した切欠部 16 近傍を振動プレート 3 側からみた斜視図を示す。検出板 21 の振動プレート 3 側の表面には、第一電極 22、圧電膜 23、第二電極 24 をこれらの順に積層して形成した圧電素子 25 が配設され、さらに、第二電極 24 は電極リード 9 と、第一電極 22 は電極リード 10 と接続されている。こうして、検出板 21 と圧電素子 25 とから検出部 29 が構成され、バネ板

18、振動板19、連結板20および検出部29から共振部26が構成される。

ここで、質量センサ1においては、検出板21の一方の平板面上に圧電素子25が配設されているだけであるが、圧電素子25は検出板21の両平板面に配設してもよく、この場合には、検出部29の構造が対称性を有するようになるので、検出板21の剛性を合わせることができる。

また、質量センサ1においては、図13に示されているように、検出板21と振動プレート19における切欠部16の下辺部に間隙部27が形成されているが、図15に示される質量センサ42のように、この間隙部27を形成しないようにして検出板21を、振動プレート16における切欠部16の下辺部に接合された構造とする、すなわち、検出板21が、連結板20およびセンサ基板2により形成される凹部に嵌合され、接合されている構造とすると、連結板20および／またはバネ板18から構成されるバネ部の屈曲を抑制でき、圧電素子25に加わる応力を大きくすることができるので好ましい。

さて、上述した質量センサ1においては、センサ基板2内に設けた貫通孔14の周囲を利用してセンサ部13を設けているが、センサ部13は、もちろん、センサ基板2の外周部、例えば、図11における上辺部に設けても構わない。しかしながら、図11～14に示したセンサ部13の構造から明らかなように、薄板状の振動板19は切欠部16から突出した位置に設けられることが多いことから、質量センサ1の取り扱い時に振動板19を破損しないようにする等、外的な衝撃から共振部26を保護することを考え、図11に示したように、センサ基板2の内部にセンサ部13を設ける構造を採用することが好ましい。また、このような構造は後述する質量センサ1の製造工程を容易にすることからも好ましい。

次に、上述した質量センサ1におけるセンサ部13に代替することのできる種々の質量センサの実施形態について説明する。図16(a)は本発明の別の実施形態である質量センサ43Aを示す平面図である。質量センサ43Aは、連結板20と振動板19とが互いの側面において接合され、2枚の検出板21A・21Bが、振動板19と連結板20との接合方向と直交する方向において、連結板20を挟持するようにして連結板20と互いの側面において接合され、さらに各検出板21A・21Bが、図15に示した質量センサ42における検出板21と同

様に、センサ基板 2 とも接合されて 3 辺で支持・固定された構造を有しており、この 3 辺支持により高感度化が図られている。但し、各検出板 2 1 A・2 1 B は、連結板 2 0 とセンサ基板 2 により形成される凹部の下辺とは、必ずしも接合される必要はない。

そして、少なくとも一方の検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に、第一電極と圧電膜および第二電極からなる圧電素子が配設されるが、図 1 6 においては、検出板 2 1 A・2 1 B の両平板面に、圧電素子 2 5 A～2 5 D が配設されており、振動板 1 9 と連結板 2 0 と検出板 2 1 A・2 1 B および圧電素子 2 5 A～2 5 D から共振部が形成される。但し、圧電素子 2 5 A～2 5 D は、全てを配設しなければならないものではなく、検出板 2 1 A もしくは 2 1 B の任意の場所に任意の数だけ設けてもよい。

この質量センサ 4 3 A のように、複数の圧電素子 2 5 A～2 5 D を設けると、各検出板 2 1 A・2 1 B における剛性を合わせることができるのみでなく、各圧電素子 2 5 A～2 5 D からの信号を積算、演算等することにより、 θ モード、 ϕ モードの Q 値を上げ、回転モードの Q 値を下げることで、共振周波数の測定をより高精度に行うことができるようになる。さらに、各圧電素子 2 5 A～2 5 D のうち、少なくとも 2 つを配設した場合には、一方を駆動用として用い、他方を検出用として用いると、検出感度を向上させることができる。ここで、質量センサ 3 0 において圧電素子 3 5 を圧電素子 3 5 A・3 5 B に分割したように、これらの圧電素子 2 5 A～2 5 D を、それぞれ同様に分割して用いると、検出感度の向上が図られ、好ましい。

また、検出板 2 1 A・2 1 B の同じ向きの平板面に、例えば、それぞれ圧電素子 2 5 A・2 5 C が配設され、これら圧電素子 2 5 A と 2 5 C における圧電膜の分極方向を、互いに逆向きとする構成をとることも、出力電荷の向上に寄与し、好ましい。もちろん、検出板 2 1 A・2 1 B の両方の平板面においてこのような構成とすることも好ましい。さらに、図 1 6 (b) に示す質量センサ 4 3 B のように、圧電素子 2 5 A～2 5 D の少なくとも一つ、例えば、圧電素子 2 5 C・2 5 D の少なくとも一方向を 3 辺支持の一辺もしくは二辺に重ねる構造とすると、高感度化でき、好ましい。但し、この場合でも、圧電素子 2 5 A～2 5 D は、連

結板 20 およびバネ板を設けた場合のそのバネ板には重ならないようにすることが必要である。

ここで、質量センサ 43A・43B にバネ板を貼合した場合においては、質量センサ 40B のようにバネ板補強部あるいは補強板を設けることが可能であり、例えば、補強板については、バネ板に貼合され、かつ、補強板の側面が、検出板 21A・21B とセンサ基板 2 との接合面たるセンサ基板 2 の側面（切欠部 16 の横側面）、および連結板 20 とセンサ基板 2 との接合面たるセンサ基板 2 の側面（切欠部 16 の底部側面）の 3 辺において接合されるように形成する。これにより、 θ モードの Q 値を向上させることができ、かつ、圧電素子の屈曲モード（センサ基板と連結板との間で曲がるモード）の共振周波数を高くすることができ、さらに、 θ モードの高周波数化が図れ、高感度化が図れるので、好ましい。

また、図 16（c）に示した質量センサ 43C は、質量センサ 43A における連結板 20 の長手方向中央部にスリット 48 を設けた実施形態を示したものである。スリット 48 は空洞であり、振動板 19 の θ モード、 ϕ モードでの振動を起し易くし、共振周波数の認識を容易にする機能を有する。また後述するように、連結板 20 の質量を減少させ、検出感度を向上させる機能をも有する。さらに、バネ板を設ける際に、バネ板をこのような空洞を有する形として連結板と一体化してもよい。

さて、図 16（a）に示すように 1 箇所共振部に検出板を 2 箇所設ける場合には、図 17（a）に示すように、各検出板 21A・21B の長さ N_1 と N_2 ならびに幅 M_1 と M_2 とを変えて、一方の面積を広く取ることによって振動板 19 の駆動力を上げ、一方を狭く取ることによって、 θ モード、 ϕ モードの Q 値を上げることができる。さらに、図 17（b）は図 17（a）の X 軸における Y 軸方向から見た断面図であるが、各検出板 21A・21B の幅 M_1 と M_2 を変えることにより、圧電素子 25A・25B と検出板 21A・21B とで決定される検出板 21A・21B の屈曲変位振動（図 17（b）中の矢印 G）の固有振動数をそれぞれ f_1 、 f_2 と変え、例えば、一方を駆動用圧電素子、他方を検出用圧電素子とすることにより、 θ モード、 ϕ モードの Q 値を大きくさせたり、感度を上げることができる。また、固有振動数 f_1 と f_2 のいずれか小さい方の圧電素子を駆動用に、大きい方の圧電素

子を故障診断用に用いることも可能となる。

図16あるいは図17に示したように、1箇所の共振部に検出板を2箇所ほど設けた場合には、さらに、図18に示すように、一方の検出板、例えば、検出板21Bに圧電素子25C・25Dの少なくとも1つを設け、他方の検出板21Aにおいて、検出板21Aと連結板20との接合方向に垂直な方向にスリット28が形成されている構造とすることもまた、好ましい。このような構造とすることで、回転モードの振動を抑えることができ、 θ モード、 ϕ モードのQ値を大きく取ることができるようになると共に、共振点のずれを大きくして共振周波数の変化幅の絶対値を大きくとることができるようになる。なお、スリット28は1箇所のみ設けてもよいが、複数箇所設けると前述した効果が顕著に得られ、好ましい。

次に、図19(a)は、図16(a)記載の質量センサ43Aの形態を、センサ基板2の貫通孔14に形成した実施形態である質量センサ43Dの平面図を示しており、図19(b)は、図19(a)中の破線AAにおける断面図を示している。質量センサ43Dにおいては、2個の圧電素子25A・25Cが配設されており、圧電素子25A・25Cにはそれぞれ電極リード9・10が設けられている。そして圧電素子25A・25Cおよび電極リード9・10を覆うように絶縁コーティング層65が形成されている。この絶縁コーティング層65により、質量センサ43Dの共振部を導電性の検体に浸漬させた場合であっても、圧電素子25A・25Cおよび電極リード9・10の短絡が防止される。

また、質量センサ43Dには、絶縁コーティング層65を覆うように、導電性部材からなるシールド層66が形成されており、シールド層66はスルーホール67を通じてセンサ基板2の両面に形成されている。0.1ngオーダーの微小質量を検出する場合においては、外部からの電磁波を遮断し、共振周波数の判定誤差を小さくする上で、センサ基板2から計測器への配線は勿論のこと、センサ基板2上の配線部分（圧電素子25A・25C、電極リード9・10）についてもシールドすることが好ましい。

シールド層66の配設の形態としては、図19(b)に示されるように、センサ基板2を挟み込むように形成する形態の他、図19(c)の断面図に示される

ように、センサ基板 2 上の配線部分のみを囲う形態や、図 19 (d) に示すように、配線部分を上部片側のみでシールドする形態が挙げられるが、中でも、図 19 (b)、(c) に示すような配線部分全体をシールドする形態が好ましい。なお、図 19 (a) においては、スルーホール 67 を用いてセンサ基板 2 の各面に形成されたシールド層 66 が導通しているが、センサ基板 2 の側面を利用して、この導通を図ってもよい。これら、絶縁コーティング層 65 およびシールド層 66 の形成に好適に用いられる材料の詳細については、質量センサに使用される材料について後述する際、併せて説明することとする。

図 20 は、本発明のさらに別の質量センサの実施形態を示す平面図であり、図 20 (a) に示す質量センサ 44 A においては、連結板 20 と検出板 21 とは直接に接合されることなく、連結板 20 と検出板 21 が、それぞれ振動板 19 との接合方向が互いに平行となるようにして、振動板 19 とそれぞれ側面において接合され、振動板 19 がセンサ基板 2 に接合されることなく、連結板 20 および検出板 21 が、センサ基板 2 の側面に接合されている。すなわち、検出板 21 は連結板 20 としての機能をも有する。

そして、検出板 21 の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子 25 が配設されて、振動板 19 と連結板 20 と検出板 21 および圧電素子 25 から共振部が形成されている。これに対し、図 20 (b) に示した質量センサ 44 B は、2 枚の検出板 21 A・21 B を連結板 20 の両側に配し、各検出板 21 A・21 B のそれぞれに圧電素子 25 A・25 B を配設している。

このような質量センサ 44 A・44 B においては、振動板 19 の振動は、振動板 19 の平板面内で起こりやすくなるため、 θ モードでの測定に適し、振動板 19 の回転モードの振動が抑えられる。また、振動板 19 の振動が直接に検出板を介して圧電素子 25 に伝達されるため、検出感度が高くなる利点がある。

続いて、図 21 (a)～(c) は、本発明のさらに別の質量センサの実施形態を示す平面図である。まず、図 21 (a) に示す質量センサ 45 A においては、振動板 72 が 2 枚の連結板 74 A・74 B により挟持されるようにして互いの側面において接合され、各連結板 74 A・74 B の側面が、センサ基板 70 の凹部 76 の側面に跨設されている。ここで凹部 76 は、例えば、質量センサ 1 におい

て形成されている切欠部16と同様のものであり、したがって、図11に示したセンサ基板2の外周部やセンサ基板2に設けられた貫通孔14と同様にして、センサ基板70側面等に形成されてもよい。

そして、検出板73A・73Bが、各連結板74A・74Bが振動板72を挟持する方向、すなわちY軸方向と直交する方向において、それぞれ各連結板74A・74Bと凹部76の底部側面に跨設され、さらに、各検出板73A・73Bの少なくとも一方の平板面上に圧電素子75A・75Bが配設されて、振動板72と各連結板74A・74Bと各検出板73A・73Bおよび圧電素子75A・75Bから共振部が形成されている。

質量センサ45Aの構造は、簡単には、振動板72が2枚の連結板により挟持されるようにして互いの側面において接合され、各連結板74A・74Bの側面が、センサ基板70に設けられた貫通孔もしくは間隙の側面に跨設され、少なくとも複数の検出板73A・73Bが、各連結板74A・74Bが振動板72を挟持する方向と直交する方向において、各連結板74A・74Bと貫通孔もしくは間隙との側面に跨設されてなる少なくとも1個の圧電素子を有する質量センサ、と表すことができる。

このような質量センサ45Aにおいては、各連結板74A・74Bとセンサ基板70との接合面を固定面として、振動板72がその固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸、すなわちY軸を中心として、振動板72の側面に垂直かつY軸に垂直な方向、すなわちX軸方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、振動板72がY軸を中心としてX軸方向への揺れが振動板72の側面に平行な方向、すなわちZ軸方向（図示せず）の揺れをとめないながら振り子状に振動する ϕ モード揺れ振動、もしくはY軸を中心としてX軸方向に振動する揺れ振動、もしくは、振動板72の平板面内における回転振動、の少なくともいずれかの振動に基づく共振部の共振周波数を、検出板73A・73Bに設けた圧電素子75A・75Bにより測定することが可能である。

なお、後述する質量センサ46A～46Fの構造も、簡単には、質量センサ45A～45Cと同様に表現され、質量センサ46A～46Fにおける質量検出方法も、質量センサ45A～45Cと同様である。但し、質量センサ46A～46

Fでは、検出板の数を4枚と多くし、また、実施形態として、少なくとも複数の検出板73A～73Dが、各連結板74A・74Bが振動板72を挟持する方向と直交する方向において、振動板72と貫通孔もしくは間隙の側面に跨設される構造等が追加される。

したがって、振動板72および検出板73A・73Bは、図21中の矢印Kの方向、すなわち、Y軸を中心として振動板72の平板面に平行な方向であって、かつ、Y軸に垂直な方向、すなわちX軸方向で振動させるため、振動板72の θ モードと同様に剛体モードとして、振動板72は安定的に矢印Kの方向に振れるようになる。また、振動板72の曲げモードが抑制される利点もある。なお、振動板72の形状は図21(a)～(c)に示した長方形に限定されず、図10に示した任意形状の振動板を採用することができ、また、図21(b)に示される質量センサ45Bのように振動板72は、任意の位置において各連結板74A・74Bと接合されていてもよい。さらに、図21(c)に示される質量センサ45Cのように、各検出板73A・73Bは、図15に示した質量センサ42における検出板21と同様に、各連結板74A・75Bとセンサ基板70によって3辺で支持・固定されていてもよい。なお、質量センサ45Bには、質量センサ1の位置センサ電極4・5と同様の位置センサ77が設けられている。

次に、図22(a)～(f)の平面図に示す本発明のさらに別の実施形態である質量センサ46A～46Fにおいては、振動板72が2枚の連結板74A・74Bにより挟持されるようにして互いの側面において接合され、各連結板74A・74Bの側面が、貫通孔を有するセンサ基板70の貫通孔71の側面に跨設され、少なくとも複数の検出板、ここでは検出板73A～73Dが、各連結板74A・74Bが振動板72を挟持する方向と直交する方向において、各連結板74A・74Bと貫通孔71との側面もしくは振動板72と貫通孔71との側面に跨設されている。

さらに、少なくとも1枚の検出板73A～73Dの少なくとも一方の平板面上に圧電素子75A～75Dが配設されて、振動板72と各連結板74A・74Bと各検出板73A～73Dおよび圧電素子75A～75Dから共振部が形成されている。

図 2 2 (a) ~ (f) の各図について質量センサ 4 6 A ~ 4 6 F をみると、図 2 2 (a) に示した質量センサ 4 6 A においては、図 2 1 に示した質量センサ 4 5 A ~ 4 5 C の構造と比較して、振動板 7 2 の Y 軸回りの回転が、検出板 7 3 A ・ 7 3 B により抑制される。また、検出板 7 3 A ・ 7 3 B に図 1 7 と同様のスリット 2 8 を設けると、振動板 7 2 は矢印 K 方向へ振動しやすくなり、好ましい。

図 2 2 (b) の質量センサ 4 6 B は、図 2 2 (a) における各検出板 7 3 A ~ 7 3 D の全ての同一方向を向いている面に、圧電素子 7 5 A ~ 7 5 D を配設したものである。これにより、振動板 7 2 の K 方向への振幅を増大させ、粘性の小さい物質はもちろん、粘性の高い物質中での測定に好適に用いることができるようになる。なお、このとき圧電素子 7 5 A と 7 5 C、7 5 B と 7 5 D の各圧電膜の分極方向は互いに逆とする方がよい。さらに、圧電素子 7 5 A ~ 7 5 D は、各検出板 7 3 A ~ 7 3 D の両面に設けてもよい。

図 2 2 (c) の質量センサ 4 6 C は、図 2 2 (a)、(b) における検出板 7 3 A ~ 7 3 D のセンサ基板 7 0 と対向する一辺がセンサ基板 7 0 と接合されるように形成されている実施形態を示している。このような構造とすると、図 1 5 に示した質量センサ 4 2 の構造で得られる効果を図 2 2 (a)、(b) の効果に付与することができるようになる。

また、図 2 2 (d) の質量センサ 4 6 D は、振動板 7 2 の中心である X 軸と Y 軸の交点について点対称な位置にある検出板 7 3 B ・ 7 3 C にそれぞれ圧電素子 7 5 B ・ 7 5 C を配設したものである。ここでの共振周波数の検出は、X 軸と Y 軸の交点を中心とした η 方向 (図 2 2 (d) 中の矢印の方向) への振動が支配的な剛体モードを利用するため、検出板 7 3 A ・ 7 3 D は必ずしも形成しなくともよい。また、検出板 7 3 A ・ 7 3 D を形成した場合には、検出板 7 3 A ・ 7 3 D にスリットあるいは圧電素子 7 3 A ・ 7 3 D を設けても良い。このときには、圧電素子 7 5 A と 7 5 D、7 5 B と 7 5 C の各組において、各圧電膜の分極方向を同一とすることが好ましい。

図 2 2 (e) の質量センサ 4 6 E は、振動板 7 2 に検出板 7 3 A ~ 7 3 D を接合させたものであり、圧電素子 7 5 A ~ 7 5 D の配置状態は、図 2 2 (b) の場合と同様である。このような構造としても、矢印 K 方向への振動板 7 2 の振動を

検知することが可能である。さらに、図 22 (f) に示した質量センサ 46 F は、各連結板 74 A・74 B の一方の幅を広くし、他方の幅を狭くすることで、 θ モードと ϕ モードで揺れやすくなる構造を有している。

このように、本発明の質量センサにおいては、種々の形状を選択することができるが、質量センサの作製に使用される材料については、これら個々の質量センサにおいて変わるところはない。そこで、次に、上述した質量センサ 1 を例に、本発明の質量センサを構成する各部材ならびに形状について説明する。まず、センサ基板 2、振動板 19、連結板 20、検出板 21、バネ板 18 は、好適にはセラミックからなることが好ましく、例えば、安定化もしくは部分安定化されたジルコニア、アルミナ、マグネシア、窒化珪素等を用いることができる。このうち、安定化もしくは部分安定化ジルコニアは、薄板においても機械的強度が大きいこと、靱性が高いこと、圧電膜や電極材との反応性が小さいことから最も好適に採用される。

なお、センサ基板 2 の材料等として、前記安定化もしくは部分安定化ジルコニアを使用する場合には、少なくとも、検出板にアルミナあるいはチタニア等の添加物を含有させて構成すると好ましい。

センサ基板 2 における振動プレート 3、中間プレート 17、ベースプレート 15、および振動板 19、連結板 20、バネ板 18、検出板 21 のそれぞれについては、必ずしも同一の材料から構成される必要はなく、設計に応じて前述した各種セラミック材料を組み合わせる用いることが可能ではあるが、同一の材料系のものを用いて一体的に構成することが、各部の接合部の信頼性の確保や製造工程の簡略化等の見地から好ましい。

但し、バネ板 18 を連結板 20 の両平板面に形成する場合には、圧電素子 25 が配設される面側に形成されるバネ板については、圧電素子 25 と同じ構造を有するものをバネ板として形成して用いることもできる。この場合には、バネ板を圧電素子 25 と同時に形成することができるので、製造工程上、好ましい。但し、バネ板として形成された圧電素子については、電極を電極として用いない。

さて、質量センサ 1 は、0.1 ナノグラム (ng) オーダーの質量検出を主な目的としているが、この目的のためには、振動板 19 の厚みは 3 ~ 20 μ m 程度

とすることが好ましく、好適には $5 \sim 15 \mu\text{m}$ 程度に設定され、このときのベースプレート15の厚みは操作性を考慮し、適宜決められる。

バネ板18を設ける場合には、連結板20の片面あるいは両面に貼合するいずれの場合であっても、厚さは $10 \sim 220 \mu\text{m}$ 、幅 $100 \sim 500 \mu\text{m}$ が好適であり、バネ板18のアスペクト比（幅／厚み）は、 $0.4 \sim 50$ の範囲とすることが好ましい。さらに、液体中での質量センサ1の使用による振動振幅の減衰を考慮すると、厚みが $10 \sim 70 \mu\text{m}$ で幅が $100 \sim 500 \mu\text{m}$ 、アスペクト比が $1.4 \sim 50$ とすることが好ましい。さらに好ましい設定範囲は、厚みは $10 \sim 70 \mu\text{m}$ 、幅が $100 \sim 300 \mu\text{m}$ 、アスペクト比が $1.4 \sim 30$ である。なお、バネ板補強部を必要とする場合のバネ板補強部の厚さは、そのバネ板補強部に接合されるバネ板の厚さと同じとすることが好ましい。

これに対し、バネ板18を設けずに連結板20をバネ板として利用することも可能である。この場合には、中間プレート17を設けなくともよいが、センサ基板2の機械的強度を保つために、中間プレート17の厚み分ほどベースプレート15を厚くするとよい。

圧電素子25における圧電膜23としては、膜状に形成された圧電セラミックスが好適に用いられるが、電歪セラミックスあるいは強誘電体セラミックスであってもよい。また、分極処理が必要な材料でも、必要でない材料であってもよい。

圧電膜23として用いるセラミックスとしては、例えば、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガニオブ酸鉛、アンチモンズ酸鉛、マンガンタンゲステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウムが挙げられるが、これらは単独で、あるいは、これらのいずれかを組み合わせた成分を含有するセラミックスとして用いてもよい。本発明においては、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛およびマグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料が好適に用いられるが、これは、このような材料が高い電気機械結合係数と圧電定数を有することに加え、後述する圧電膜の焼結時におけるセンサ基板部材との反応性が小さく、所定の組成のものを安定に形成することができることによる。

さらに、上記圧電セラミックスに、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、

モリブデン、タンゲステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウム、ビスマス、スズ等の酸化物を単独で、もしくはこれらいずれかを組み合わせて、あるいはこれら元素の他の化合物を適宜、添加したセラミックスを用いてもよい。例えば、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛およびマグネシウムニオブ酸鉛を主成分とし、これにランタンやストロンチウムを含有するセラミックスを用いることもまた好ましく、さらに、マンガンを加えたものは圧電材料の機械的品質係数が大きく、センサの構造面からだけでなく、材料面からもQ値を大きくすることができ、好ましい。

一方、圧電素子25における第一電極22および第二電極24は、室温で固体であって導電性の金属で構成されていることが好ましく、例えば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タンゲステン、イリジウム、白金、金、鉛等の金属単体あるいはこれらのいずれかを組み合わせた合金が用いられ、さらに、これらに圧電膜23あるいは検出板21と同じ材料を分散させたサーメット材料を用いてもよい。

なお、実際の第一電極22および第二電極24の材料選定は、圧電膜23の形成方法に依存して決定される。例えば、検出板21上に第一電極22を形成した後、第一電極22上に圧電膜23を焼成により形成する場合には、第一電極22は、圧電膜23の焼成温度においても変化しない白金等の高融点金属を使用する必要があるが、圧電膜23を形成した後に圧電膜23上に形成される第二電極は、低温で電極形成を行うことができるので、アルミニウム等の低融点金属を使用することができる。

また、圧電素子25を一体焼成して形成することもできるが、この場合には、第一電極22および第二電極24の両方を圧電膜23の焼成温度に耐える高融点金属としなければならない。一方、図3に示した圧電素子62Aのように、圧電膜58上に第一および第二電極59・60を圧電膜58の形成後に形成する場合には、双方を同じ低融点金属を用いて形成することができるが、圧電素子62Aを同時焼成する場合には、やはり第一電極22および第二電極24の両方を高融

点金属としなければならない。このように、第一電極 2 2 および第二電極 2 4 は、圧電膜 2 3 の焼成温度に代表される圧電膜 2 3 の形成温度、圧電素子 2 5 の構造に依存して、適宜、好適なものを選択すればよい。なお、電極リード 9・10 の形成材料や形成方法は、圧電素子 2 5 の第一電極 2 2 および第二電極 2 4 と同様である。

ところで、圧電膜 2 3 の面積を広げると出力電荷が増加するために感度が上がるが、センササイズが大きくなるという問題を生ずるため、適宜、好適な大きさに設定することが好ましい。また、圧電膜 2 3 の厚みを薄くすると感度が向上するが、その一方で、剛性が低下するといった問題が生ずるため、好ましくは、検出板 2 1 と圧電膜 2 3 との厚みの合計は、15～50 μm となるように設定される。

続いて、圧電素子 2 5 ならびに電極リード 9・10 上に、図 19 に示した質量センサ 43D のような絶縁コーティング層 65 を形成する場合には、その材料として、絶縁性のガラスもしくは樹脂が用いられるが、質量センサ 1 の性能を上げるためには、絶縁コーティング材としてガラスよりも樹脂を用いることが好ましく、化学的安定性に優れたフッ素樹脂、例えば、四フッ化エチレン樹脂系テフロン（デュポン（株）製のテフロン PTFE）、四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合体樹脂系テフロン（テフロン FEP）、四フッ化エチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体樹脂系テフロン（テフロン PFA）、PTFE/PFA 複合テフロン等が好適に用いられる。また、これらのフッ素樹脂よりも耐食性、耐候性等に劣るが、シリコン樹脂（中でも熱硬化型のシリコン樹脂）も好適に用いられる他、エポキシ樹脂、アクリル樹脂等も目的に応じて使用することができる。なお、圧電素子 2 5 ならびにその近傍と、電極リード 9・10 ならびにその近傍とで、それぞれ異なる材料を用いて、絶縁コーティング層 65 を形成することも好ましい。さらに、絶縁性樹脂に無機・有機充填材を添加し、共振部の剛性を調整することも好ましい。

絶縁コーティング層 65 を形成した場合に、絶縁コーティング層 65 上に形成されるシールド層 66 の材料としては、金、銀、銅、ニッケル、アルミニウム等の種々の金属が好適に用いられるが、他にも上述した圧電素子 2 5 における第一

電極 2 2 等に用いられる全ての金属材料を用いることができる。また、金属粉末を樹脂と混合してなる導電性ペーストを用いることもできる。

次に、本発明の質量センサの使用方法について、質量センサ 1 を免疫センサとして用いた場合を例に説明する。2 箇所設けられたセンサ部 1 3 の一方を検出センサ部 1 3 D とし、検出センサ部 1 3 D の振動板には、検出したい病原体ウィルス等の被検出体とのみ反応して被検出体を捕捉する捕捉物質を塗布する。例えば、被検出体として抗原、捕捉物質として抗体の組み合わせが挙げられ、ヒト血清アルブミン／抗ヒト血清アルブミン抗体、ヒト免疫グロブリン／抗ヒト免疫グロブリン抗体等を例示することができる。これに対し、他方のセンサ部 1 3 は参照センサ部 1 3 R として、その振動板には捕捉物質を塗布しないものとする。

そして、各センサ部 1 3 D ・ 1 3 R のいずれも、同じ検体中に浸漬あるいは載置されることとなる。したがって、検体は多くの場合、液体や気体といった流体であるため、各センサ部 1 3 D ・ 1 3 R からの信号を比較することで、流体の種類や流れ、温度といった検体の物理的特性あるいは検査環境の影響を受けることなく、検査を行うことが可能となる。

また、この質量センサ 1 を、例えば、導電性を有する液体の検体に浸漬した場合には、位置センサ電極 4 ・ 5 が短絡する位置まで質量センサ 1 を検体に浸漬すると、各センサ部 1 3 D ・ 1 3 R における振動板 1 9 は検体に浸漬されるが、検出部 2 9 は検体により短絡することがない。但し、圧電素子 2 5 と電極リード 9 ・ 1 0 が絶縁性の樹脂やガラスにより、絶縁コーティングされている場合には、質量センサ 1 の端子部 1 1 ・ 1 2 等以外の部分を検体に浸漬させることができる。

こうして、検体中の被検出体が捕捉物質と反応して捕捉されると、検出センサ部 1 3 D の振動板 1 9 の質量が大きくなり、この振動板 1 9 の質量増加に伴って共振部 2 6 の共振周波数が変化する。したがって、反対に、共振部 2 6 の共振周波数の変化を調べることによって、振動板 1 9 に被検出体が捕捉されたか否か、すなわち、被検出体が検体中に存在したか否かを判断し、増加した質量の大きさを測定することができるようになる。

なお、このような 2 箇所設けられたセンサ部 1 3 をそれぞれ検出センサ部 1 3 D、参照センサ部 1 3 R として用いる使用方法においては、場合によって参照

センサ部 13 R における共振部、すなわち、振動板と連結板、検出板、圧電素子、バネ板にテフロンコーティングを行うと、参照センサ部 13 R への被検出体の付着を防止することができ、より高精度な測定が可能となる。また、同様に検出センサ部 13 D においても、振動板 19 以外にテフロンコーティングすることで、振動板 19 上のみで被検出体を確実に捕らえることができ、高感度化が図れ、好ましい。さらに、高価な抗体等の捕捉物質を必要な箇所だけに塗布するために、振動板 19 を除くセンサ基板 2 全体へテフロンコーティングをすると、コスト面で好ましい。

また、質量センサ 1 においては、質量センサ 1 を液体等の検体に浸漬して用いる場合、あるいは振動板 19 に捕捉物質を塗布するために振動板を捕捉物質に浸漬させる場合には、2つのセンサ部 13 が両方同時に検体に浸漬され易いように、2つのセンサ部 13 が、図 11 中、センサ基板 2 の横方向（水平方向）に配置された構造を取っている。

しかし、2つのセンサ部 13 をセンサ基板 2 の縦方向（上下方向）に配設する、つまり、検出センサ部 13 D が先に液体等に浸漬され、参照センサ部 13 R が液体等に浸漬されないような位置に配設すると、検出センサ部 13 D の部分のみを捕捉物質に浸漬して塗布する一方、参照センサ部 13 R については、テフロンコーティング等せずに温度補正センサ等のセンサとして使用し、捕捉物質に浸漬せず、つまり捕捉物質を塗布しないように処理することが簡単に行える。

但し、こうして検出センサ部 13 D にのみ捕捉物質を塗布した質量センサ 1 であっても、実際の質量測定にあたっては、各センサ部 13 D・13 R を同じ環境下におくことが必要である。また、質量センサ 1 全体を導電性の液体に浸漬して用いる場合には、各センサ部 13 R・13 D における圧電素子 25 と電極リード 9・10 を絶縁コーティングしておく必要があることはいうまでもない。

なお、同一の捕捉物質を各センサ部 13 D・13 R の各振動板に塗布して、各センサ部 13 D・13 R の信号を積算することで、ダイナミックレンジを大きくするような使用方法も可能である。さらに、参照センサ部 13 R を参照用とせずに、検出センサ部 13 D と異なる捕捉物質を塗布して使用することも可能である。

こうした各使用方法での質量センサ 1 における共振周波数の変化の測定に当た

っては、前述したように、 θ モードもしくは ϕ モードの共振周波数を検出することが好ましい。つまり、例えば、図14に示したように、振動板19が、振動板19の平板面内においてバネ板18および連結板20を軸とした θ モードの揺れ振動を起こすときに、その動きは検出板21へ伝達され、検出板21に屈曲振動が生じ、検出板21表面上の圧電素子25における平板状の圧電膜23には伸縮振動が生じて圧電膜23の電気機械結合係数 k_{31} （圧電定数 d_{31} ）に基づく一定の電圧が発生する。なお、圧電素子25が、楕型電極構造を有するもの場合には、 k_{33} （ d_{33} ）に基づいて一定の電圧が発生する。なお、 ϕ モードを用いた場合も同様である。

逆に、第二電極24および第一電極22を通して圧電膜23に交流電圧をかけた場合には、圧電膜23には d_{31} あるいは d_{33} により伸縮振動が生じて検出板21が屈曲運動を起こし、振動板19の質量に応じて振動板19の振動角 θ が変化して、ある周波数のときに共振現象が生ずる。したがって、この共振周波数の変化を調べることは振動板19の質量変化の有無を調べることとなり、振動板19に被検出体が捕捉されたか否かを判断することが可能となる。なお、圧電素子25を検出板21の両平板面に2箇所設けて、得られる信号を比較演算することにより、ノイズを減少させ、他の振動モードの影響を排除し、検出精度を向上させることが可能となる。

ここで、質量センサ1の検出感度をより向上させるためには、共振部26の共振周波数の変化を大きくすることが必要であるが、このための1の手段として、振動板19とバネ板18との質量比を制御する方法が挙げられる。バネ板18を薄くして質量を軽くし、振動板19との質量比（振動板19の質量／バネ板18の質量）が大きくなるほど検出感度が向上する。

しかしながら、バネ板18を薄くして軽量化するにしたがって、バネ板18の剛性が低下するため、振動板19の厚みと面積を考慮に入れつつ、バネ板18および連結板20の剛性が確保される範囲内で、この質量比（振動板19の質量／（バネ板18の質量＋連結板20の質量））が0.1以上が好ましいが、振動板19の面積を考慮し、適宜、好適な比率にすることが好ましい。但し、これらの質量比は、前述したバネ板18についての厚さと幅およびアスペクト比の条件を

満たす範囲内で設定されることが好ましい。なお、前述した図16(c)記載の質量センサ43Cは、この1つの例である。

また、検出感度を向上させる別の手段として、振動板19を薄くして被検出体との質量比（被検出体の質量／振動板19の質量）を大きくする、すなわち、振動板19の質量変化割合を大きくする方法が挙げられる。さらに、振動板19を薄くするとき、質量を変えず表面積が大きくなるようにすると、捕捉物質を塗布する面積が大きくなりより多くの被検出体を捕捉することができるようになり、検出感度を向上させることができる。

続いて、本質量センサ1の他の用途について説明する。まず、振動板19に塗布する捕捉物質として、水分吸着材を用いた場合には、質量センサ1を水分計として使用することができる。また、振動板19に捕捉物質として特定のガス成分や有機物質、無機物質を吸着する吸着材を塗布することにより、ガスセンサ、臭気センサ、味覚センサ等として使用することができる。さらに、振動板19の温度を制御して結露させると、振動板19の質量が増大したときの温度から露点を計測する露点計としても使用することができる。

また、本質量センサ1は、膜厚計として使用することができる。対象となる膜には、真空中等で形成されるスパッタ膜やCVD膜、気体中で形成されるLB膜や液体中で形成される電着膜等が含まれる。すなわち、これらの膜形成を行う際に、質量センサ1の振動板19もしくは共振部26を同じ膜形成環境に置くと、振動板19もしくは共振部26に膜が形成されることによって質量が変化し、共振周波数が変化するので、形成された膜厚や膜の成長速度を計測することが可能となる。

従来、このような膜厚計としては、図27に示したものと同等の水晶振動子80の膜厚変化時のすべり方向共振周波数の変化を検出する水晶蒸着膜厚計が知られているが、振動子自体を蒸着雰囲気中で使用するため、温度変化や不純物の衝突等によるノイズ、真空圧の変化の影響を大きく受けるという問題がある。

これに対し、蒸着膜厚計として質量センサ1を θ モードにより使用すると、検出部29が剛体モードであるために温度変化に強く、振動板19が3～20 μ mと薄いために不純物が衝突する確率が小さくなる利点があり、さらに検出部29

とバネ板 18 および連結板 20 を一定雰囲気中に保ち易い構造を採用することができるため、水晶振動子 80 を用いた場合と比較して、測定精度の向上を図ることが可能となる。

さらに、質量センサ 1 は、振動板 19 を液体に浸漬させたときに、流体に横波のずれ波を引き起こして粘性波の進入長の部分の質量負荷を受ける粘性計としても使用することができる。

これに対し、このような粘性計としてもまた、水晶振動子 80 のすべり方向共振周波数の変化を検出する水晶粘性計が用いられているが、水晶振動子 80 自体を液体中に浸漬させるため、温度変化や液体中の不純物の衝突等のノイズの影響を受け易い欠点がある。

一方、粘性計として質量センサ 1 を θ モードにより用いた場合には、検出部 29 とバネ板 18 および連結板 20 を液体に浸漬させる必要がなく、また、検出部 29 が剛体モードであるために温度変化に強く、振動板 19 が $3 \sim 20 \mu\text{m}$ と薄いために不純物が衝突する確率が小さくなることから、測定精度の向上が図られる。

さらにまた、水晶振動子は、真空中では気体分子の摩擦や気体の粘性摩擦により電気抵抗が変化するため、摩擦真空計として用いられるが、この真空計は結果的に水晶振動子の質量負荷効果による周波数変化を測定するものであるので、基本的な測定原理が同じである本発明の質量センサ 1 もまた、真空計として用いることができる。

水晶振動子を用いた摩擦真空計においては、図 28 に示すように、音叉型に形成した振動子 90 を X 軸方向に振動させたときの抵抗値の変化を検出するものであるが、振動子 90 の厚み d_1 を薄くすることが困難であり、したがって、検出感度の向上が困難であるという問題がある。これに対し、質量センサ 1 においては、振動板 19 の厚みを $3 \sim 20 \mu\text{m}$ とする薄膜化が容易であり、 θ モードを利用することで、検出感度の向上を図ることが可能となる。

加えて、質量センサ 1 は、振動板 19 の曲げモードを用いる、すなわち、曲げモード時のヤング率変化を共振周波数の変化として検出することにより、温度センサとしても使用することが可能である。

このように、質量センサ１は多種多様なセンサとして使用することができるが、その基本的な測定原理は、振動板１９への質量負荷に基づく共振部２６の共振周波数の変化を測定しているというものである。そのため、異なる機能を有するセンサ部１３を１つの質量センサ１内に複数設けることが容易であり、例えば、温度センサや真空計、粘性センサとしての機能を質量センサ１としての使用に併用すること、すなわち、質量センサ１へ温度補正や真空度または粘性補正を行うための参照用センサを組み込むことが容易であり、このような場合には、形状の異なる複数の各用途別のセンサを集合させて用いる必要がないため、測定位置へのセンサの組み込み、取扱いや測定のための計測機器等の設備コスト等の点においても有利である。

次に、質量センサ１を例として、本発明の質量センサの作製方法について説明する。センサ基板材料としてはジルコニア等のセラミックスが好適に使用され、セラミックス粉末にバインダ、溶剤、分散剤等を添加混合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、リバースロールコーター法、ドクターブレード法等の方法により所定の厚みを有する振動プレート用、中間プレート用およびベースプレート用のそれぞれのグリーンシートあるいはグリーンテープを作製する。

次に、それぞれのグリーンシート等を金型あるいはレーザ等を用いて、例えば、図２３に示すように、中間プレート１７には貫通孔１４とバネ板１８が形成され、ベースプレート１５には貫通孔１４が形成された所定形状に打ち抜き加工し、作製した振動プレート３、中間プレート１７およびベースプレート１５用グリーンシートをこれらの順序で少なくとも各１枚ずつ積層、焼成により一体化してセンサ基板を作製する。ここで、これらのグリーンシート等の積層を行うに際して、積層位置決めのために各グリーンシートには孔部８が形成される。なお、図２３に示したグリーンシートの形状は、図１１に示した質量センサ１のセンサ部１３の形成を分かりやすいように簡略化したものである。

ここで、振動プレート３についても、貫通孔１４や振動板１９等をグリーンの状態で形成することは可能であるが、一般に、振動プレート３は $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下と薄いために、振動プレート３内に形成する振動板１９と連結板２０および検出板２１の焼結後の平坦性、寸法精度等を確保するためには、後述するレーザ加工等

でセンサ基板 2 の形成および圧電素子 2 5 の配設後に所定形状とすることが好ましい。

振動プレート 3 上の検出板 2 1 が形成される部分に第一電極 2 2、圧電膜 2 3、第二電極 2 4 からなる圧電素子 2 5 を配設する方法としては、金型を用いたプレス成形法またはスラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電膜 2 3 を成形し、この焼成前の圧電膜 2 3 を振動プレート 3 上の検出板 2 1 が形成される部分に熱圧着で積層し、同時に焼結してセンサ基板 2 と圧電膜 2 3 とを同時に作製する方法がある。但し、この場合には、電極 2 2・2 4 は後述する膜形成法により、センサ基板 2 あるいは圧電膜 2 3 に予め形成しておく必要がある。

圧電膜 2 3 の焼成温度は、これを構成する材料によって適宜定められるが、一般には、800℃～1400℃であり、好ましくは1000℃～1400℃である。この場合、圧電膜 2 3 の組成を制御するために、圧電膜 2 3 の材料の蒸発源の存在化に焼結することが好ましい。なお、圧電膜 2 3 の焼成とセンサ基板 2 との焼成を同時に行う場合には、両者の焼成条件をマッチングすることが必要となる。

一方、膜形成法を用いた場合には、焼結したセンサ基板 2 における検出板 2 1 形成位置に、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法等の厚膜形成法、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着、イオンプレーティング法、化学気相蒸着法（CVD）、メッキ等の各種薄膜形成法により、圧電素子 2 5 を配設することができる。このうち、本発明においては、圧電膜 2 3 を形成するにあたり、スクリーン印刷法やディッピング法、塗布法等による厚膜形成法が好適に採用される。これは、これらの手法は、平均粒径 0.01～5 μm、好ましくは 0.05～3 μm の圧電セラミックスの粒子を主成分とするペーストやスラリーを用いて圧電膜 2 3 を形成することができ、良好な圧電作動特性が得られる。

例えば、作製したセンサ基板 2 を所定条件にて焼成した後、振動プレート 3 の表面の所定位置に第一電極 2 2 を印刷、焼成し、次いで圧電膜 2 3 を印刷、焼成し、さらに、第二電極 2 4 を印刷、焼成して圧電素子 2 5 を配設する。そして、形成された各電極 2 2・2 4 を測定装置に接続するための電極リード 9・10 を印刷、焼成する。ここで、例えば、第一電極 2 2 として白金（Pt）を、圧電膜

23としてはジルコン酸チタン酸鉛（PZT）を、第二電極24としては金（Au）を、さらに電極リード9・10として銀（Ag）等の材料を使用すると、焼成工程における焼成温度が逐次低くなるように設定されるので、ある焼成段階において、それより以前に焼成された材料の再焼結が起こらず、電極材等の剥離や凝集といった不具合の発生を回避することが可能となる。

なお、適当な材料を選択することにより、圧電素子25の各部材と電極リード9・10を逐次印刷して、一回で一体焼成することも可能であり、圧電膜23を形成した後に低温で各電極等を設けることもできる。また、圧電素子25の各部材と電極リード9・10はスパッタ法や蒸着法等の薄膜法によって形成してもかまわず、この場合には、必ずしも熱処理を必要としない。

こうして圧電素子25を膜形成法によって形成することにより、接着剤を用いることなく圧電素子25と検出板21とを一体的に接合、配設することができるため、信頼性、再現性に優れ、集積化が容易であることから、特に好ましい。ここで、さらに圧電膜23に適当なパターンを形成してもよく、その形成方法としては、例えば、スクリーン印刷法やフォトリソグラフィ法、あるいはレーザ加工法、またはスライシング、超音波加工等の機械加工法を用いることができる。

次に、作製されたセンサ基板の所定位置に振動板19等を形成する。ここで、YAGレーザの第4次高調波を用いた加工により、振動プレート3を切り出し加工して不要部分を除去することが好ましい。こうして、例えば、図11あるいは図12に示されるような振動板19や検出板21といったセンサ基板2と一体的に接合される部位を残しながら貫通孔14を形成することができ、このとき、振動板19等の形状を調整することで、所定の共振周波数に調整し、検出できる被検出体の質量範囲を定めることが可能である。

ここで、図24に示すように、振動板19の長さを L_0 から L_1 へ短くするように振動板19の一部を切削、削除すると、共振点を高くすることができ、一方、バネ板18および連結板20の幅を t_0 から t_1 へ狭くすると、共振点を下げることが可能となる。したがって、これらの組み合わせにより、共振点の調整を行うことができる。さらに、振動板19の幅を W_0 から W_1 へ狭めることにより、回転モードを抑制し、 θ モードのQ値を大きくすること、および付着質量が同じ場合

でも付着位置による共振周波数の変動差を小さくすることが可能となる。

さらに、図 25 に示すように、第一電極 22 を上部電極、第二電極 24 を下部電極として、その中間に圧電膜 23 を形成した圧電素子 25 を一度配設した後、上部電極を YAG 第 4 次高調波レーザ、機械加工等により除去して圧電素子の有効電極面積を調整して、検出感度の調整を行うことができる。なお、圧電素子 25 の構造が、図 3 あるいは図 4 に示されるような櫛型構造である場合には、一方のあるいは両方の電極の一部を除去すればよい。

こうした共振部の加工においては、上記の YAG 第 4 次高調波レーザを用いた加工以外にも、YAG レーザおよび YAG レーザの第 2 次または第 3 次高調波、エキシマレーザ、CO₂ レーザ等によるレーザ加工、電子ビーム加工、ダイシング加工（機械加工）など、共振部の大きさと形状に適した種々の加工方法を適用することができる。

また、センサ基板 2 は、上述したグリーンシートを用いた作製方法の他に、成形型を用いた加圧成形法や鋳込成形法、射出成形法等を用いて作製することもできる。これらの場合においても、焼成前後において、切削や研削加工、レーザ加工、プレス加工による打ち抜き、あるいは超音波加工等の機械加工により加工が施され、所定形状の質量センサ 1 が得られる。

こうして作製された質量センサ 1 における圧電素子 25 ならびに電極リード 9・10 上に、図 19 に示した質量センサ 43D のように絶縁コーティング層 65 を形成する場合には、ガラスもしくは樹脂を用いて、スクリーン印刷法、塗布法、スプレー法等によって形成することができる。ここで、材料としてガラスを用いる場合には、質量センサ 1 自体をガラスの軟化温度程度まで昇温する必要があるが、また硬度が大きいため振動を阻害するおそれがあるが、樹脂は柔らかく、しかも乾燥程度の処理で済むことから、樹脂を用いることが好ましい。なお、絶縁コーティング層 65 として用いられる樹脂として、フッ素樹脂あるいはシリコン樹脂が好適に用いられる旨は既に述べたが、これらの樹脂を用いる場合には、下地のセラミックスとの密着性を改善する目的で、使用する樹脂とセラミックスとの種類に応じたプライマー層を形成し、その上に絶縁コーティング層 65 を形成することが好ましい。

次に、絶縁コーティング層 6 5 上に形成されるシールド層 6 6 の形成は、絶縁コーティング層 6 5 が樹脂からなる場合には、焼成処理を行うことが困難なため、導電性部材として種々の金属材料を用いる場合には、スパッタ法等の加熱を要しない方法を用いて行われ、一方、金属粉末と樹脂からなる導電性ペーストを用いる場合には、スクリーン印刷法、塗布法等を好適に用いることができる。なお、絶縁コーティング層 6 5 をガラスで形成した場合には、ガラスが流動しない温度以下で、金属ペーストをスクリーン印刷等し、焼成することも可能である。

最後に、振動板 1 9 もしくは共振部 2 6 全体に捕捉物質等を塗布して質量センサ 1 が完成する。そして、共振周波数の測定は、インピーダンスアナライザやネットワークアナライザを用いて行ったり、あるいは S I N S W E E P 方式や、外部から超音波等で加振して伝達関数測定をすることで行う。さらに、共振周波数値の変化を見れば、振動板 1 9 等における質量変化を測定することができる。

以下、本発明を実施例により説明するが、本実施例が本発明を限定するものではないことはいうまでもない。

図 1 1 に示される構造の質量センサを作製するにあたり、酸化イットリウムで部分安定化したジルコニアを用いて、厚みの異なる振動プレートと中間プレートおよびベースプレートのグリーンシートを作製し、所定形状に加工した後、これらの順に積層、熱圧着して 1 4 5 0 °C で一体焼結した。次に、検出板が形成される振動プレート上の所定位置に、第一電極、圧電膜、第二電極からなる圧電素子およびこれらの電極に接続する電極リードをスクリーン印刷法により形成した。なお、第一電極としては白金を、圧電膜にはジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛を主成分とする材料を、第二電極には金を、電極リードには銀を使用した。

続いて、図 1 2 に示されるセンサ部 1 3 における貫通孔、振動板、検出板が形成されるように Y A G レーザ（第 4 次高調波、波長：2 6 6 n m）を用いて加工し、質量センサ 1 を作製した。ここで、振動プレートの厚みは 7 μ m、中間プレートの厚みは 6 5 μ m、ベースプレートの厚みは 1 5 0 μ m であり、振動板の大きさは、0. 5 m m $\times$ 0. 3 m m とした。

振動板上の質量変化は、振動板の片面全体に金を $0.3\mu\text{m}$ の厚さで形成した後、前記YAGレーザで $10\mu\text{m}\phi$ のスポットパターンを複数個形成することによって質量を減少させる方向に変化させた。このときの共振周波数を加工前後で観測し、図26に示した結果を得た。本結果より、本発明による質量センサは、ナノオーダーの質量の変動に応じた共振周波数の変化を示すことが確認された。

以上、本発明の質量センサについて、共振部の振動を検出し、電気信号に変換する装置として、圧電作用を利用する圧電膜を用いた圧電変換装置を中心に説明してきた。しかしながら、このような振動の信号変換装置は、圧電作用を利用するものには限定されず、電磁誘導作用を利用するもの、静電容量変化を利用するもの、光の入射変化を利用するもの、電気抵抗変化を利用するもの、焦電作用を利用するもの等で構成してもよい。

例えば、電磁誘導を利用するものとしては、検出板に設けられるコイルと、このコイルに流れる電気信号を検出する電気回路と、当該コイルに磁場を形成する磁石（電磁石であってもよい）とを有するものが挙げられる。この場合、共振部とともにコイルが振動する際に、電磁誘導によりコイルに電流が流れ、この電流を電気回路が検出する。また、静電容量変化を利用するものは、検出板の表面に設けた一对の電極と、この電極に挟まれた誘電体と、電極に接続する電子回路を有し、この特定の空間に荷電される静電容量を電子回路により検出するものが挙げられる。

光の入射変化を利用するものには、光ダイオード等の共振部に投光するデバイスと、共振部で反射した光量を測定するデバイス（受光部）とを有するものがある。この受光部には光センサ等を用いることができ、共振部が振動するにしたがって共振部で反射する光量が変化し、その受光部でその入射光量の変化が測定される。

また、電気抵抗変化を利用するものには、大きく分けて導体を使用するもの、半導体を使用するものが挙げられる。このうち、導体を使用するものは、共振部の表面に設けた導体と、この導体に接続する電気回路を有し、共振部とともに導体が振動する際に振動により導体が歪み、抵抗が変化するので、電気回路でこの抵抗変化を検出するものである。一方、半導体を使用するものは、この導体の代

わりに半導体を用いたものである。

焦電作用を利用するものは、検出板の表面に設けた一对の電極とその間に形成された焦電体ならびに電極に接続する電子回路および熱源からなり、振動による焦電流を電子回路により検出するものが挙げられる。

これらの振動の信号変換装置は、前述した圧電素子の代わりに設置される他、共振部の励振と受振とを異なる信号変換装置、例えば、励振を圧電変換装置、受振を静電容量式変換装置で構成することも可能である。また、励振・受振装置の配置は、設けた検出板の数によっても適宜、好適な配置を選択することができ、例えば、検出板が1枚の場合にはその平面内に、検出板を2枚設けた場合には各検出板の両平面、あるいは各検出板に分けて励振・受振装置を配置させてもよい。

産業上の利用可能性

上述の通り、本発明の質量センサおよび質量検出方法によれば、振動板上で起こる種々の微小質量の変化、すなわち、振動板への質量負荷の変化を簡単に、正確に、しかも短時間で行うことができるという優れた効果を奏する。したがって、種々の被検出体を捕捉する物質を振動板に塗布した場合には、多様な化学物質や細菌、ウィルス等の微生物の検出を簡単に短時間で行うことができるガスセンサ、味覚センサ、臭気センサ、免疫センサ、水分計として使用することができ、このような捕捉物質を塗布しない場合においては、膜厚計、粘性計、真空計、温度計等として用いることが可能である。しかも、染色法に代わる免疫センサとして、あるいは臭気センサ、味覚センサとして使用した場合には、人間の感覚に依存して判断されることがないので、検査の信頼性を向上させることができる。

また、本発明の質量センサは、共振周波数の検出において、検体の温度や検体温度による質量センサ自体の材質の特性変化による変化の影響が小さく、その構成により、0.1ナノグラム（ng）の微量量まで測定することが可能であり、微量物質の検出に効果を発揮する。

さらに、本発明の質量センサは、上述した多種多様な用途に使用することができるにもかかわらず、質量負荷を受ける振動板を含む共振部の共振周波数の変化を測定するという基本的な測定原理に基づいて測定が行われるため、異なる機能

を有する共振部を1つの質量センサ内に複数設けることが容易に行える特徴を有する。したがって、各種の別個の複数をセンサを用いる必要がないため、測定位置へのセンサの組み込み、取扱いや測定のための計測機器等の設備コスト、さらには、製造設備の集約と共有による低コスト化が図れるといった極めて優れた効果を奏する。

請 求 の 範 囲

1. 検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、
少なくとも1枚の薄板状の振動板の一側面が、当該振動板の平板面と当該検出板の平板面とが互いに直交するように当該検出板の一側面に接合され、
当該検出板の他の一側面がセンサ基板に接合されて、
当該検出板と当該振動板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。
2. 連結板と振動板とが互いの側面において接合され、
検出板が、当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において、当該連結板と互いの側面において接合され、
当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、
当該連結板と当該検出板の少なくとも一部の側面が、センサ基板側面に接合されて、
当該振動板と当該連結板と当該検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。
3. 連結板と振動板とが互いの側面において接合され、
2枚の検出板が、当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において、当該連結板を挟持するように当該連結板と互いの側面において接合され、
少なくとも一方の当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設され、
当該連結板と当該各検出板の少なくとも一部の側面が、センサ基板の側面に接合されて、
当該振動板と当該連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。
4. 一方の検出板の少なくとも一方の平板面に当該圧電素子が配設され、他方の検出板には当該他方の検出板と当該連結板との接合方向に垂直な方向に1以上のスリットが形成されていることを特徴とする請求の範囲第3項記載の質量センサ。

5. 当該各検出板の少なくとも同方向の平板面にそれぞれ当該圧電素子が配設され、一方の検出板に配設された当該圧電素子における圧電膜の分極方向と、他方の検出板に配設された当該圧電素子における圧電膜の分極方向とが、互いに逆向きであることを特徴とする請求の範囲第3項または第4項記載の質量センサ。

6. 直接には接合されない連結板と検出板とが、振動板との接合方向が互いに平行となるように、当該振動板とそれぞれ側面において接合され、

当該連結板および当該検出板がセンサ基板の一側面に接合され、

当該検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設されて、

当該振動板と当該連結板と当該検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。

7. 2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた凹部の側部側面の間に跨設され、

2枚の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、それぞれ当該各連結板と当該凹部の底部側面に跨設され、

当該各検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設されて、

当該振動板と当該各連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。

8. 2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた貫通孔に跨設され、

少なくとも複数の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、当該各連結板と当該貫通孔の側面との間もしくは当該振動板と当該貫通孔の側面との間に跨設され、

少なくとも1枚の当該各検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に圧電素子が配設されて、

当該振動板と当該各連結板と当該各検出板および当該圧電素子から共振部が形成されてなることを特徴とする質量センサ。

9. 当該各連結板もしくは当該振動板を介して対向する各対の当該各検出板にお

いて、一方の検出板の少なくとも一方の平板面に当該圧電素子が配設され、他方の検出板には、当該他方の検出板と当該各連結板もしくは当該振動板との接合方向に垂直な方向に、1以上のスリットが形成されていることを特徴とする請求の範囲第8項記載の質量センサ。

10. 当該各連結板もしくは当該振動板を介して対向する各対の当該各検出板の少なくとも同方向の平板面にそれぞれ当該圧電素子が配設され、

一方の検出板に配設された当該圧電素子における圧電膜の分極方向と、他方の検出板に配設された当該圧電素子における圧電膜の分極方向とが、互いに逆向きであることを特徴とする請求の範囲第8項または第9項記載の質量センサ。

11. 当該振動板と当該連結板および当該検出板が、互いの接合により同一平板面を形成していることを特徴とする請求の範囲第2～10項のいずれか一項に記載の質量センサ。

12. 当該検出板が、当該連結板および当該センサ基板により形成される凹部に嵌合され、接合されていることを特徴とする請求の範囲第2～11項のいずれか一項に記載の質量センサ。

13. 当該振動板と当該各連結板および当該各検出板が、1枚の振動プレートから一体的に形成され、当該センサ基板が当該振動プレートとベースプレートを積層して、一体的に形成されてなることを特徴とする請求の範囲第2～12項のいずれか一項に記載の質量センサ。

14. 当該連結板の一方の平板面もしくは両平板面に、バネ板が貼合され、当該バネ板が、当該センサ基板もしくはバネ板補強部に接合されてなることを特徴とする請求の範囲第2～13項のいずれか一項に記載の質量センサ。

15. 当該バネ板が、当該振動プレートと当該ベースプレートとの間に嵌挿されて一体化される中間プレートと一体的に形成され、もしくは当該振動プレートと一体的に形成されるバネ板補強部と一体的に形成されつつ、当該各連結板と一体的に形成されてなることを特徴とする請求の範囲第14項記載の質量センサ。

16. 当該バネ板に貼合され、かつ、当該センサ基板の側面に接合された補強板を有することを特徴とする請求の範囲第14項または第15項記載の質量センサ。

17. 当該補強板が、当該バネ板および当該センサ基板と一体的に形成されてな

ることを特徴とする請求の範囲第 16 項記載の質量センサ。

18. 当該振動板の少なくとも一部に被検出体とのみ反応して当該被検出体を捕捉する捕捉物質が塗布され、当該捕捉物質に当該被検出体が捕捉されていない状態および当該捕捉物質に当該被検出体が捕捉された後の状態における当該共振部の共振周波数を、当該圧電素子で測定し、

測定された共振周波数の変化から捕捉された当該被検出体の質量を測定することを特徴とする請求の範囲第 1～17 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

19. 当該共振部が当該センサ基板に少なくとも 2 箇所以上設けられ、少なくとも 1 箇所の共振部における振動板には当該捕捉物質が塗布されていないことを特徴とする請求の範囲第 18 項記載の質量センサ。

20. 当該共振部が当該センサ基板に少なくとも 2 箇所以上設けられ、当該共振部の振動板の少なくとも一部に、それぞれ異なる当該捕捉物質を塗布してなることを特徴とする請求の範囲第 18 項または第 19 項記載の質量センサ。

21. 当該共振部が当該センサ基板に少なくとも 2 箇所以上設けられ、当該各共振部からの信号を積算することで、ダイナミックレンジを大きくとることを特徴とする請求の範囲第 1～20 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

22. 当該センサ基板内部に任意形状の貫通孔を形成し、当該貫通孔の内周面に当該共振部を形成したことを特徴とする請求の範囲第 1～21 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

23. 1つの当該圧電素子を 2 分割し、一方を駆動用として用い、他方を検出用として用いることを特徴とする請求の範囲第 1～22 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

24. 当該圧電素子を 1つの共振部に対して 2 箇所配設し、当該一方の圧電素子を駆動用として用い、当該他方の圧電素子を検出用として用いることを特徴とする請求の範囲第 1～23 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

25. 当該センサ基板上の当該振動板と当該圧電素子との中間位置に一对の電極からなる位置センサが設けられていることを特徴とする請求の範囲第 1～24 項のいずれか一項に記載の質量センサ。

26. 当該圧電素子および当該圧電素子の電極に導通する電極リードが、樹脂ま

たはガラスからなる絶縁コーティング層により被覆されていることを特徴とする請求の範囲第1～25項のいずれか一項に記載の質量センサ。

27. 当該樹脂がフッ素樹脂もしくはシリコン樹脂であることを特徴とする請求の範囲第26項記載の質量センサ。

28. 当該絶縁コーティング層の表面上に、さらに導電性部材からなるシールド層が形成されていることを特徴とする請求の範囲第26項または第27項記載の質量センサ。

29. 当該センサ基板、当該振動板、当該連結板、当該検出板および当該バネ板が、安定化ジルコニアあるいは部分安定化ジルコニアからなることを特徴とする請求の範囲第1～28項のいずれか一項に記載の質量センサ。

30. 当該圧電素子における圧電膜が、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料からなることを特徴とする請求の範囲第1～29項のいずれか一項に記載の質量センサ。

31. 当該振動板、当該連結板、当該検出板もしくは当該バネ板の少なくともいずれかの形状が、レーザ加工もしくは機械加工によりトリミングして寸法調整されたものであることを特徴とする請求の範囲第1～30項のいずれか一項に記載の質量センサ。

32. 当該圧電素子における電極がレーザ加工もしくは機械加工され、当該圧電素子の有効電極面積が調整されたものであることを特徴とする請求の範囲第1～31項のいずれか一項に記載の質量センサ。

33. 少なくとも1枚の薄板状の振動板の一側面が、当該振動板の平板面を検出板の圧電素子を配した平板面に直交するようにして、当該検出板の一側面に接合され、当該検出板の他の一側面がセンサ基板に接合されてなる質量センサにおいて、

当該振動板が、当該振動板と当該検出板との接合面を固定面として、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直かつ当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れをともないながら振り子

状に振動する ϕ モード揺れ振動、あるいは、

当該振動板の当該垂直軸方向における振動、

の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を、当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法。

34. 連結板と振動板とが互いの側面において接合され、少なくとも1枚の検出板が当該振動板と当該連結板との接合方向と直交する方向において当該連結板と互いの側面において接合され、当該連結板と当該検出板の少なくとも一部の側面が当該センサ基板側面の一部に接合された、少なくとも1個以上の圧電素子を有する質量センサにおいて、

当該振動板が、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、

当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直かつ当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動する ϕ モード揺れ振動、

の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法。

35. 2枚の連結板によって、振動板を互いの側面で接合して挟持したものが、センサ基板に設けられた凹部の側部側面もしくは貫通孔に跨設され、少なくとも複数の検出板が、当該各連結板が当該振動板を挟持する方向と直交する方向において、当該各連結板と当該凹部の底部側面もしくは当該貫通孔の側面との間あるいは当該振動板と当該凹部の底部側面もしくは当該貫通孔の側面との間に跨設されてなる少なくとも1個の圧電素子を有する質量センサにおいて、

当該振動板が、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、

当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動する θ モード揺れ振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直

な方向への揺れが当該振動板の側面に平行な方向の揺れをともないながら振り子状に振動するφモード揺れ振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直な方向であって、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に平行に振動する揺れ振動、または、

当該振動板の平板面内における回転振動、

の少なくともいずれかの振動に基づく共振周波数を当該圧電素子により測定することを特徴とする質量センサの質量検出方法。

図 1

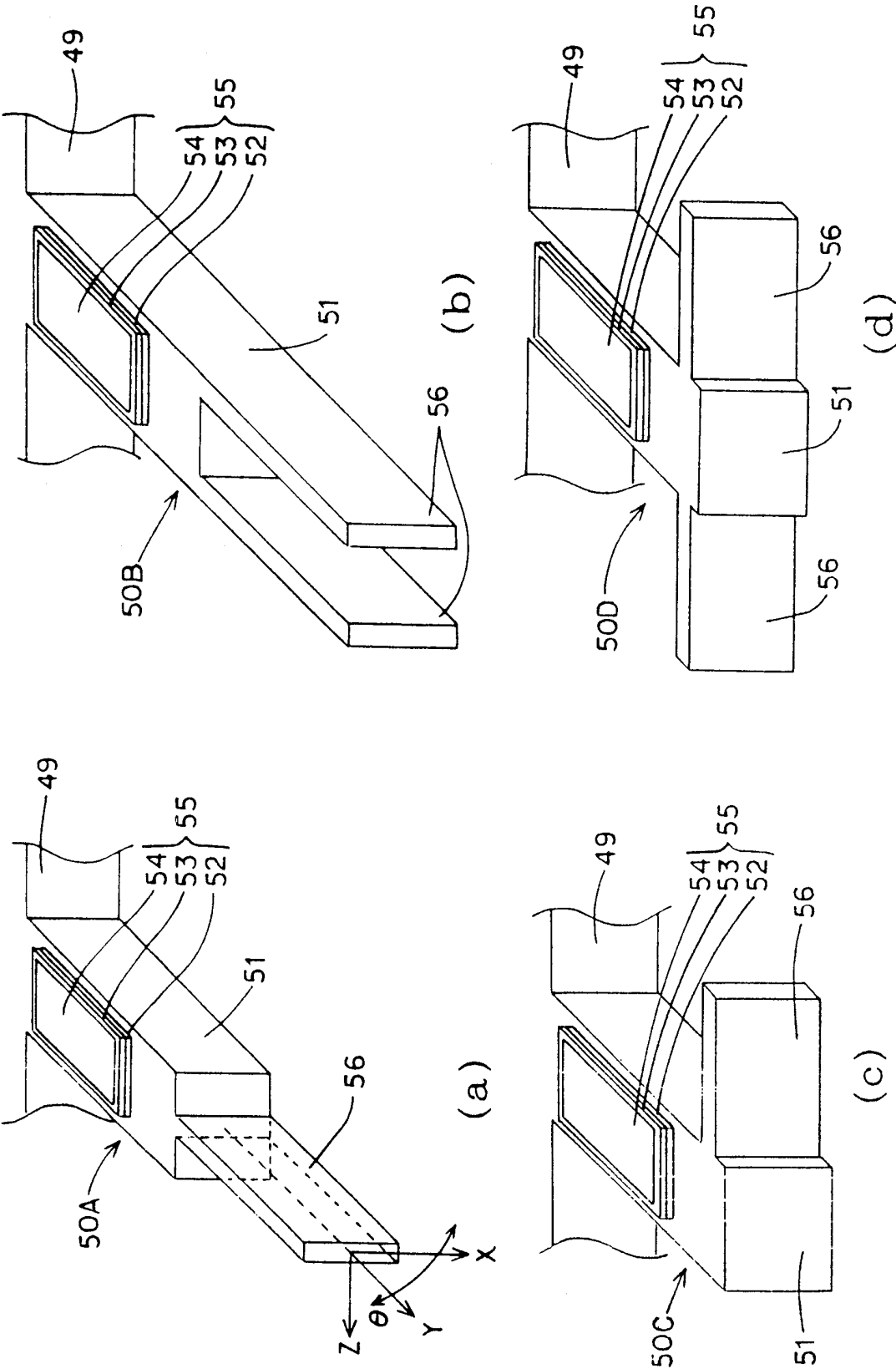


図2

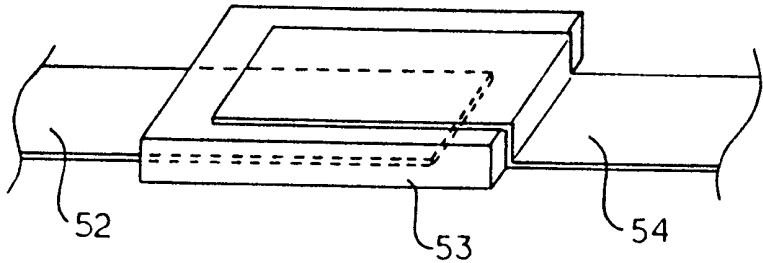


図3

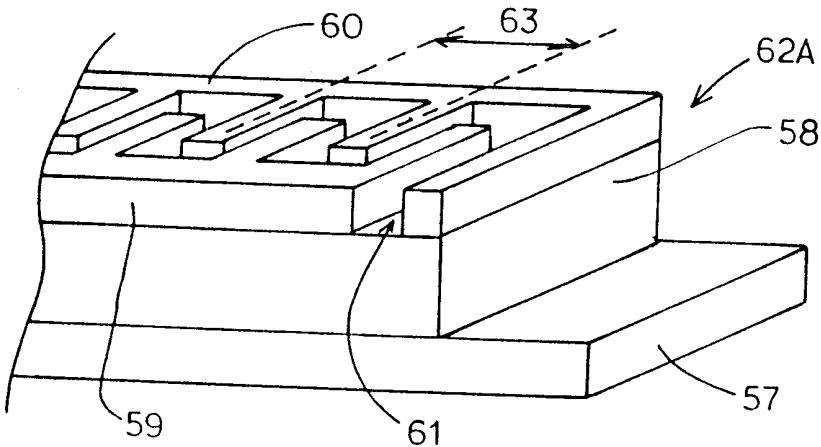
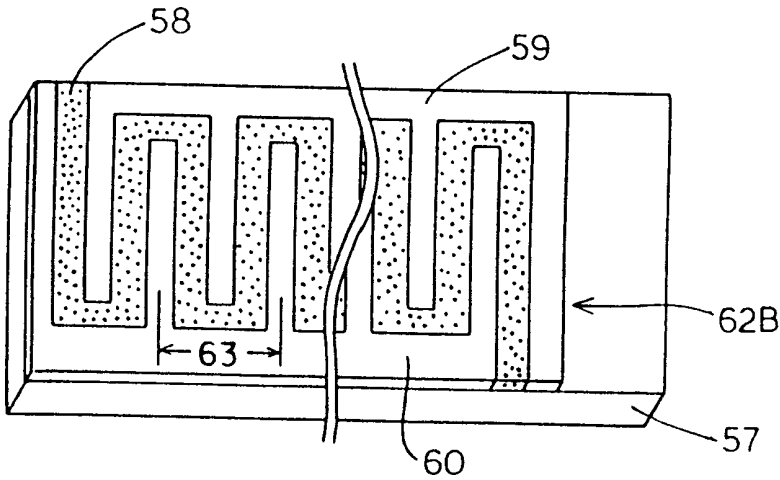
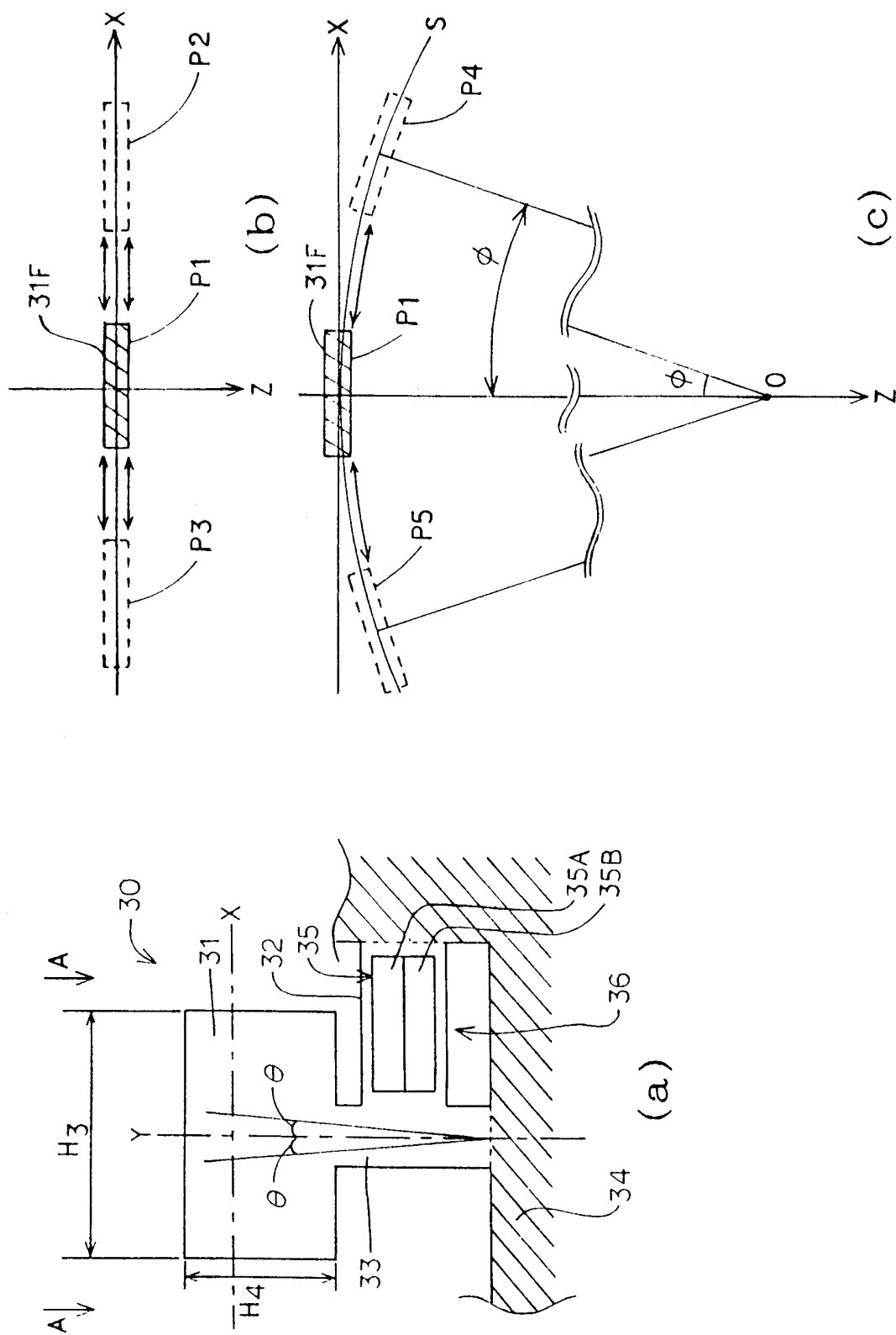


図4

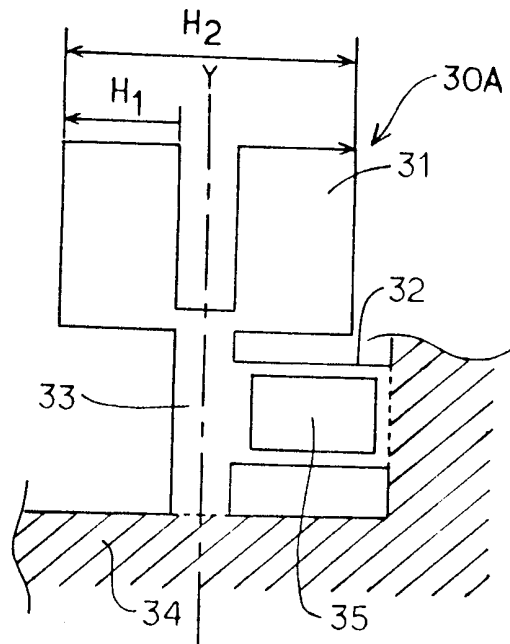


5



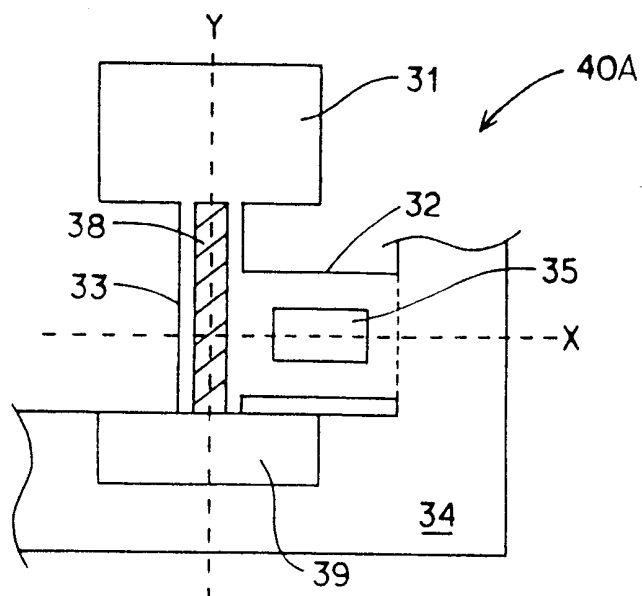
4/19

図6

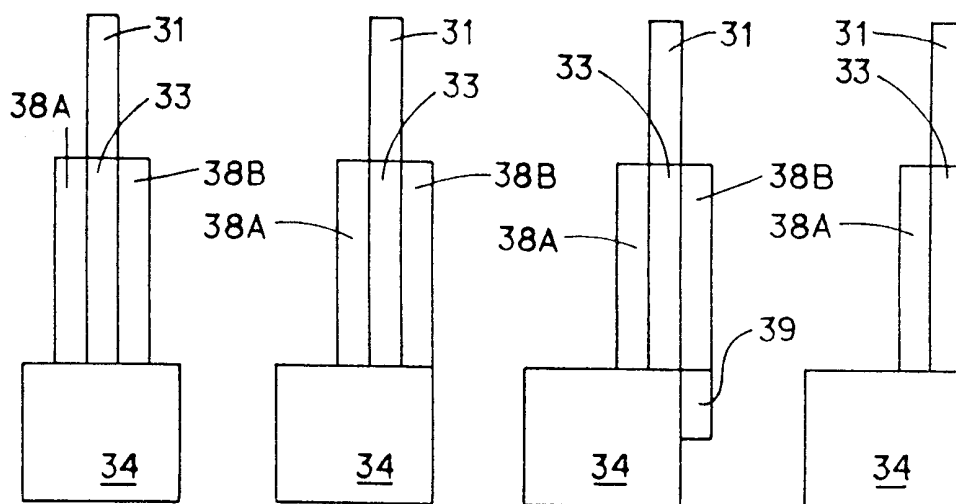


5/19

図7



(a)



(b)

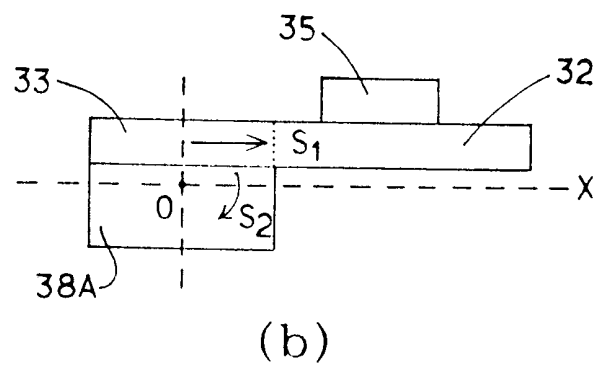
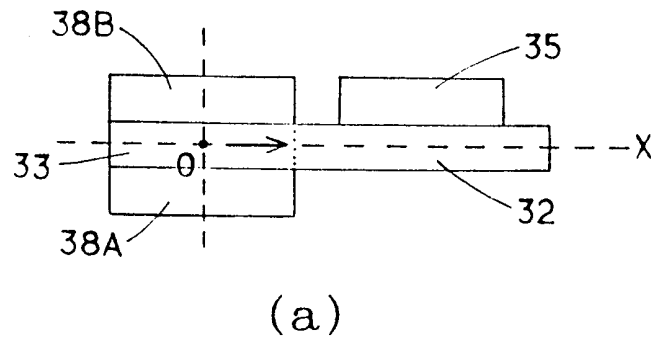
(c)

(d)

(e)

6/19

図8



7/19

図9

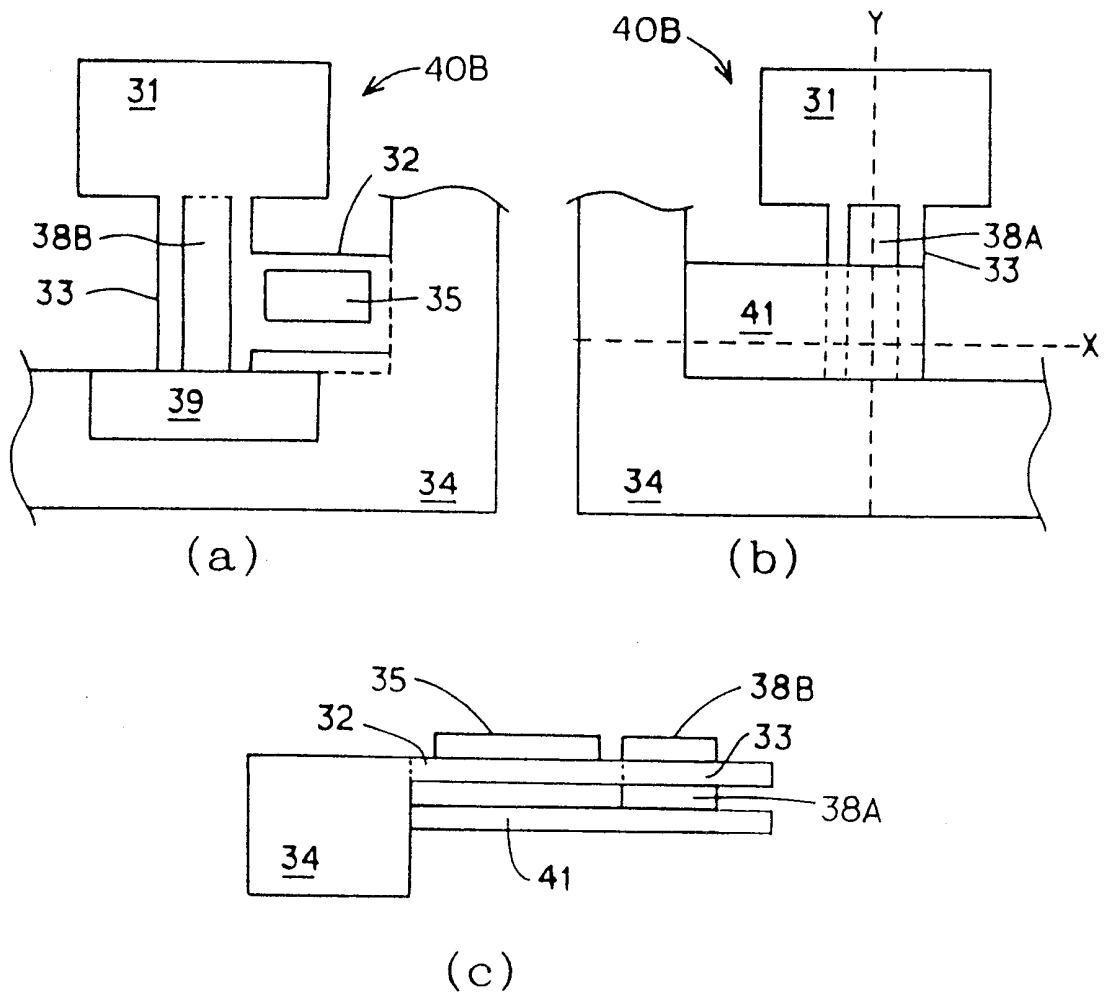
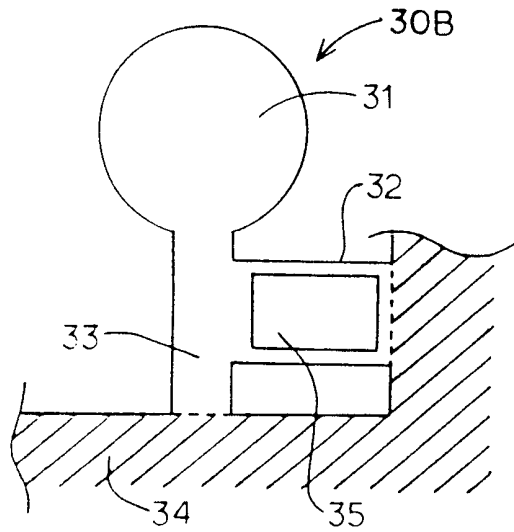
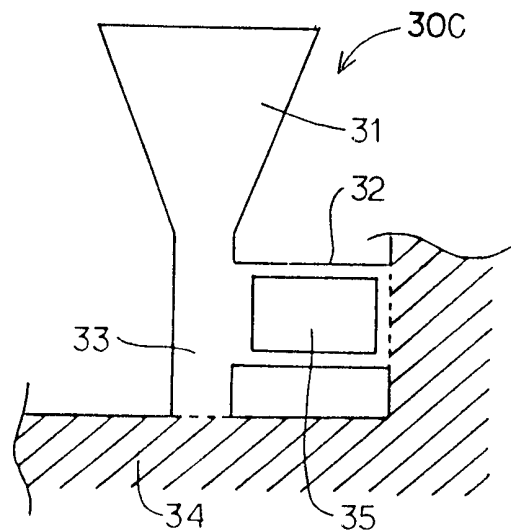


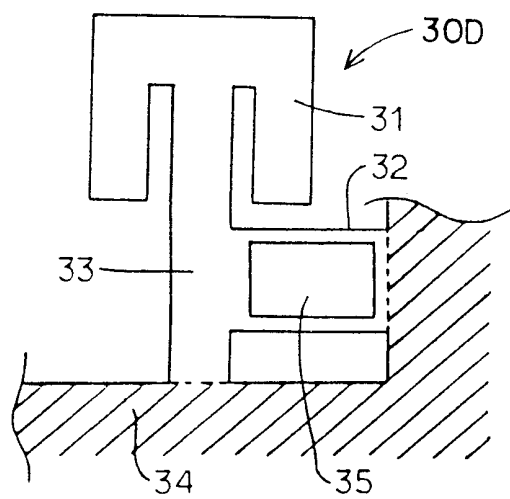
図10



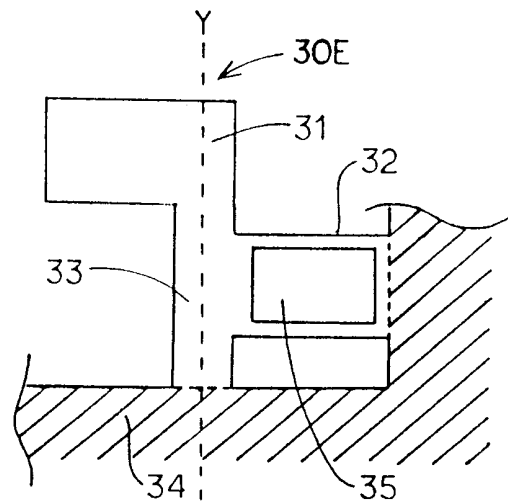
(a)



(b)



(c)



(d)

图 11

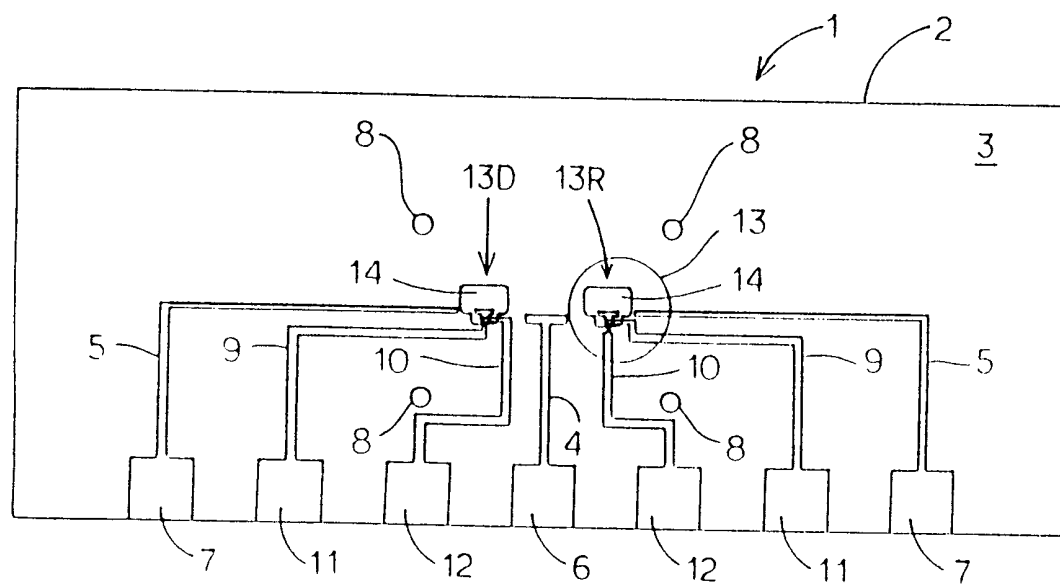
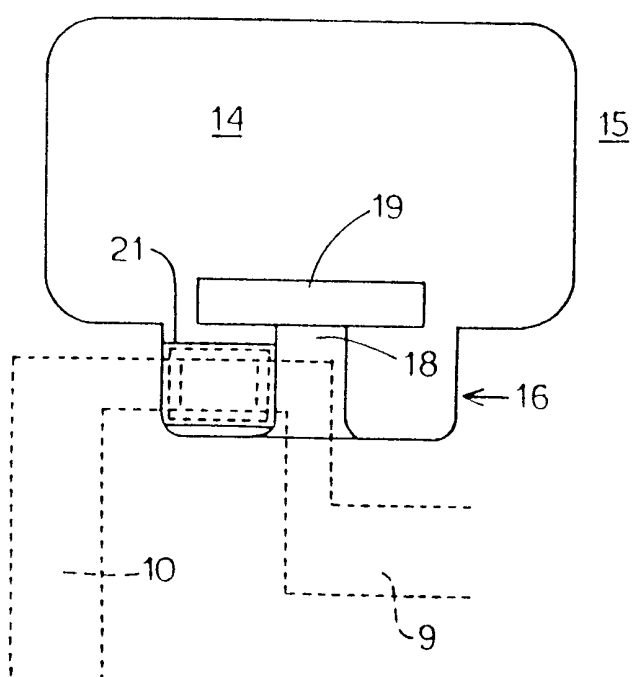


图 12



11/19

図15

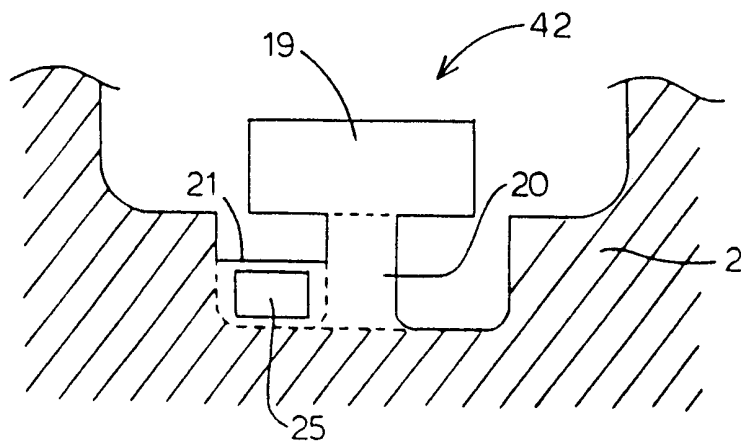
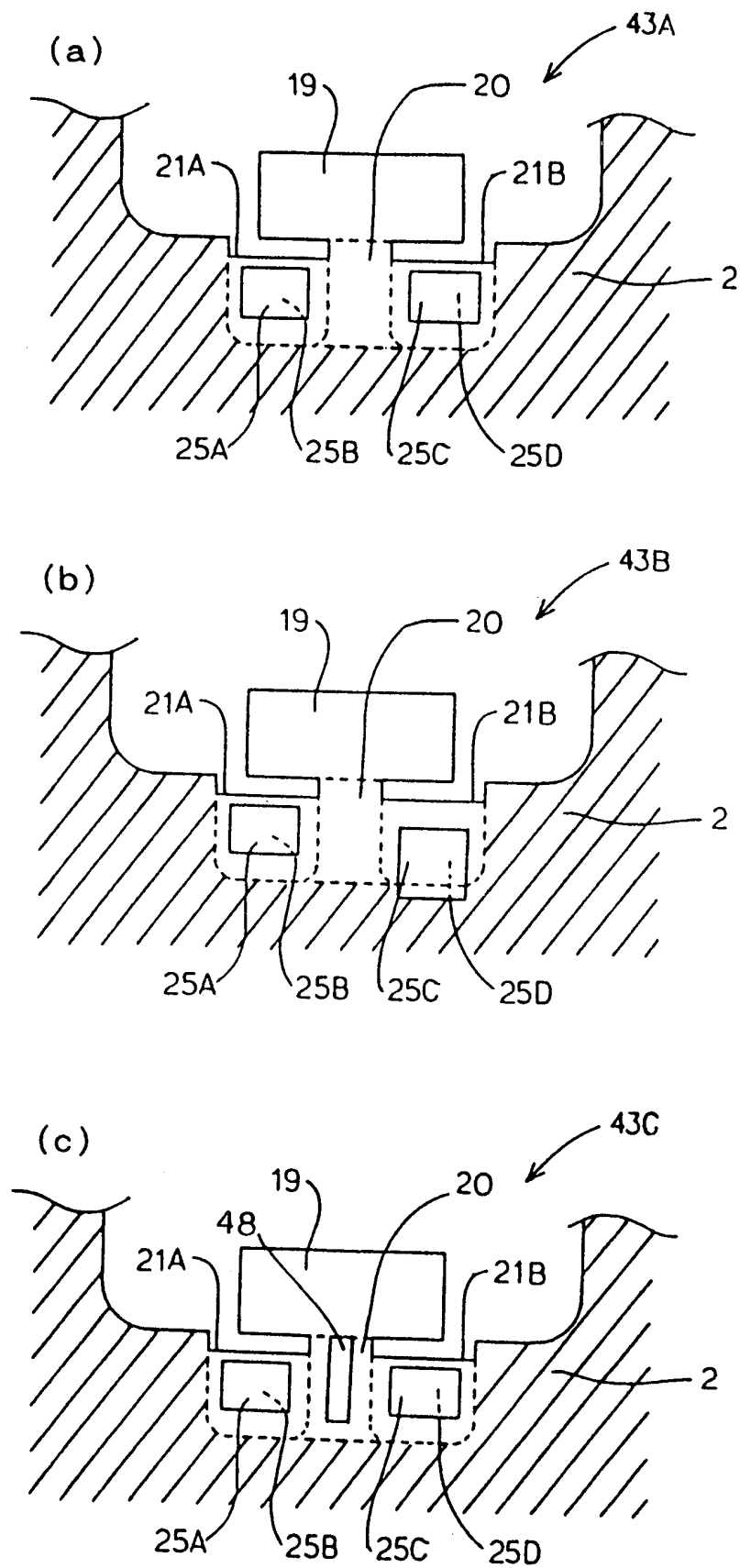


図 16



13/19

図 17

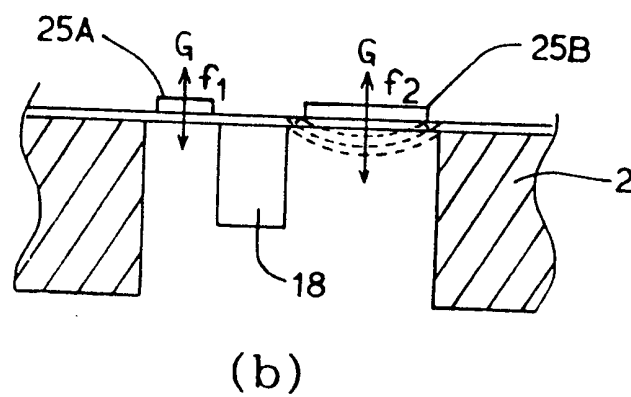
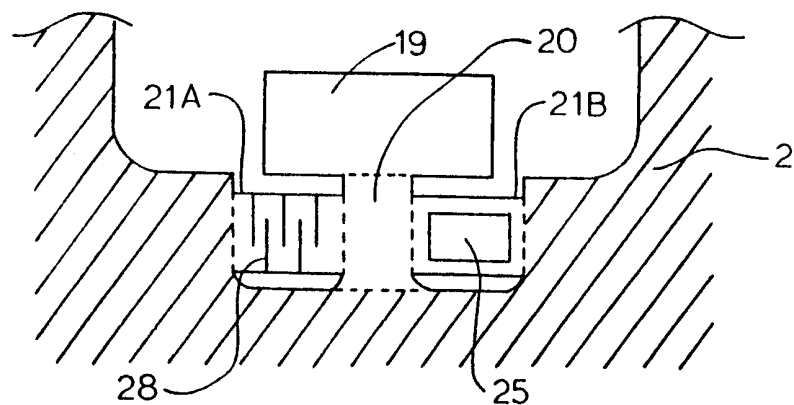
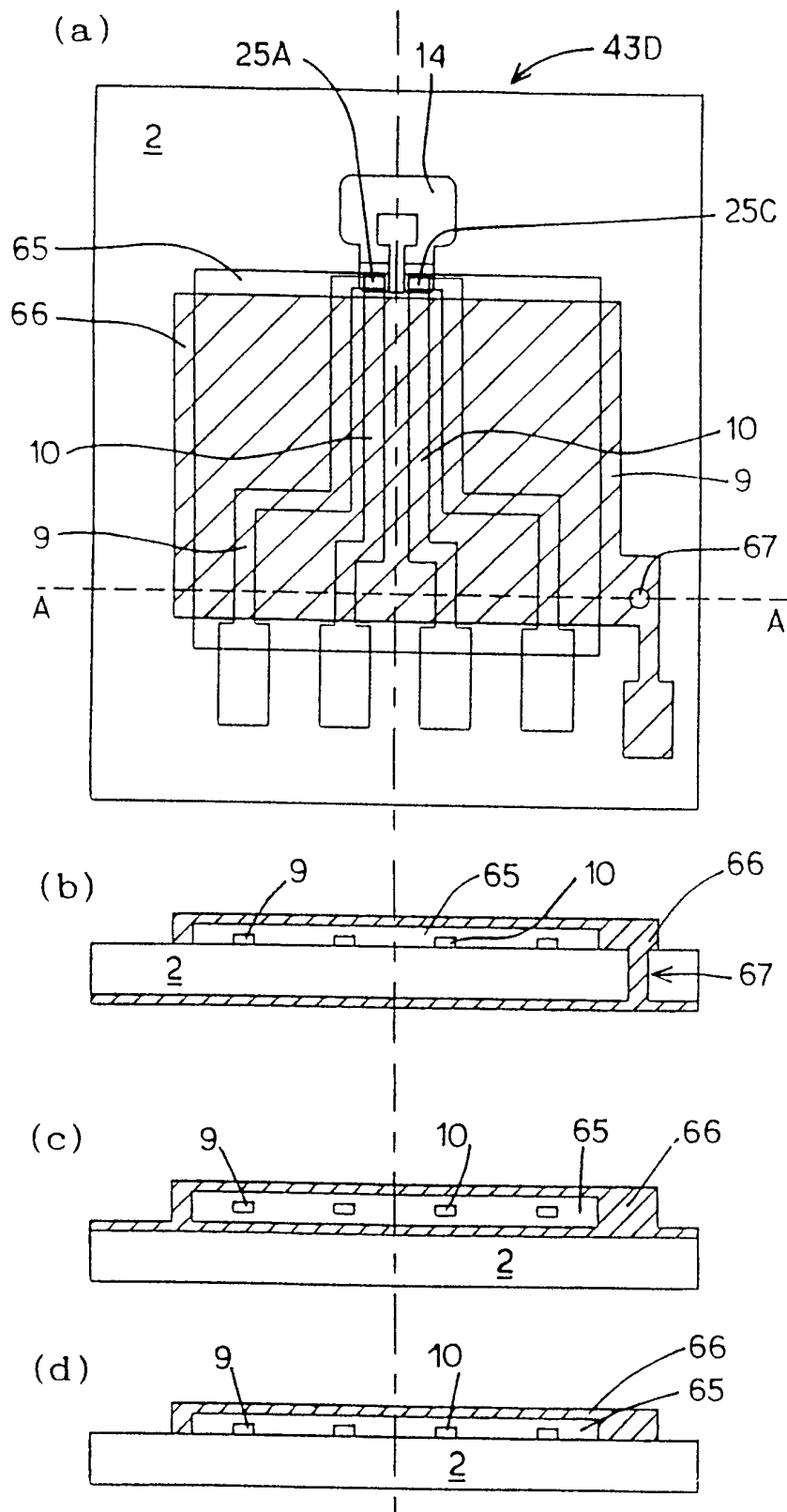


図 18



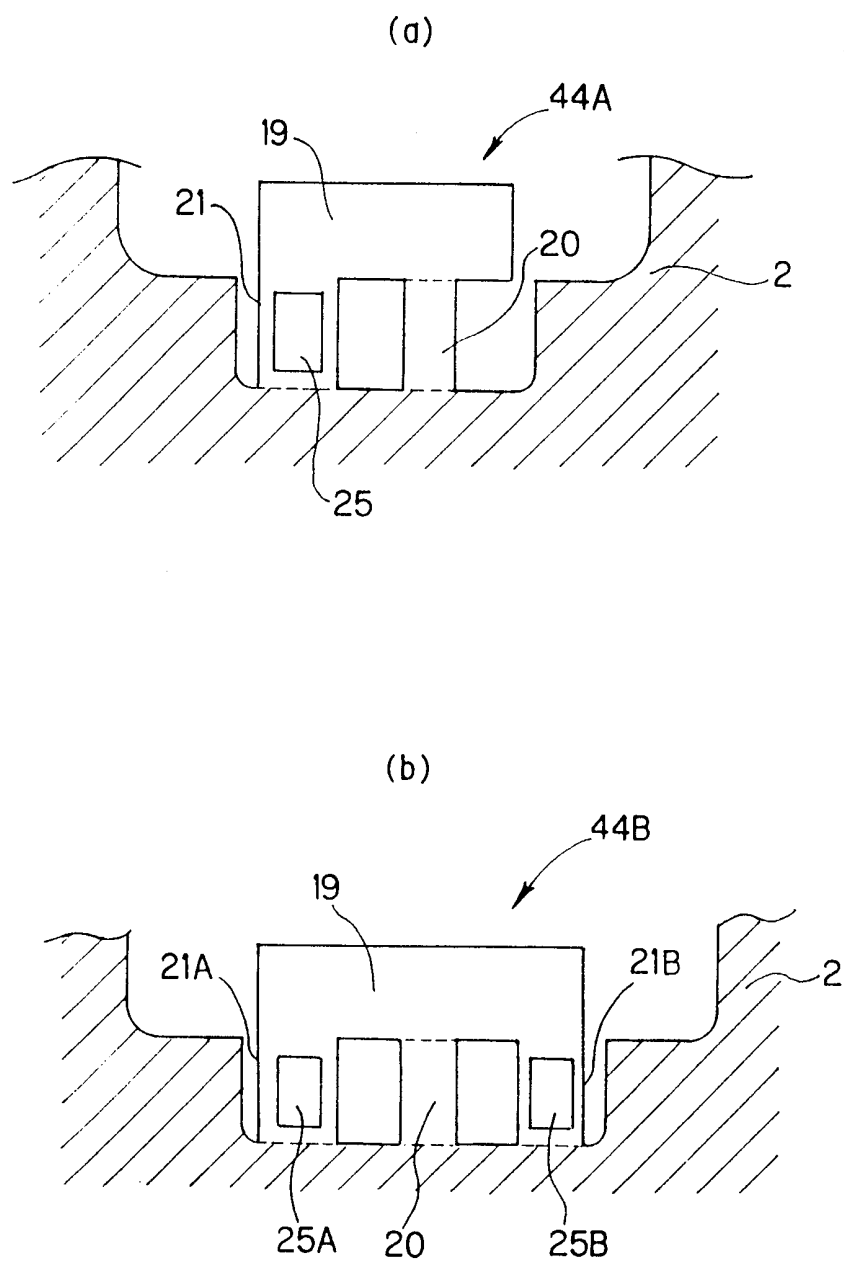
14/19

図19



15/19

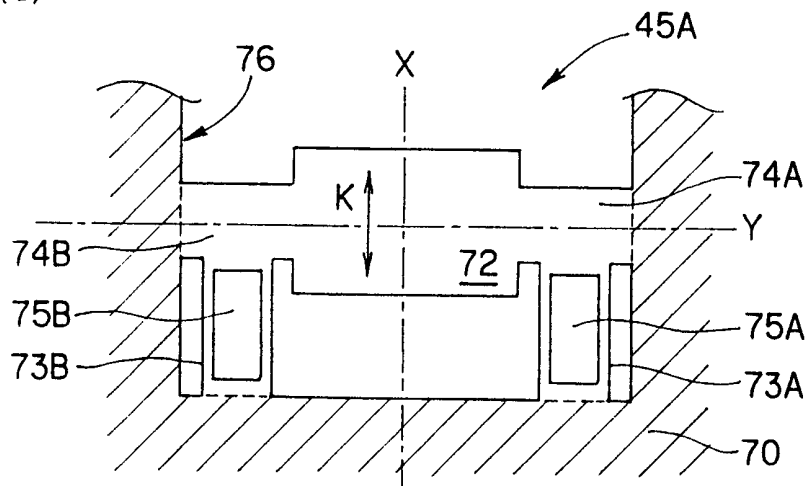
図20



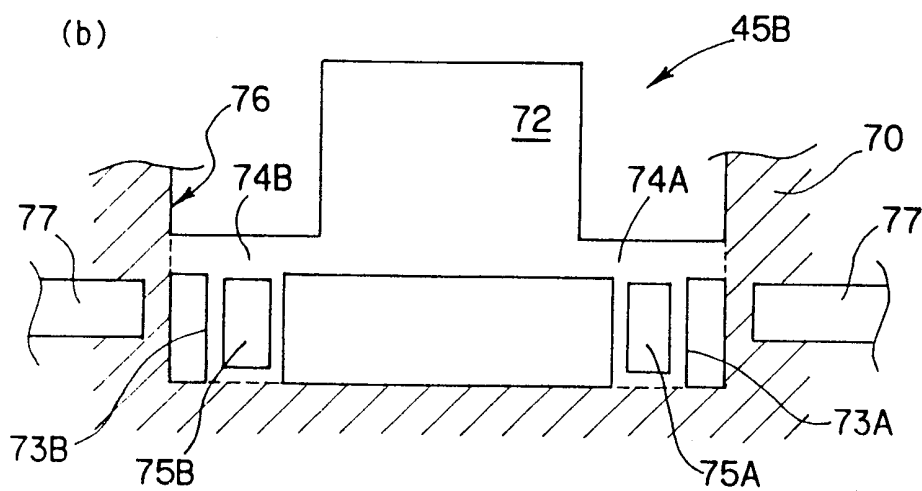
16/19

21

(a)



(b)



(c)

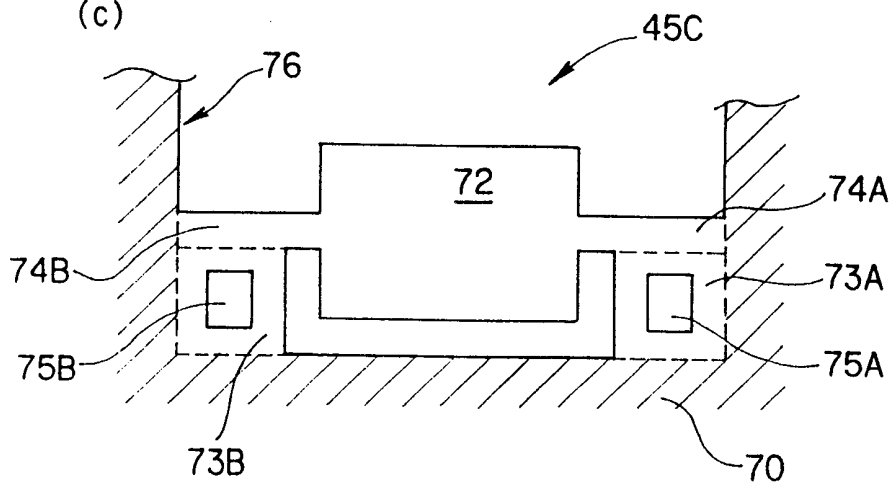
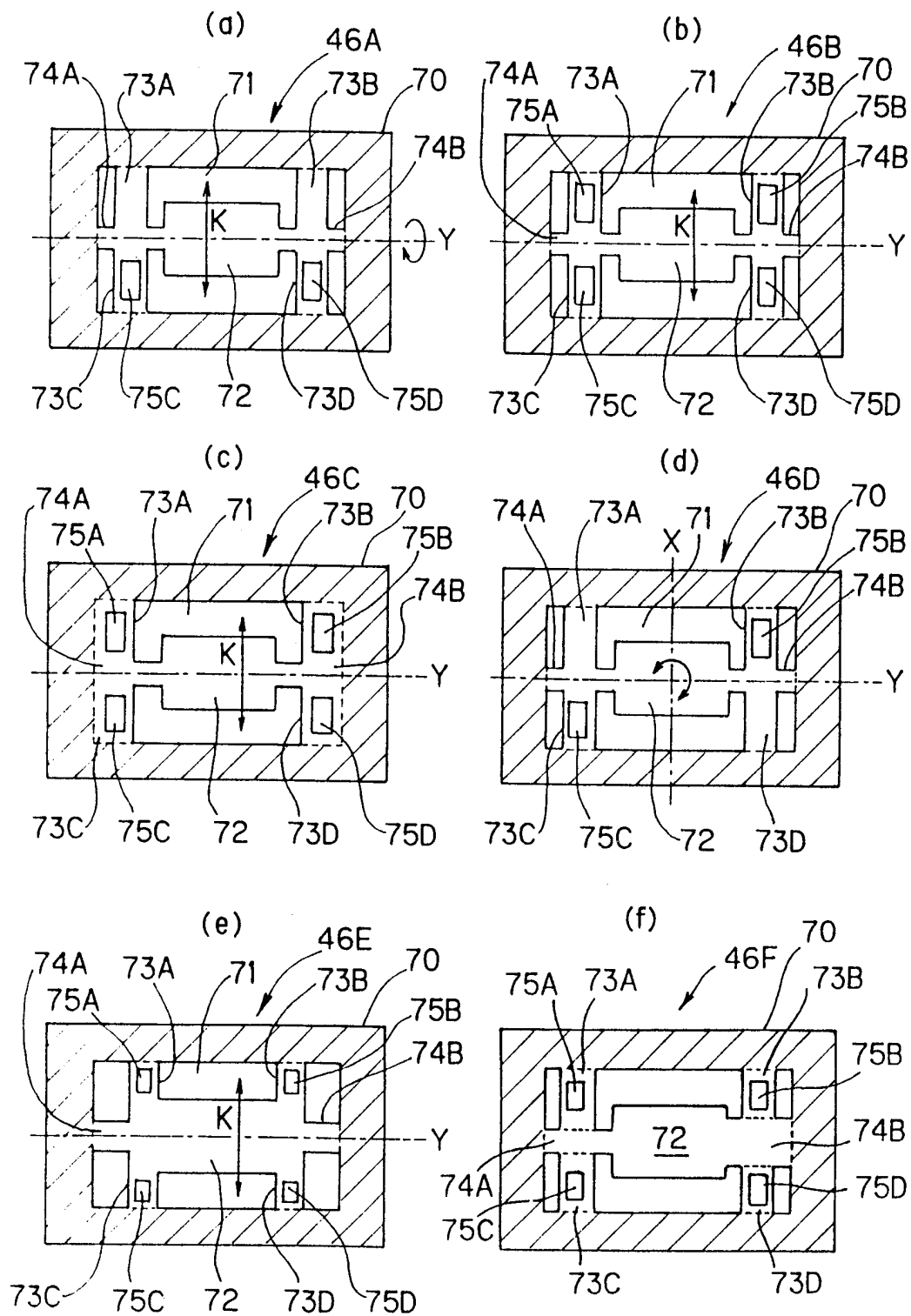


図22



18/19

図23

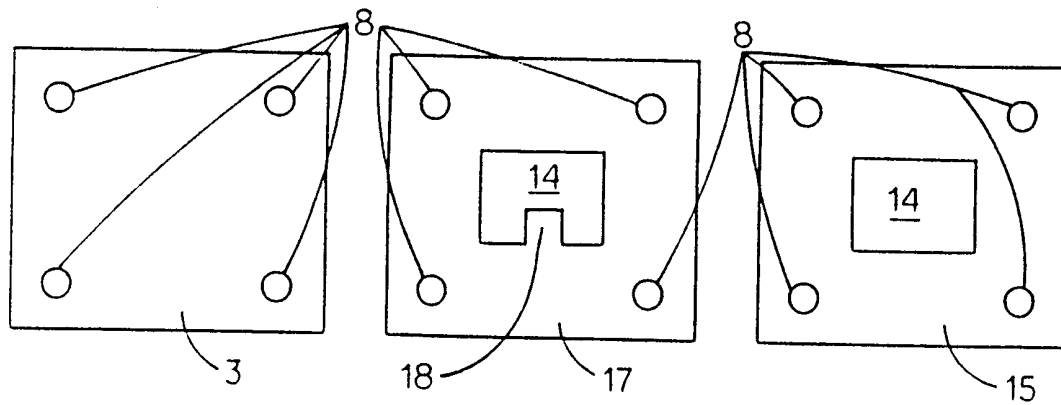


図24

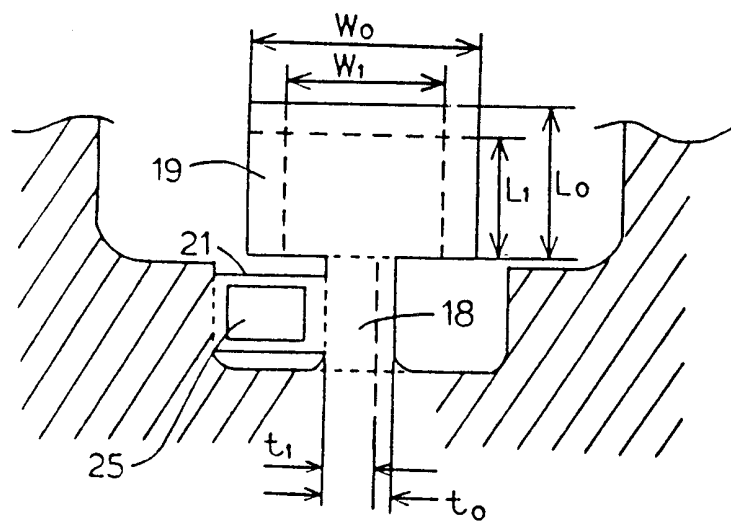


図25

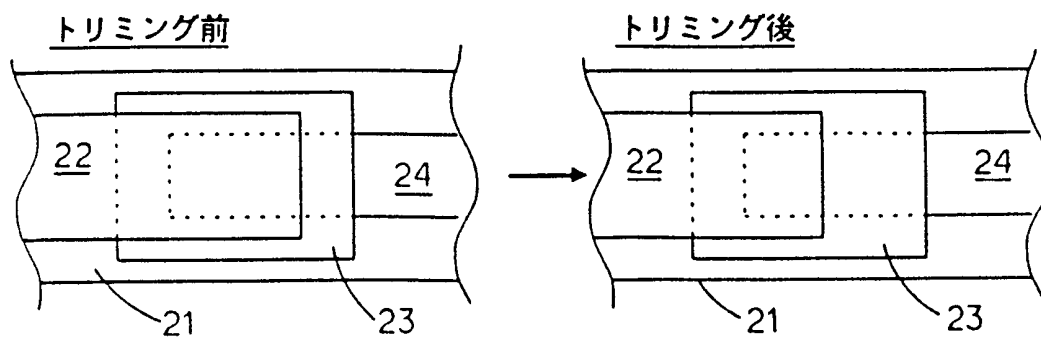


図26

19/19

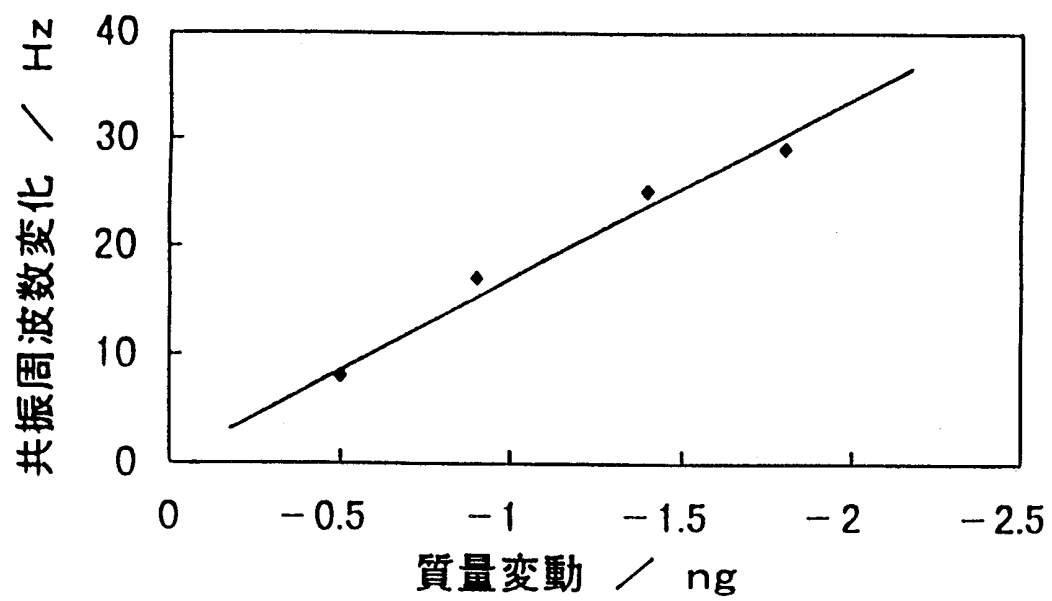


図27

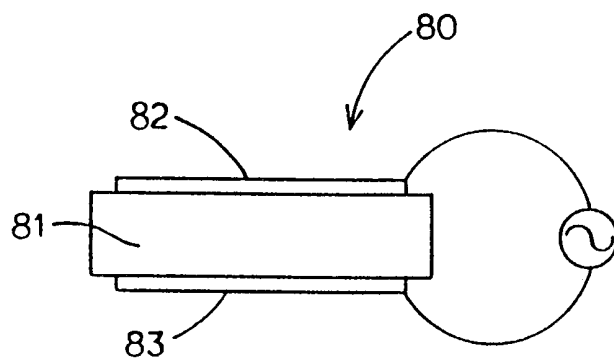
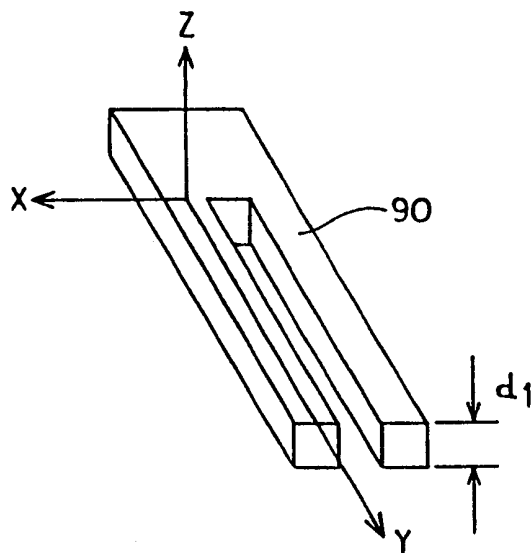


図28



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03969

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ G01G3/13, 3/16, G01N5/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ G01G3/13, 3/16, G01N5/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1957-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 61-231419, A (NOK Corp.), 15 October, 1986 (15. 10. 86), Full text ; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP, 63-200028, A (Japan Atomic Energy Research Institute), 18 August, 1988 (18. 08. 88), Full text ; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP, 62-64934, A (Seiko Instruments Inc.), 24 March, 1987 (24. 03. 87), Full text ; all drawings & US, 4789804, A & EP, 215669, A1	1-35

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 November, 1998 (26. 11. 98)Date of mailing of the international search report
8 December, 1998 (08. 12. 98)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁶ G01G 3/13, 3/16 G01N 5/02		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁶ G01G 3/13, 3/16 G01N 5/02		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1957-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年 日本国実用新案登録公報 1996-1998年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 61-231419, A (エヌオーケー株式会社) 15.10月.1986 (15.10.86) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	J P, 63-200028, A (日本原子力研究所) 18.8月.1988 (18.08.88) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	J P, 62-64934, A (セイコー電子工業株式会社) 24.3月.1987 (24.03.87) 全文, 全図&US, 4789804, A&EP, 215669, A1	1-35
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 26.11.98	国際調査報告の発送日 08.12.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 榮 永 雅 夫 印 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F 8706