

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2006-200976
(P2006-200976A)

(43) 公開日 平成18年8月3日(2006. 8. 3)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
GO 1 S	7/521	(2006.01)	GO 1 S	7/52	A	4 C 6 0 1		
A 6 1 B	8/00	(2006.01)	A 6 1 B	8/00		5 D 0 1 9		
HO 4 R	17/00	(2006.01)	HO 4 R	17/00	3 3 2 B	5 J 0 8 3		
HO 4 R	19/00	(2006.01)	HO 4 R	19/00	3 3 0			
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 28 頁)								
(21) 出願番号	特願2005-11484 (P2005-11484)		(71) 出願人	000004260				
(22) 出願日	平成17年1月19日 (2005. 1. 19)			株式会社デンソー				
				愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地				
			(74) 代理人	100095795				
				弁理士 田下 明人				
			(72) 発明者	伊藤 知樹				
				愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会				
				社デンソー内				
			(72) 発明者	杉浦 真紀子				
				愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会				
				社デンソー内				
			F ターム (参考)	4C601	EE09	GA01	GA03	GB04 GB06
						GB14	GB19	HH35
						5D019	BB18	DD01
			最終頁に続く					

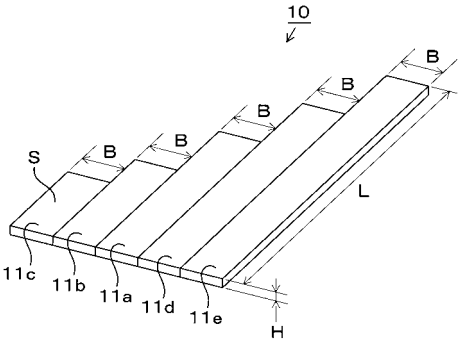
(54) 【発明の名称】 超音波センサ

(57) 【要約】

【課題】 振動板間の音響的クロストークを低減して検出対象物の位置および距離の高精度な測定が可能で小型・軽量の超音波センサを低コストに提供する。

【解決手段】 超音波センサの受信部 1 0 を構成する各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e は、超音波の受信面 S を同一方向に向け、長さ方向の一端部が一直線上に揃えられると共に幅方向にほとんど隙間無く並べられることにより同一平面上にて 1 次元配置され、その幅 B および厚み H は同一で、長さ L だけが異なるように形成されている。また、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e の長さ方向の両端部は振動不能に固定されている。そして、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e の 1 次共振周波数が異なる値になるように、その長さ L が設定されている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

受信した超音波を電気信号に変換するか又は電気信号を超音波に変換して発信する複数の変換手段を備え、各変換手段の 1 次共振周波数が一致しないように、当該各変換手段の寸法を不揃いにしたことを特徴とする超音波センサ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の一端部が一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて 1 次元配置され、その幅および厚みは同一で、長さだけが異なるように形成されていることを特徴とする超音波センサ。 10

【請求項 3】

請求項 1 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて 1 次元配置され、その長さおよび厚みは同一で、幅だけが異なるように形成されていることを特徴とする超音波センサ。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて 1 次元配置され、その長さおよび幅は同一で、厚みだけが異なるように形成されていることを特徴とする超音波センサ。 20

【請求項 5】

請求項 1 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向けて並べられることにより、同一平面上にて縦横方向に 2 次元配置され、その長さ、幅、厚みはそれぞれ異なる寸法に形成されていることを特徴とする超音波センサ。 30

【請求項 6】

請求項 2～5 のいずれか 1 項に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は、前記受信面または前記発信面が面一になるように配置されていることを特徴とする超音波センサ。

【請求項 7】

請求項 2～6 のいずれか 1 項に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は、その長さ方向の両端部が振動不能に固定されていることを特徴とする超音波センサ。 40

【請求項 8】

請求項 7 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段の共振値 Q は同一であり、

前記各変換手段のうちの任意の変換手段の 1 次共振周波数 f_1 に対して、当該変換手段の次に寸法が大きい又は小さい変換手段の 1 次共振周波数 f が、整数である任意の係数 n を用いて、以下の数式で表されることを特徴とする超音波センサ。

$$f = f_1 \pm n \times f_1 / Q$$

【請求項 9】

請求項 8 に記載の超音波センサにおいて、

前記係数 $n = 7$ または前記係数 $n = 8$ であることを特徴とする超音波センサ。

【請求項 10】

請求項 8 または請求項 9 に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段の長さ L 、幅 B 、厚み H 、1 次共振周波数 f は、以下の数式で表されることを特徴とする超音波センサ。

$$f = (B \times H^3)^{1/2} / L^2$$

【請求項 11】

請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の超音波センサにおいて、

前記変換手段は、圧電式または静電容量式であることを特徴とする超音波センサ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超音波センサに係り、詳しくは、受信した超音波を電気信号に変換するか又は電気信号を超音波に変換して発信する超音波センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、音響測深機や魚群探知機などの垂直ソナー、船舶が目標物の方向および自船からの距離を測定するための水平ソナー、臓器を画像化して診断するための超音波診断装置など、様々な分野に超音波センサが広く利用されている。

20

【0003】

また、近年、自動車（車両）に超音波センサを搭載し、その超音波センサから発信した人体に無害な超音波の反射を受信することにより、自動車の周囲にある物体の 2 次元あるいは 3 次元の位置測定および距離測定を行い、自動車の周囲を監視して安全走行に役立てる技術の開発がすすめられている。

例えば、自動車の後部に超音波センサを搭載し、自動車の後方に存在する物体（人間や障害物など）を検知する装置（一般に「バックソナー」と呼ばれる）を用い、当該物体との衝突を回避してバックでの駐車を支援する自動駐車支援システムが実用化されている。

【0004】

このような検出対象物の位置測定および距離測定に使用される超音波センサ（超音波探触子）として、例えば、有機高分子を介して連結された複数の圧電体素子からなる複合圧電体と、この複合圧電体の一方の面上に互いに間隙を保って複数個配列されたアレイ電極とを備え、上記アレイ電極の間隙部にあたる上記複合圧電体の部分には上記有機高分子より音波減衰係数の大きい充填材を充填したものが開示されている（特許文献 1 参照）。

30

【特許文献 1】特開平 5 - 3 4 7 7 9 7 号公報（第 2 ～ 4 頁 図 1 ～ 図 3）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 の技術を含め、従来の超音波センサにおいて、受信（受音）した超音波を電気信号に変換する受信部は、同一寸法形状の複数の振動板（特許文献 1 のアレイ電極）を同一平面上にて 1 方向に整然と並べて配置する 1 次元配置、または、同一寸法形状の複数の振動板を同一平面上にて縦横 2 方向に整然と並べて配置する 2 次元配置のいずれかの構造をとる。

40

そして、外部から入力した電気信号を超音波に変換して発信（発音）する超音波センサの発信部が、検出対象物に対して超音波を発信し、その超音波が検出対象物に反射した反射音を受信部の各振動板で受信する。

【0006】

そこで、受信部が複数の振動板（受音板）で受信した超音波のタイミングのずれを検出し、その受信した超音波のタイミングのずれと発信部が発射した超音波とを比較するこ

50

とにより、検出対象物の２次元あるいは３次元の位置測定、超音波センサと検出対象物との距離測定などを行うことができる。

【０００７】

また、従来の超音波センサの発信部は、通常、１個の振動板（発音板）から検出対象物に対して超音波を発信する。

尚、複数の振動板から超音波を発信するタイプも提案されているが、そのタイプの発信部は、受信部と同様に、同一寸法形状の複数の振動板を同一平面上に１次元配置または２次元配置した構造をとる。

そして、発信部が複数の振動板を備える理由は、超音波の発信出力を増大することにある。

10

【０００８】

ところで、従来の受信部は、同一寸法形状の複数の振動板が並べて配置されているため、各振動板は全て同じ共振周波数をもつことになり、各振動板間における音響的クロストークが大きくなることから、検出対象物の位置および距離の測定精度が低下するという問題があった。

【０００９】

そこで、特許文献１の技術では、複数の配列されたアレイ電極（振動板）の間隙部に位置する複合圧電体の部分に、複合圧電体を構成する有機高分子に比べて音波減衰係数の大きい充填材を充填することにより、各アレイ電極間における音響的クロストークを低減して方位分解能を高めるようにしている。

20

【００１０】

しかし、特許文献１の技術では、充填材を充填するための製造工程が必要になるため、その製造工程分だけ製造コストが増大するという問題がある。さらに、特許文献１の技術では、充填材の体積分および重量分だけ、超音波センサ（超音波探触子）の全体寸法（体格）および重量が大きくなるという問題もある。

また、近年、検出対象物の位置および距離の測定精度を向上させるために、発信部から発信される超音波を和音にすることが要求されている。

【００１１】

本発明は上記問題を解決するため又は上記要求を満足するためになされたものであって、以下の目的を有するものである。

30

（１）振動板間の音響的クロストークを低減して検出対象物の位置および距離の高精度な測定が可能で小型・軽量の超音波センサを低コストに提供する。

（２）発信する超音波を和音にすることが可能な超音波センサを低コストに提供する。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

請求項１に記載の発明は、受信した超音波を電気信号に変換するか又は電気信号を超音波に変換して発信する複数の変換手段を備え、各変換手段の１次共振周波数が一致しないように、当該各変換手段の寸法を不揃いにした超音波センサを技術的特徴とする。

【００１３】

請求項２に記載の発明は、

40

請求項１に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の一端部が一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて１次元配置され、その幅および厚みは同一で、長さだけが異なるように形成されていることを技術的特徴とする。

【００１４】

請求項３に記載の発明は、

請求項１に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

50

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて１次元配置され、その長さおよび厚みは同一で、幅だけが異なるように形成されていることを技術的特徴とする。

【００１５】

請求項４に記載の発明は、

請求項１に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向に並べられることにより、同一平面上にて１次元配置され、その長さおよび幅は同一で、厚みだけが異なるように形成されていることを技術的特徴とする。 10

【００１６】

請求項５に記載の発明は、

請求項１に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は平板矩形状であり、

前記各変換手段は、超音波を受信するための受信面または超音波を発信するための発信面を同一方向に向けて並べられることにより、同一平面上にて縦横方向に２次元配置され、その長さ、幅、厚みはそれぞれ異なる寸法に形成されていることを技術的特徴とする。

【００１７】

請求項６に記載の発明は、

請求項２～５のいずれか１項に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は、前記受信面または前記発信面が面一になるように配置されていることを技術的特徴とする。 20

【００１８】

請求項７に記載の発明は、

請求項２～６のいずれか１項に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段は、その長さ方向の両端部が振動不能に固定されていることを技術的特徴とする。

【００１９】

請求項８に記載の発明は、

請求項７に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段の共振値Ｑは同一であり、

前記各変換手段のうちの任意の変換手段の１次共振周波数 f_1 に対して、当該変換手段の次に寸法が大きい又は小さい変換手段の１次共振周波数 f が、整数である任意の係数 n を用いて、以下の数式で表されることを技術的特徴とする。

$$f = f_1 \pm n \times f_1 / Q$$

【００２０】

請求項９に記載の発明は、

請求項８に記載の超音波センサにおいて、

前記係数 $n = 7$ または前記係数 $n = 8$ であることを技術的特徴とする。 40

【００２１】

請求項１０に記載の発明は、

請求項８または請求項９に記載の超音波センサにおいて、

前記各変換手段の長さ L 、幅 B 、厚み H 、１次共振周波数 f は、以下の数式で表されることを技術的特徴とする。

$$f = (B \times H^3)^{1/2} / L^2$$

【００２２】

請求項１１に記載の発明は、

請求項１～１０のいずれか１項に記載の超音波センサにおいて、 50

前記変換手段は、圧電式または静電容量式であることを技術的特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

(請求項1)

請求項1の発明において、受信した超音波を電気信号に変換する受信素子として各変換手段を機能させ、各変換手段から受信部を構成する場合には、受信部とは別に設けた超音波センサの発信部が、検出対象物に対して超音波を発信し、その超音波が検出対象物に反射した反射音を受信部の各受信素子(変換手段)で受信する。

そして、受信部が各受信素子(変換手段)で受信した超音波のタイミングのずれを検出し、その受信した超音波のタイミングのずれと発信部が発射した超音波とを比較することにより、検出対象物の2次元あるいは3次元の位置測定、超音波センサと検出対象物との距離測定などを行うことができる。

【0024】

そこで、各受信素子(変換手段)の1次共振周波数が一致しないように、各受信素子の寸法を不揃いにすれば、各受信素子が互いの振動によって受ける影響をほとんど無視できる小さな値にすることが可能になり、各受信素子間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0025】

従って、請求項1の発明によれば、各受信素子(変換手段)の寸法だけを異ならせるだけでよく、超音波センサの製造に特別な工程が必要ないため、充填材を充填するための製造工程が必要な特許文献1の技術に比べて、超音波センサの製造コストを低減することができる。

また、請求項1の発明によれば、各受信素子(変換手段)の寸法だけを異ならせるだけでよく、各受信素子間には振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設ければよいので、充填材の体積分および重量分だけ全体寸法および重量が大きくなる特許文献1の技術に比べて、超音波センサを小型・軽量化することができる。

尚、受信素子(変換手段)の個数および配置間隔は、必要な前記測定精度に応じてカット・アンド・トライで実験的に最適値を見つけて設定すればよい。

【0026】

また、請求項1の発明において、外部から入力した電気信号を超音波に変換して発信する発信素子として各変換手段を機能させ、各変換手段から発信部を構成する場合には、各発信素子の1次共振周波数が異なる値に設定されているため、各発信素子(変換手段)から発信される超音波を和音にすることができる。

【0027】

(請求項2：第1実施形態に該当)

請求項2の発明によれば、各変換手段間に振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設けて各変換手段を並べ、各変換手段の長さだけを異ならせるだけで、請求項1の発明の作用・効果を得ることが可能になる。

【0028】

(請求項3：第2実施形態に該当)

請求項3の発明によれば、各変換手段間に振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設けて各変換手段を並べ、各変換手段の幅だけを異ならせるだけで、請求項1の発明の作用・効果を得ることが可能になる。

また、請求項3の発明によれば、受信部または発信部の全体形状が平板矩形状になるため、請求項2の発明に比べて、各変換手段の長さ方向の両端部の構造を単純化することが可能になり、超音波センサの作製が容易になることから、超音波センサの製造コストを更に低減することができる。

【0029】

(請求項4：第3実施形態に該当)

請求項4の発明によれば、各変換手段間に振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間

10

20

30

40

50

だけを設けて各変換手段を並べ、各変換手段の厚みだけを異ならせるだけで、請求項1の発明の作用・効果を得ることが可能になる。

また、請求項4の発明によれば、請求項3の発明に比べて、受信部または発信部の幅が小さくなり、受信部または発信部を上方から見た平面寸法が小さくなるため、受信部または発信部をパッケージ）に収容した場合の体積を小さくすることが可能になり、超音波センサを更に小型・軽量化することができる。

【0030】

（請求項5：第4実施形態に該当）

請求項5の発明によれば、各変換手段間に振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設けて各変換手段を並べ、各変換部の長さ，幅，厚みはそれぞれ異なる寸法に設定することで、請求項1の発明の作用・効果を得ることが可能になる。 10

また、請求項5の発明によれば、各変換手段を2次元配置することにより、各変換手段を受信素子として機能させた場合に、検出対象物の位置および距離の測定精度を更に高めることができる。

【0031】

（請求項6）

請求項6の発明によれば、各変換手段の受信面または発信面を面一に配置することにより、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

また、各変換手段を受信素子として機能させた場合には、各受信素子の受信面を面一に配置しないと、各受信素子で受信した超音波のタイミングのずれを補正しなければならず、受信部が生成した電気信号を処理するのに複雑な信号処理回路が必要になる。 20

それに対して、請求項6の発明によれば、各受信素子（変換手段）で受信した超音波のタイミングのずれを補正する必要がなく、受信部が生成した電気信号を処理する信号処理回路を簡略化できる。

【0032】

（請求項7）

請求項7の発明によれば、請求項1の作用・効果が確実に得られる。

【0033】

（請求項8）

請求項8の発明によれば、前記数式における係数 n を大きな値に設定するほど、各変換手段を受信素子として機能させた場合に、各受信素子（変換手段）の1次共振周波数の差が大きくなるため、各受信素子が互いの振動によって受ける影響が小さくなり、検出対象物の位置および距離の測定精度を高くできる。 30

しかし、係数 n を大きな値に設定するほど、各受信素子の寸法差が大きくなり、受信部の全体寸法および重量も大きくなる。

従って、係数 n の値は、必要な前記測定精度に応じてカット・アンド・トライで実験的に最適値を見つけて設定すればよい。

【0034】

（請求項9）

請求項9の発明のように、係数 $n = 7$ または係数 $n = 8$ に設定すれば、請求項1の作用・効果を実用上十分に得られる。 40

【0035】

（請求項10）

請求項10の発明によれば、請求項1の作用・効果が確実に得られる。

【0036】

（請求項11）

請求項11の発明によれば、圧電式または静電容量式の超音波センサを得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明を具体化した各実施形態について図面を参照しながら説明する。
尚、各実施形態において、第1実施形態と同一の構成部材については符号を等しくすると共に、同一内容の箇所については重複説明を省略してある。

【0038】

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態における超音波センサの受信部10の斜視図である。

受信部10は、5個の受信素子(変換手段)11a~11eから構成されている。

平板矩形状の各受信素子11a~11eは、超音波の受信面Sを同一方向に向け、長さ方向の一端部が一直線上に揃えられると共に幅方向にほとんど隙間無く並べられることにより、受信面Sが面一になるように同一平面上にて1次元配置され、その幅Bおよび厚みHは同一で、長さLだけが異なるように形成されている。 10

【0039】

そして、各受信素子11a~11eの長さ方向の両端部は、固定部材(図示略)に取り付けられることにより、振動不能に固定されている。

尚、受信部10は、どのような方法で作製してもよく、例えば、別々に作製した各受信素子11a~11eを組み立ててもよく、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術を利用して半導体基板上に一体形成してもよい。

【0040】

[受信素子の構造]

図2~図4は、各受信素子11a~11eの第1~第3構造例を示す概略縦断面図である。尚、図2~図4では厚み方向(高さ方向)を誇張して図示してある。 20

【0041】

<第1構造例>

図2に示す第1構造例において、圧電式の各受信素子11a~11eは、下部電極21、受信電極22a~22e、複合圧電体23などから構成されている。

尚、図2では、各受信素子11a, 11b, 11dおよび各受信電極22a, 22b, 22dだけを図示してある。

【0042】

平板矩形状の各受信電極22a~22eは、各受信素子11a~11e毎に独立して設けられている。 30

尚、各受信電極22a~22e間には、隣接する受信電極22a~22eの振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間が設けられているだけで、ほとんど隙間無く並べられている。

【0043】

各受信電極22a~22eと平板状の下部電極21とは平行に配置され、各受信電極22a~22eと下部電極21との間には複合圧電体23が挟設されている。

複合圧電体23は、複数個の柱状の圧電体素子24と、有機高分子層25とから構成されている。

尚、各圧電体素子24は、1個の受信電極22a~22eだけに接続され、隣接する2個の受信電極22a~22eには接続されないように配置されている。 40

【0044】

各圧電体素子24は、その上下端部が各受信電極22a~22eおよび下部電極21にそれぞれ接続されている。

有機高分子層25は、各圧電体素子24の隙間に充填され、各圧電体素子24を互いに結合する。つまり、各圧電体素子24は有機高分子層25中に埋め込まれている。

尚、各圧電体素子24は、強誘電体(例えば、PZTなど)からなる。

また、有機高分子層25は、例えば、シリコンゴム、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂などからなる。

【0045】

そして、積層された受信電極22aと複合圧電体23と下部電極21から受信素子11 50

aが構成され、積層された受信電極22bと複合圧電体23と下部電極21から受信素子11bが構成される、という具合に、複合圧電体23を各受信電極22a～22eおよび下部電極21で挟設した構造の各受信素子11a～11eが形成されている。

【0046】

ここで、受信電極22a～22eの表面が超音波の受信面Sとなり、超音波により受信電極22a～22eが振動すると、その振動は複合圧電体23に伝達され、複合圧電体23が振動すると圧電効果により電気信号が生成され、その電気信号は受信電極22a～22eおよび下部電極22に接続された配線（図示略）を介して出力される。

つまり、第1構造例の各受信素子11a～11eでは、受信電極22a～22eと下部電極21および複合圧電体23の積層構造から振動板（受音板）が構成され、その振動板の受信した超音波が電気信号に変換される。 10

【0047】

＜第2構造例＞

図3に示す第2構造例において、圧電式の各受信素子11a～11eは、下部電極21、受信電極22a～22e、誘電体層31a～31eなどから構成されている。

尚、図3では、各受信素子11a、11b、11d、各受信電極22a、22b、22d、各誘電体層31a、31b、31dだけを図示してある。

各受信電極22a～22eと下部電極21との間には、強誘電体（例えば、PZTなど）からなる誘電体層31a～31eが挟設されている。

【0048】

そして、積層された受信電極22aと誘電体層31aと下部電極21から受信素子11aが構成され、積層された受信電極22bと誘電体層31bと下部電極21から受信素子11bが構成される、という具合に、各受信素子11a～11eが形成されている。

尚、各受信電極22a～22eおよび各誘電体層31a～31eの間には、隣接する受信電極22a～22eおよび誘電体層31a～31eの振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間が設けられているだけで、ほとんど隙間無く並べられている。

【0049】

ここで、受信電極22a～22eの表面が超音波の受信面Sとなり、超音波により受信電極22a～22eが振動すると、その振動は誘電体層31a～31eに伝達され、誘電体層31a～31eが振動すると圧電効果により電気信号が生成され、その電気信号は受信電極22a～22eおよび下部電極22に接続された配線（図示略）を介して出力される。 30

つまり、第2構造例の各受信素子11a～11eでは、受信電極22a～22eと下部電極21および誘電体層31a～31eの積層構造から振動板（受音板）が構成され、その振動板の受信した超音波が電気信号に変換される。

【0050】

＜第3構造例＞

図4に示す第3構造例において、静電容量式（コンデンサ式）の各受信素子11a～11eは、下部電極21、受信電極22a～22e、保持部材41などから構成されている。 40

各受信電極22a～22eの両端部と下部電極21の間にはそれぞれ保持部材41が挟設され、各受信電極22a～22eと下部電極21は間隙Kを設けて対向されている。

下部電極21は振動不能に固定されて固定電極を構成し、各受信電極22a～22eは振動可能で可動電極を構成する。

【0051】

そして、受信電極22aと下部電極21から受信素子11aが構成され、受信電極22bと下部電極21から受信素子11bが構成される、という具合に、各受信素子11a～11eが形成されている。

尚、各受信電極22a～22e間には、隣接する受信電極22a～22eの振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間が設けられているだけで、ほとんど隙間無く並べられて 50

いる。

【0052】

ここで、受信電極22a～22eの表面が超音波の受信面Sとなり、超音波により受信電極22a～22eが振動すると、受信電極22a～22eと下部電極21との距離が変化し、受信電極22a～22eと下部電極21との間の静電容量も変化する。そこで、配線（図示略）を介して各受信電極22a～22eおよび下部電極21に接続された変換回路（図示略）を用い、各受信電極22a～22eと下部電極21との間の静電容量の変化を電気信号に変換する。

つまり、第3構造例の各受信素子11a～11eでは、受信電極22a～22eから振動板（受音板）が構成され、その振動板の受信した超音波が電気信号に変換される。

10

【0053】

〔第1実施形態の作用・効果〕

第1実施形態によれば、以下の作用・効果を得ることができる。

【0054】

〔1-1〕

受信部10とは別に設けられた超音波センサの発信部（図示略）が、検出対象物に対して超音波を発信し、その超音波が検出対象物に反射した反射音を受信部10の各受信素子11a～11eで受信する。

【0055】

そして、受信部10が各受信素子11a～11eで受信した超音波のタイミングのずれを検出し、その受信した超音波のタイミングのずれと発信部が発射した超音波とを比較することにより、検出対象物の2次元あるいは3次元の位置測定、超音波センサと検出対象物との距離測定などを行うことができる。

20

尚、超音波センサの発信部には、どのような型式（例えば、圧電式や静電容量式など）を用いてもよい。

【0056】

〔1-2〕

図5は、両端が固定された振動板の周波数fと振動の変位xとの関係である共振特性を示す特性図である。

任意の周波数fにおける変位xは、変位の最大値X_{max}、1次共振周波数f₁、共振値Qから、数式1により求められる。

30

【0057】

【数1】

$$x = X_{\max} \times 2 \frac{-\left| \frac{f-f_1}{Q} \right|^2}{\dots\dots(数式1)}$$

【0058】

図5に示すように、1次共振周波数f₁から±8×f₁/Qだけずれた周波数f（=f₁±8×f₁/Q）における変位xは、変位の最大値X_{max}の1/256になることが数式1で与えられる。

40

【0059】

ここで、受信部10を構成する各受信素子11a～11eは、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子11a～11eにも図5および数式1に示す関係が成り立つ。

尚、各受信素子11a～11eの構造が同じであれば、その共振値Qは同一になる。

【0060】

従って、1次共振周波数F_{1a}の受信素子11aに対して、その両隣に並べて配置された受信素子11b、11dの1次共振周波数をそれぞれ周波数F_{1b}、F_{1d}（=F_{1a}±8×F_{1a}/Q）に設定しておけば、各受信素子11a、11b、11dが互いの振動によって受ける影響を1/256にすることができる。

50

つまり、受信素子 1 1 b の 1 次共振周波数を F_{1b} ($= F_{1a} + 8 \times F_{1a} / Q$) に設定すればよい。また、受信素子 1 1 d の 1 次共振周波数を F_{1d} ($= F_{1a} - 8 \times F_{1a} / Q$) に設定すればよい。

【0061】

同様に、受信素子 1 1 b の 1 次共振周波数 F_{1b} ($= F_{1a} + 8 \times F_{1a} / Q$) に対して、受信素子 1 1 b に並べて配置された受信素子 1 1 c の 1 次共振周波数を F_{1c} ($= F_{1b} + 8 \times F_{1b} / Q$) に設定すればよい。

また、受信素子 1 1 d の 1 次共振周波数 F_{1d} ($= F_{1a} - 8 \times F_{1a} / Q$) に対して、受信素子 1 1 d に並べて配置された受信素子 1 1 e の 1 次共振周波数を F_{1e} ($= F_{1d} - 8 \times F_{1d} / Q$) に設定すればよい。

10

【0062】

このように、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e の 1 次共振周波数 $F_{1a} \sim F_{1e}$ を異なる値に設定すれば、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e が互いの振動によって受ける影響を $1/256$ というほとんど無視できる小さな値にすることが可能になり、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e 間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0063】

[1-3]

両端が固定された振動板の 1 次の共振周波数 f_1 は、振動板の長さ L 、振動板の幅 B 、振動板の厚み（撓み方向の厚み） H から、数式 2 により求められる。

20

【0064】

【数 2】

$$f_1 = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L^2} \quad \dots\dots(\text{数式2})$$

【0065】

ここで、受信部 10 を構成する各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e は、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e にも数式 2 に示す関係が成り立つ。

各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e は、幅 B および厚み H が同一で、長さ L だけが異なるように形成されているため、幅 B および厚み H を定数とし、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e の長さを $L_a \sim L_e$ とする。

30

【0066】

すると、各受信素子 1 1 a ~ 1 1 e の 1 次共振周波数 $F_{1a} \sim F_{1e}$ は、数式 2 から数式 3 ~ 数式 7 で表される。尚、 $\alpha = (B \times H^3)^{1/2}$ とする。

【0067】

【数 3】

$$F_{1a} = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L_a^2} = \frac{\alpha}{L_a^2} \quad \dots\dots(\text{数式3})$$

40

【0068】

【数 4】

$$F_{1b} = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L_b^2} = \frac{\alpha}{L_b^2} \quad \dots\dots(\text{数式4})$$

【0069】

【数 5】

$$F_{1c} = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L_c^2} = \frac{\alpha}{L_c^2} \quad \dots\dots(\text{数式5})$$

【0 0 7 0】

【数 6】

$$F_{1d} = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L_d^2} = \frac{\alpha}{L_d^2} \quad \dots\dots(\text{数式6})$$

【0 0 7 1】

【数 7】

$$F_{1e} = \frac{\sqrt{B \times H^3}}{L_e^2} = \frac{\alpha}{L_e^2} \quad \dots\dots(\text{数式7})$$

【0 0 7 2】

そして、受信素子 1 1 b の 1 次共振周波数 F_{1b} ($= F_{1a} + 8 \times F_{1a} / Q$) に数式 3 および数式 4 を代入すると、数式 8 が求められる。

また、受信素子 1 1 d の 1 次共振周波数 F_{1d} ($= F_{1a} - 8 \times F_{1a} / Q$) に数式 3 および数式 6 を代入すると、数式 9 が求められる。

また、受信素子 1 1 c の 1 次共振周波数 F_{1c} ($= F_{1b} + 8 \times F_{1b} / Q$) に数式 4 および数式 5 を代入し、その求めた数式に数式 8 を代入すると、数式 10 が求められる。 20

また、受信素子 1 1 e の 1 次共振周波数 F_{1e} ($= F_{1d} - 8 \times F_{1d} / Q$) に数式 6 および数式 7 を代入し、その求めた数式に数式 9 を代入すると、数式 11 が求められる。

【0 0 7 3】

【数 8】

$$L_b = L_a \sqrt{\frac{Q}{Q+8}} \quad \dots\dots(\text{数式8})$$

【0 0 7 4】

【数 9】

$$L_d = L_a \sqrt{\frac{Q}{Q-8}} \quad \dots\dots(\text{数式9})$$

【0 0 7 5】

【数 10】

$$L_c = L_b \sqrt{\frac{Q}{Q+8}} = L_a \left(\frac{Q}{Q+8} \right) \quad \dots\dots(\text{数式10})$$

【0 0 7 6】

【数 11】

$$L_e = L_d \sqrt{\frac{Q}{Q-8}} = L_a \left(\frac{Q}{Q-8} \right) \quad \dots\dots(\text{数式11})$$

【0 0 7 7】

そこで、各受信素子 1 1 a ～ 1 1 e の構造によって決定される共振値 Q を実測またはシミュレーションにて求め、その共振値 Q を数式 8 ～ 数式 11 に代入すれば、受信素子 1 1 a の長さ L_a に対する各受信素子 1 1 b ～ 1 1 e の長さ $L_b \sim L_e$ を求めることができる 50

。

例えば、共振値 $Q = 60$ の場合には、受信素子 11a の長さ L_a に対して、受信素子 11b の長さ $L_b = \text{約 } 0.94 \times L_a$ 、受信素子 11c の長さ $L_c = \text{約 } 0.88 \times L_a$ 、受信素子 11d の長さ $L_d = \text{約 } 1.07 \times L_a$ 、受信素子 11e の長さ $L_e = \text{約 } 1.15 \times L_a$ になる。

【0078】

[1-4]

前記 [1-3] のように各受信素子 11a ~ 11e の長さ $L_a \sim L_e$ を異なる値に設定すれば、前記 [1-2] の作用・効果を得ることができる。

すなわち、第 1 実施形態では、各受信素子 11a ~ 11e の共振周波数が一致しないように、各受信素子 11a ~ 11e の長さ $L_a \sim L_e$ を不揃いにするることにより、各受信素子 11a ~ 11e 間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0079】

そして、第 1 実施形態によれば、各受信素子 11a ~ 11e の長さ $L_a \sim L_e$ だけを異ならせるだけでよく、受信部 10 の製造に特別な工程が必要ないため、充填材を充填するための製造工程が必要な特許文献 1 の技術に比べて、受信部 10 の製造コストを低減することができる。

【0080】

また、第 1 実施形態によれば、各受信素子 11a ~ 11e の長さ $L_a \sim L_e$ だけを異ならせるだけでよく、各受信素子 11a ~ 11e 間には振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設ければよいので、充填材の体積分および重量分だけ全体寸法および重量が大きくなる特許文献 1 の技術に比べて、受信部 10 を小型・軽量化することができる。

【0081】

[1-5]

図 6 は、第 1 実施形態の第 1 変形例を示す斜視図である。

図 1 に示す例では、各受信素子 11a ~ 11e を長さ方向の一端部が一直線上に揃えられるように配置している。しかし、図 6 に示す第 1 変形例のように、各受信素子 11a ~ 11e の両端部を揃えることなく適宜並べて配置してもよい。

【0082】

図 7 は、第 1 実施形態の第 2 変形例を示す斜視図である。

図 1 に示す例では、各受信素子 11a ~ 11e を長さ L の順番に並べて配置している。しかし、図 7 に示す第 2 変形例のように、各受信素子 11a ~ 11e を長さ L に関係なく適宜並べて配置してもよい。

【0083】

各受信素子 11a ~ 11e 間における振動伝達が完全に遮断される場合には、図 1 に示す例と第 1 変形例または第 2 変形例とにおける音響的クロストークの低減効果は同じである。

しかし、実際には、各受信素子 11a ~ 11e 間における振動伝達を完全に遮断することはできないため、その振動伝達により、図 1 に示す例と第 1 変形例または第 2 変形例とにおける音響的クロストークの低減効果には若干の違いが生じる。

【0084】

(第 2 実施形態)

図 8 は、第 2 実施形態における超音波センサの受信部 50 の斜視図である。

受信部 50 は、5 個の受信素子 (変換手段) 51a ~ 51e から構成されている。

平板矩形状の各受信素子 51a ~ 51e は、超音波の受信面 S を同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向にほとんど隙間無く並べられることにより、受信面 S が面一になるように同一平面上にて 1 次元配置され、その長さ L および厚み H は同一で、幅 B だけが異なるように形成されている。

【0085】

10

20

30

40

50

そして、各受信素子 51a～51e の長さ方向の両端部は、固定部材（図示略）に取り付けられることにより、振動不能に固定されている。

尚、受信部 50 は、どのような方法で作製してもよく、例えば、別々に作製した各受信素子 51a～51e を組み立ててもよく、MEMS 技術を利用して半導体基板上に一体形成してもよい。

各受信素子 51a～51e の構造は、第 1 実施形態の各受信素子 11a～11e と同じである。

【0086】

〔第 2 実施形態の作用・効果〕

第 2 実施形態によれば、第 1 実施形態の前記〔1-1〕と同様の作用・効果が得られることに加え、以下の作用・効果を得ることができる。 10

【0087】

〔2-1〕

第 1 実施形態の前記〔1-2〕と同様に、受信部 50 を構成する各受信素子 51a～51e は、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子 51a～51e にも図 5 および数式 1 に示す関係が成り立つ。

【0088】

従って、1 次共振周波数 F_{5a} の受信素子 51a に対して、その両隣に並べて配置された受信素子 51b, 51d の 1 次共振周波数をそれぞれ周波数 F_{5b} , F_{5d} ($= F_{5a} \pm 8 \times F_{5a} / Q$) に設定しておけば、各受信素子 51a, 51b, 51d が互いの振動によって受ける影響を $1/256$ にすることができる。 20

つまり、受信素子 51b の 1 次共振周波数を F_{5b} ($= F_{5a} + 8 \times F_{5a} / Q$) に設定すればよい。また、受信素子 51d の 1 次共振周波数を F_{5d} ($= F_{5a} - 8 \times F_{5a} / Q$) に設定すればよい。

【0089】

同様に、受信素子 51b の 1 次共振周波数 F_{5b} ($= F_{5a} + 8 \times F_{5a} / Q$) に対して、受信素子 51b に並べて配置された受信素子 51c の 1 次共振周波数を F_{5c} ($= F_{5b} + 8 \times F_{5b} / Q$) に設定すればよい。

また、受信素子 51d の 1 次共振周波数 F_{5d} ($= F_{5a} - 8 \times F_{5a} / Q$) に対して、受信素子 51d に並べて配置された受信素子 51e の 1 次共振周波数を F_{5e} ($= F_{5d} - 8 \times F_{5d} / Q$) に設定すればよい。 30

【0090】

このように、各受信素子 51a～51e の 1 次共振周波数 $F_{5a} \sim F_{5e}$ を異なる値に設定すれば、各受信素子 51a～51e が互いの振動によって受ける影響を $1/256$ というほとんど無視できる小さな値にすることが可能になり、各受信素子 51a～51e 間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0091】

〔2-2〕

第 1 実施形態の前記〔1-3〕と同様に、受信部 50 を構成する各受信素子 51a～51e は、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子 51a～51e にも数式 2 に示す関係が成り立つ。 40

各受信素子 51a～51e は、長さ L および厚み H が同一で、幅 B だけが異なるように形成されているため、長さ L および厚み H を定数とし、各受信素子 51a～51e の幅を $B_a \sim B_e$ とする。

【0092】

すると、各受信素子 51a～51e の 1 次共振周波数 $F_{5a} \sim F_{5e}$ は、数式 2 から数式 12～数式 16 で表される。尚、 $\beta = H^3 / L^2$ とする。

【0093】

【数 1 2】

$$F_{5a} = \frac{\sqrt{B_a \times H^3}}{L^2} = \beta \sqrt{B_a} \quad \cdots \cdots (\text{数式12})$$

【0 0 9 4】

【数 1 3】

$$F_{5b} = \frac{\sqrt{B_b \times H^3}}{L^2} = \beta \sqrt{B_b} \quad \cdots \cdots (\text{数式13})$$

【0 0 9 5】

【数 1 4】

$$F_{5c} = \frac{\sqrt{B_c \times H^3}}{L^2} = \beta \sqrt{B_c} \quad \cdots \cdots (\text{数式14})$$

【0 0 9 6】

【数 1 5】

$$F_{5d} = \frac{\sqrt{B_d \times H^3}}{L^2} = \beta \sqrt{B_d} \quad \cdots \cdots (\text{数式15})$$

【0 0 9 7】

【数 1 6】

$$F_{5e} = \frac{\sqrt{B_e \times H^3}}{L^2} = \beta \sqrt{B_e} \quad \cdots \cdots (\text{数式16})$$

【0 0 9 8】

そして、受信素子 5 1 b の 1 次共振周波数 F_{5b} ($= F_{5a} + 8 \times F_{5a} / Q$) に数式 1 2 および数式 1 3 を代入すると、数式 1 7 が求められる。

また、受信素子 5 1 d の 1 次共振周波数 F_{5d} ($= F_{5a} - 8 \times F_{5a} / Q$) に数式 1 2 および数式 1 5 を代入すると、数式 1 8 が求められる。

また、受信素子 5 1 c の 1 次共振周波数 F_{5c} ($= F_{5b} + 8 \times F_{5b} / Q$) に数式 1 3 および数式 1 4 を代入し、その求めた数式に数式 1 7 を代入すると、数式 1 9 が求められる。 30

また、受信素子 5 1 e の 1 次共振周波数 F_{5e} ($= F_{5d} - 8 \times F_{5d} / Q$) に数式 1 5 および数式 1 6 を代入し、その求めた数式に数式 1 8 を代入すると、数式 2 0 が求められる。

【0 0 9 9】

【数 1 7】

$$B_b = B_a \left(1 + \frac{8}{Q} \right)^2 \quad \cdots \cdots (\text{数式17})$$

【0 1 0 0】

【数 1 8】

$$B_d = B_a \left(1 - \frac{8}{Q} \right)^2 \quad \cdots \cdots (\text{数式18})$$

【0 1 0 1】

【数 1 9】

$$B_c = B_b \left(1 + \frac{8}{Q} \right)^2 = B_a \left(1 + \frac{8}{Q} \right)^4 \quad \cdots \cdots (\text{数式19})$$

10

20

40

50

【0102】

【数20】

$$B_e = B_d \left(1 - \frac{8}{Q}\right)^2 = B_a \left(1 - \frac{8}{Q}\right)^4 \quad \cdots \cdots (\text{数式20})$$

【0103】

そこで、各受信素子51a～51eの構造によって決定される共振値Qを実測またはシミュレーションにて求め、その共振値Qを数式17～数式20に代入すれば、受信素子51aの幅Baに対する各受信素子51b～51eの幅Bb～Beを求めることができる。

例えば、共振値Q＝60の場合には、受信素子51aの幅Baに対して、受信素子51bの幅Bb＝約0.75×Ba、受信素子51cの幅Bb＝約0.56×Ba、受信素子51dの幅Bd＝約1.28×Ba、受信素子51eの幅Be＝約1.65×Baになる。

【0104】

〔2-3〕

前記〔2-2〕のように各受信素子51a～51eの幅Ba～Beを異なる値に設定すれば、前記〔2-1〕の作用・効果を得ることができる。

すなわち、第2実施形態では、各受信素子51a～51eの共振周波数が一致しないように、各受信素子51a～51eの幅Ba～Beを不揃いにするにより、各受信素子51a～51e間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0105】

そして、第2実施形態によれば、各受信素子51a～51eの幅Ba～Beだけを異ならせるだけでよく、受信部50の製造に特別な工程が必要ないため、充填材を充填するための製造工程が必要な特許文献1の技術に比べて、受信部50の製造コストを低減することができる。

【0106】

また、第2実施形態によれば、各受信素子51a～51eの幅Ba～Beだけを異ならせるだけでよく、各受信素子51a～51e間には振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設ければよいため、充填材の体積分および重量分だけ全体寸法および重量が大きくなる特許文献1の技術に比べて、受信部50を小型・軽量化することができる。

【0107】

さらに、第2実施形態では、受信部50の全体形状が平板矩形状になるため、第1実施形態に比べて、各受信素子51a～51eの長さ方向の両端部の固定構造を単純化することが可能になり、受信部50の作製が容易になることから、受信部50の製造コストを更に低減することができる。

【0108】

〔2-4〕

図9は、第2実施形態の変形例を示す斜視図である。

図8に示す例では、各受信素子51a～51eを幅Bの順番に並べて配置している。しかし、図9に示す変形例のように、各受信素子51a～51eを幅Bに関係なく適宜並べて配置してもよい。

【0109】

各受信素子51a～51e間における振動伝達が完全に遮断される場合には、図8に示す例と図9に示す変形例とにおける音響的クロストークの低減効果は同じである。

しかし、実際には、各受信素子51a～51e間における振動伝達を完全に遮断することはできないため、その振動伝達により、図8に示す例と図9に示す変形例とにおける音響的クロストークの低減効果には若干の違いが生じる。

【0110】

(第3実施形態)

図10は、第3実施形態における超音波センサの受信部60の斜視図である。

受信部60は、5個の受信素子（変換手段）61a～61eから構成されている。

平板矩形状の各受信素子61a～61eは、超音波の受信面Sを同一方向に向け、長さ方向の両端部がそれぞれ一直線上に揃えられると共に幅方向にほとんど隙間無く並べられることにより、受信面Sが面一になるように同一平面上にて1次元配置され、その長さLおよび幅Bは同一で、厚みHだけが異なるように形成されている。

【0111】

そして、各受信素子61a～61eの長さ方向の両端部は、固定部材（図示略）に取り付けられることにより、振動不能に固定されている。

尚、受信部60は、どのような方法で作製してもよく、例えば、別々に作製した各受信素子61a～61eを組み立ててもよく、MEMS技術を利用して半導体基板上に一体形成してもよい。

各受信素子61a～61eの構造は、第1実施形態の各受信素子11a～11eと同じである。

【0112】

〔第3実施形態の作用・効果〕

第3実施形態によれば、第1実施形態の前記〔1-1〕と同様の作用・効果が得られることに加え、以下の作用・効果を得ることができる。

【0113】

〔3-1〕

第1実施形態の前記〔1-2〕と同様に、受信部60を構成する各受信素子61a～61eは、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子61a～61eにも図5および数式1に示す関係が成り立つ。

【0114】

従って、1次共振周波数 F_{6a} の受信素子61aに対して、その両隣に並べて配置された受信素子61b、61dの1次共振周波数をそれぞれ周波数 F_{6b} 、 F_{6d} （ $=F_{6a} \pm 8 \times F_{6a} / Q$ ）に設定しておけば、各受信素子61a、61b、61dが互いの振動によって受ける影響を $1/256$ にすることができる。

つまり、受信素子61bの1次共振周波数を F_{6b} （ $=F_{6a} + 8 \times F_{6a} / Q$ ）に設定すればよい。また、受信素子61dの1次共振周波数を F_{6d} （ $=F_{6a} - 8 \times F_{6a} / Q$ ）に設定すればよい。

【0115】

同様に、受信素子61bの1次共振周波数 F_{6b} （ $=F_{6a} + 8 \times F_{6a} / Q$ ）に対して、受信素子61bに並べて配置された受信素子61cの1次共振周波数を F_{6c} （ $=F_{6b} + 8 \times F_{6b} / Q$ ）に設定すればよい。

また、受信素子61dの1次共振周波数 F_{6d} （ $=F_{6a} - 8 \times F_{6a} / Q$ ）に対して、受信素子61dに並べて配置された受信素子61eの1次共振周波数を F_{6e} （ $=F_{6d} - 8 \times F_{6d} / Q$ ）に設定すればよい。

【0116】

このように、各受信素子61a～61eの1次共振周波数 $F_{6a} \sim F_{6e}$ を異なる値に設定すれば、各受信素子61a～61eが互いの振動によって受ける影響を $1/256$ というほとんど無視できる小さな値にすることが可能になり、各受信素子61a～61e間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0117】

〔3-2〕

第1実施形態の前記〔1-3〕と同様に、受信部60を構成する各受信素子61a～61eは、両端が固定された振動板と見なせるため、各受信素子61a～61eにも数式2に示す関係が成り立つ。

各受信素子61a～61eは、長さLおよび幅Bが同一で、厚みHだけが異なるように

形成されているため、長さ L および幅 B を定数とし、各受信素子 61a～61e の厚みを $H_a \sim H_e$ とする。

【0118】

すると、各受信素子 61a～61e の 1 次共振周波数 $F_{6a} \sim F_{6e}$ は、数式 2 から数式 21～数式 25 で表される。尚、 $\gamma = B^{1/2} / L^2$ とする。

【0119】

【数 21】

$$F_{6a} = \frac{\sqrt{B \times H_a^3}}{L^2} = \gamma \times H_a^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots(\text{数式21})$$

10

【0120】

【数 22】

$$F_{6b} = \frac{\sqrt{B \times H_b^3}}{L^2} = \gamma \times H_b^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots(\text{数式22})$$

【0121】

【数 23】

$$F_{6c} = \frac{\sqrt{B \times H_c^3}}{L^2} = \gamma \times H_c^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots(\text{数式23})$$

20

【0122】

【数 24】

$$F_{6d} = \frac{\sqrt{B \times H_d^3}}{L^2} = \gamma \times H_d^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots(\text{数式24})$$

【0123】

【数 25】

$$F_{6e} = \frac{\sqrt{B \times H_e^3}}{L^2} = \gamma \times H_e^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots(\text{数式25})$$

30

【0124】

そして、受信素子 61b の 1 次共振周波数 F_{6b} ($= F_{6a} + 8 \times F_{6a} / Q$) に数式 21 および数式 22 を代入すると、数式 26 が求められる。

また、受信素子 61d の 1 次共振周波数 F_{6d} ($= F_{6a} - 8 \times F_{6a} / Q$) に数式 21 および数式 24 を代入すると、数式 27 が求められる。

また、受信素子 61c の 1 次共振周波数 F_{6c} ($= F_{6b} + 8 \times F_{6b} / Q$) に数式 22 および数式 23 を代入し、その求めた数式に数式 26 を代入すると、数式 28 が求められる。

また、受信素子 61e の 1 次共振周波数 F_{6e} ($= F_{6d} - 8 \times F_{6d} / Q$) に数式 24 および数式 25 を代入し、その求めた数式に数式 27 を代入すると、数式 29 が求められる。

40

【0125】

【数 26】

$$H_b = H_a \left(1 + \frac{8}{Q} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \dots\dots(\text{数式26})$$

【0126】

【数 2 7】

$$H_d = H_a \left(1 - \frac{8}{Q}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \dots\dots(\text{数式27})$$

【0 1 2 7】

【数 2 8】

$$H_c = H_b \left(1 + \frac{8}{Q}\right)^{\frac{2}{3}} = H_a \left(1 + \frac{8}{Q}\right)^{\frac{4}{9}} \quad \dots\dots(\text{数式28})$$

【0 1 2 8】

【数 2 9】

$$H_e = H_d \left(1 - \frac{8}{Q}\right)^{\frac{2}{3}} = H_a \left(1 - \frac{8}{Q}\right)^{\frac{4}{9}} \quad \dots\dots(\text{数式29})$$

【0 1 2 9】

そこで、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の構造によって決定される共振値 Q を実測またはシミュレーションにて求め、その共振値 Q を数式 2 6 ～ 数式 2 9 に代入すれば、受信素子 6 1 a の厚み H_a に対する各受信素子 6 1 b ～ 6 1 e の厚み $H_b \sim B_e$ を求めることができる。

例えば、共振値 $Q = 60$ の場合には、受信素子 6 1 a の厚み H_a に対して、受信素子 6 1 b の厚み $H_b = \text{約 } 0.91 \times H_a$ 、受信素子 6 1 c の厚み $H_b = \text{約 } 0.83 \times H_a$ 、受信素子 6 1 d の厚み $H_d = \text{約 } 1.09 \times H_a$ 、受信素子 6 1 e の厚み $H_e = \text{約 } 1.18 \times H_a$ になる。

【0 1 3 0】

[3 - 3]

前記 [3 - 2] のように各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の厚み $H_a \sim H_e$ を異なる値に設定すれば、前記 [3 - 1] の作用・効果を得ることができる。

すなわち、第 3 実施形態では、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の共振周波数が一致しないように、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の厚み $H_a \sim H_e$ を不揃いにするることにより、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e 間における音響的クロストークを低減し、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。

【0 1 3 1】

そして、第 3 実施形態によれば、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の厚み $H_a \sim H_e$ だけを異ならせるだけでよく、受信部 6 0 の製造に特別な工程が必要ないため、充填材を充填するための製造工程が必要な特許文献 1 の技術に比べて、受信部 6 0 の製造コストを低減することができる。

【0 1 3 2】

また、第 3 実施形態によれば、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の厚み $H_a \sim H_e$ だけを異ならせるだけでよく、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e 間には振動が直接伝達しない程度のごく僅かな隙間だけを設ければよいため、充填材の体積分および重量分だけ全体寸法および重量が大きくなる特許文献 1 の技術に比べて、受信部 6 0 を小型・軽量化することができる。

【0 1 3 3】

さらに、第 3 実施形態では、第 2 実施形態と同様に、受信部 6 0 の全体形状が平板矩形状になるため、第 1 実施形態に比べて、各受信素子 6 1 a ～ 6 1 e の長さ方向の両端部の固定構造を単純化することが可能になり、受信部 6 0 の作製が容易になることから、受信部 6 0 の製造コストを更に低減することができる。

【0 1 3 4】

そして、第 3 実施形態では、第 2 実施形態に比べて、受信部 6 0 の幅が小さくなり、受信部 6 0 を上方から見た平面寸法が小さくなるため、受信部 6 0 をパッケージ（図示略）に収容した場合の体積を小さくすることが可能になり、受信部 6 0 を更に小型・軽量化す

10

20

30

40

50

ることができる。

【0135】

[3-4]

図11は、第3実施形態の第1変形例を示す斜視図である。

図12は、第3実施形態の第2変形例を示す斜視図である。

図10に示す例では、各受信素子61a～61eの受信面Sが面一になるように配置されている。

しかし、図11に示す第1変形例のように、各受信素子61a～61eの受信面Sの裏面が面一になるように配置してもよい。

また、図12に示す第2変形例のように、各受信素子61a～61eの受信面Sおよびその裏面の両方を面一にすることなく適宜並べて配置してもよい。

【0136】

但し、各受信素子61a～61eの受信面Sを面一にした方が、検出対象物の位置および距離の測定精度を高めることができる。また、第1変形例または第2変形例のように、各受信素子61a～61eの受信面Sが面一になっていない場合には、各受信素子61a～61eで受信した超音波のタイミングのずれを補正しなければならず、受信部60が生成した電気信号を処理するのに複雑な信号処理回路が必要になる。

それに対して、各受信素子61a～61eの受信面Sを面一にすれば、各受信素子61a～61eで受信した超音波のタイミングのずれを補正する必要がなく、受信部60が生成した電気信号を処理する信号処理回路を簡略化できる。

【0137】

[3-5]

図13は、第3実施形態の第3変形例を示す斜視図である。

図10に示す例では、各受信素子61a～61eを厚みHの順番に並べて配置している。しかし、図13に示す第3変形例のように、各受信素子61a～61eを厚みHに関係なく適宜並べて配置してもよい。

【0138】

各受信素子61a～61e間における振動伝達が完全に遮断される場合には、図10に示す例と第3変形例とにおける音響的クロストークの低減効果は同じである。

しかし、実際には、各受信素子61a～61e間における振動伝達を完全に遮断することはできないため、その振動伝達により、図10に示す例と第3変形例とにおける音響的クロストークの低減効果には若干の違いが生じる。

【0139】

(第4実施形態)

図14は、第4実施形態における超音波センサの受信部70の斜視図である。

受信部70は、9個の受信素子(変換手段)71a～71iから構成されている。

平板矩形状の各受信素子71a～71iは、超音波の受信面Sを同一方向に向け、ほとんど隙間無く並べられることにより、受信面Sが面一になるように同一平面上にて縦横方向に2次元配置され、その長さ、幅、厚みはそれぞれ異なる寸法に形成されている。

【0140】

そして、各受信素子71a～71iの長さ方向または幅方向の両端部は、固定部材(図示略)に取り付けられることにより、振動不能に固定されている。

尚、受信部70は、どのような方法で作製してもよく、例えば、別々に作製した各受信素子71a～71iを組み立ててもよく、MEMS技術を利用して半導体基板上に一体形成してもよい。

各受信素子71a～71iの構造は、第1実施形態の各受信素子11a～11eと同じである。

【0141】

[第4実施形態の作用・効果]

第4実施形態において、各受信素子71a～71iの1次共振周波数が異なる値になる

10

20

30

40

50

ように、その長さ、幅、厚みを第1～第3実施形態と同様に適宜設定すれば、第1実施形態の前記〔1-1〕～〔1-4〕と同様の作用・効果が得られる。

加えて、第4実施形態によれば、各受信素子71a～71iを2次元配置することにより、検出対象物の位置および距離の測定精度を更に高めることができる。

【0142】

〔別の実施形態〕

ところで、本発明は上記各実施形態に限定されるものではなく、以下のように具体化してもよく、その場合でも、上記各実施形態と同等もしくはそれ以上の作用・効果を得ることができる。

【0143】

10

〔別例1〕

第1～第3実施形態の受信部10、50、60は5個の受信素子11a～11e、51a～51e、61a～61eから構成され、第4実施形態の受信部70は9個の受信素子71a～71eから構成されているが、受信部を構成する受信素子の個数は検出対象物の位置および距離の測定精度に対応し、受信素子の個数を増やすほど当該精度を高くすることができる。

そのため、受信素子の個数および配置間隔は、必要な前記測定精度に応じてカット・アンド・トライで実験的に最適値を見つけて設定すればよい。

【0144】

〔別例2〕

20

数式1より、図5に示す1次共振周波数 f_1 から $\pm 7 \times f_1 / Q$ だけずれた周波数 f ($= f_1 \pm 7 \times f_1 / Q$)における変位 x は、変位の最大値 $X_{\max}$ の約 $1/100$ になる。

【0145】

従って、第1実施形態において、1次共振周波数 F_{1a} の受信素子11aに対して、その両隣に並べて配置された受信素子11b、11dの1次共振周波数をそれぞれ周波数 F_{1b} 、 F_{1d} ($= F_{1a} \pm 7 \times F_{1a} / Q$)に設定しておけば、各受信素子11a、11b、11dが互いの振動によって受ける影響を約 $1/100$ にすることができる。

つまり、受信素子11bの1次共振周波数を F_{1b} ($= F_{1a} + 7 \times F_{1a} / Q$)に設定すればよい。また、受信素子11dの1次共振周波数を F_{1d} ($= F_{1a} - 7 \times F_{1a} / Q$)に設定すればよい。

30

【0146】

同様に、受信素子11bの1次共振周波数 F_{1b} ($= F_{1a} + 7 \times F_{1a} / Q$)に対して、受信素子11bに並べて配置された受信素子11cの1次共振周波数を F_{1c} ($= F_{1b} + 7 \times F_{1b} / Q$)に設定すればよい。

また、受信素子11dの1次共振周波数 F_{1d} ($= F_{1a} - 7 \times F_{1a} / Q$)に対して、受信素子11dに並べて配置された受信素子11eの1次共振周波数を F_{1e} ($= F_{1d} - 7 \times F_{1d} / Q$)に設定すればよい。

【0147】

このように、各受信素子11a～11eの1次共振周波数 $F_{1a} \sim F_{1e}$ を異なる値に設定すれば、各受信素子11a～11eが互いの振動によって受ける影響を約 $1/100$ というほとんど無視できる小さな値にすることが可能になり、第1実施形態の $1/256$ には劣るものの、ほぼ同等の効果を得ることができる。

40

【0148】

すなわち、数式30における係数 n を大きな値に設定するほど、各受信素子11a～11eの1次共振周波数 $F_{1a} \sim F_{1e}$ の差が大きくなるため、各受信素子11a～11eが互いの振動によって受ける影響が小さくなり、検出対象物の位置および距離の測定精度を高くできる。

しかし、数式30における係数 n を大きな値に設定するほど、各受信素子11a～11eの長さ L の差が大きくなり、受信部10の全体寸法および重量も大きくなる。

【0149】

50

従って、係数 n の値は、必要な前記測定精度に応じてカット・アンド・トライで実験的に最適値を見つけて設定すればよいが、第 1 実施形態および前記例のように、 $n = 8$ または $n = 7$ に設定すれば実用上十分な効果が得られる。

【0150】

$$f = f_1 \pm n \times f_1 / Q \quad \dots\dots\dots (\text{数式 } 30)$$

【0151】

尚、第 2 ～ 第 4 実施形態においても、第 1 実施形態と同様に、係数 n の値は必要な前記測定精度に応じて適宜設定すればよいが、 $n = 8$ または $n = 7$ に設定すれば実用上十分な効果が得られる。

【0152】

10

〔別例 3〕

第 1 ～ 第 3 実施形態の受信部 10, 50, 60 を構成する受信素子 11a ～ 11e, 51a ～ 51e, 61a ～ 61e は、長さ方向の両端部が振動不能に固定されている。

しかし、各受信素子 11a ～ 11e, 51a ～ 51e, 61a ～ 61e の長さ方向の一端部のみを振動不能に固定してもよい。

また、第 4 実施形態の受信部 70 を構成する受信素子 71a ～ 71i は、長さ方向または幅方向の両端部が振動不能に固定されている。

しかし、各受信素子 71a ～ 71i の長さ方向または幅方向の一端部のみを振動不能に固定してもよい。

【0153】

20

〔別例 4〕

第 1, 第 2, 第 4 実施形態の受信部 10, 50, 70 を構成する各受信素子 11a ～ 11e, 51a ～ 51e, 61a ～ 61e, 71a ～ 71i は、受信面 S が面一になるように配置されている。

しかし、受信部 10, 50, 70 を構成する各受信素子についても、第 3 実施形態の第 1 変形例（図 11）または第 2 変形例（図 12）と同様に、受信面 S を面一にすることなく適宜並べて配置してもよい。

【0154】

〔別例 5〕

上記各実施形態は超音波センサの受信部に適用したものであるが、本発明は電気信号を超音波に変換して発信する超音波センサの発信部に適用してもよい。 30

すなわち、受信部 10, 50, 60, 70 の各受信素子 11a ～ 11e, 51a ～ 51e, 61a ～ 61e, 71a ～ 71i を、発信部の各発信素子（変換手段）として機能させてもよい。この場合、各受信素子の受信面 S は、発信素子から超音波を発信する発信面となる。

【0155】

例えば、各発信素子を図 2 に示す第 1 構造例（圧電式）にした場合には、下部電極 21 と電極 22a ～ 22e とに印加される電気信号に応じて、複合圧電体 23 が圧電効果により振動して電極 22a ～ 22e から超音波が発信する。

また、各発信素子を図 3 に示す第 2 構造例（圧電式）にした場合には、下部電極 21 と電極 22a ～ 22e とに印加される電気信号に応じて、誘電体層 31 が圧電効果により振動して電極 22a ～ 22e から超音波が発信する。 40

また、各発信素子を図 4 に示す第 3 構造例（コンデンサ式）にした場合には、下部電極 21 と電極 22a ～ 22e とに印加される電気信号に応じて、下部電極 21 と電極 22a ～ 22e との間に静電引力が発生し、その静電引力により電極 22a ～ 22e が振動して超音波が発生する。

【0156】

このように、受信部の各受信素子を発信部の各発信素子として機能させた場合には、各発信素子の 1 次共振周波数が異なる値に設定されているため、各発信素子から発信される超音波を和音にすることができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0157】

【図1】本発明を具体化した第1実施形態第1実施形態における超音波センサの受信部10の斜視図。

【図2】受信部10を構成する受信素子11a, 11b, 11dの第1構造例を示す概略縦断面図。

【図3】受信部10を構成する受信素子11a, 11b, 11dの第2構造例を示す概略縦断面図。

【図4】受信部10を構成する受信素子11a, 11b, 11dの第3構造例を示す概略縦断面図。

【図5】両端が固定された振動板の周波数fと振動の変位xとの関係である共振特性を示す特性図。

【図6】第1実施形態の第1変形例を示す斜視図。

【図7】第1実施形態の第2変形例を示す斜視図。

【図8】本発明を具体化した第2実施形態における超音波センサの受信部50の斜視図。

【図9】第2実施形態の変形例を示す斜視図。

【図10】本発明を具体化した第3実施形態における超音波センサの受信部60の斜視図。

【図11】第3実施形態の第1変形例を示す斜視図。

【図12】第3実施形態の第2変形例を示す斜視図。

【図13】第3実施形態の第3変形例を示す斜視図。

【図14】本発明を具体化した第4実施形態における超音波センサの受信部70の斜視図。

【符号の説明】

【0158】

10, 50, 60, 70…超音波センサの受信部または発信部

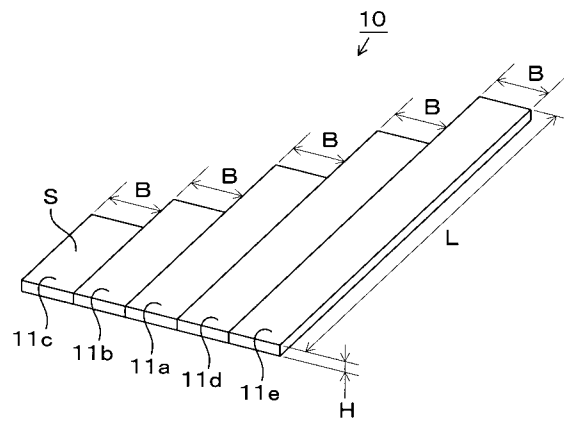
11a~11e, 51a~51e, 61a~61e, 71a~71i…変換手段としての受信素子または発信素子

S…受信面または発信面

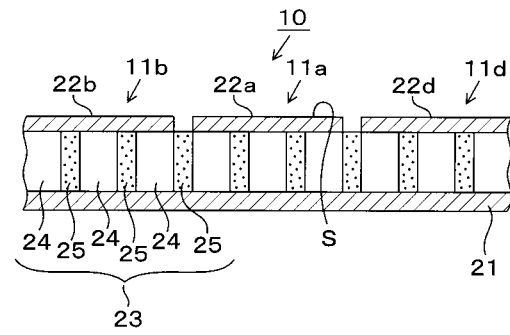
10

20

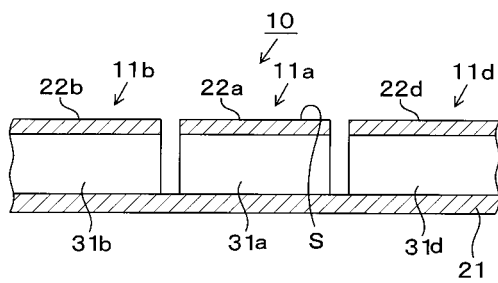
【図 1】



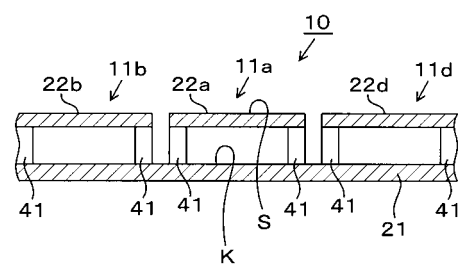
【図 2】



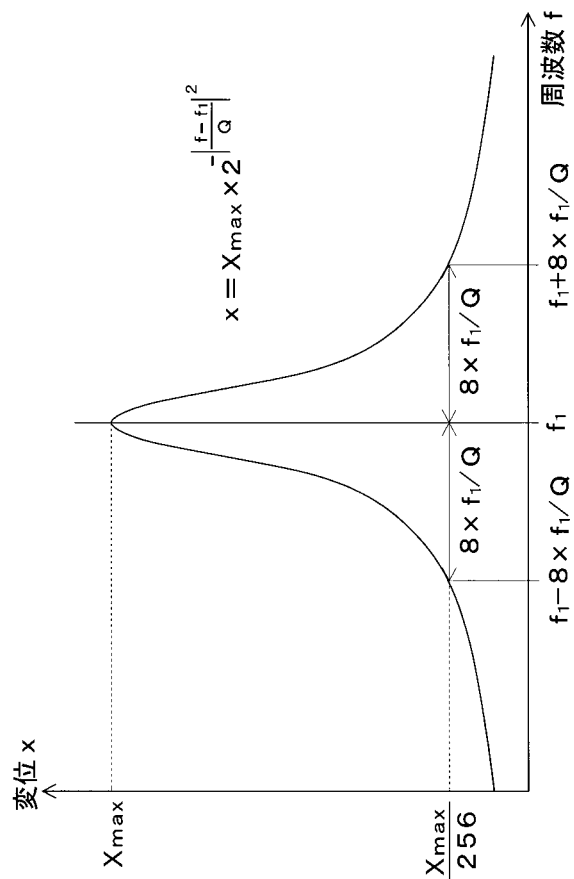
【図 3】



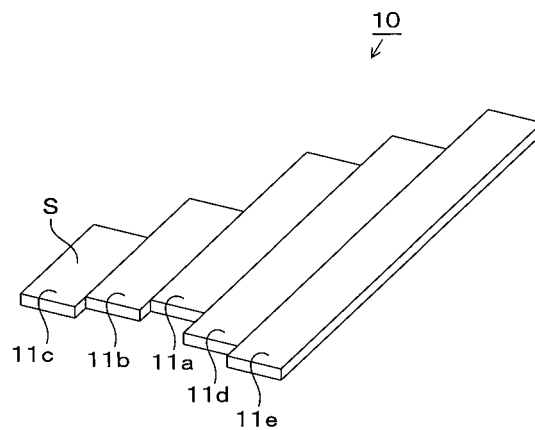
【図 4】



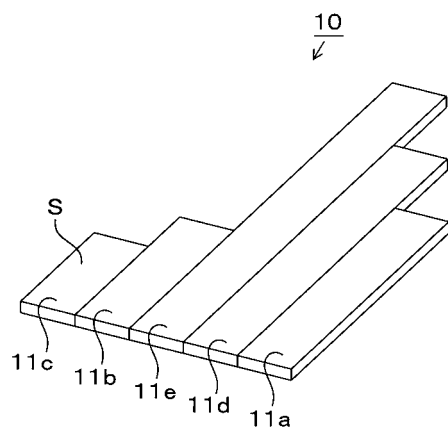
【図 5】



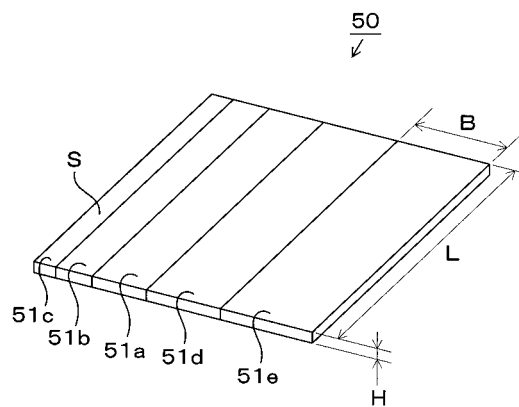
【図 6】



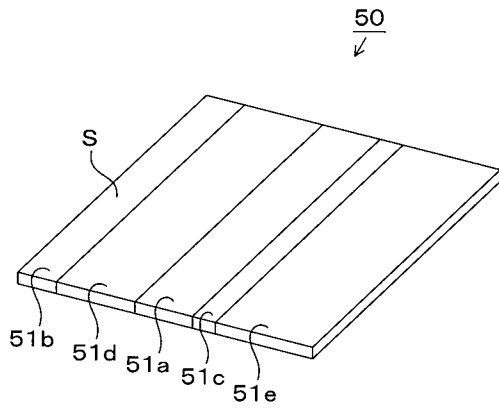
【図 7】



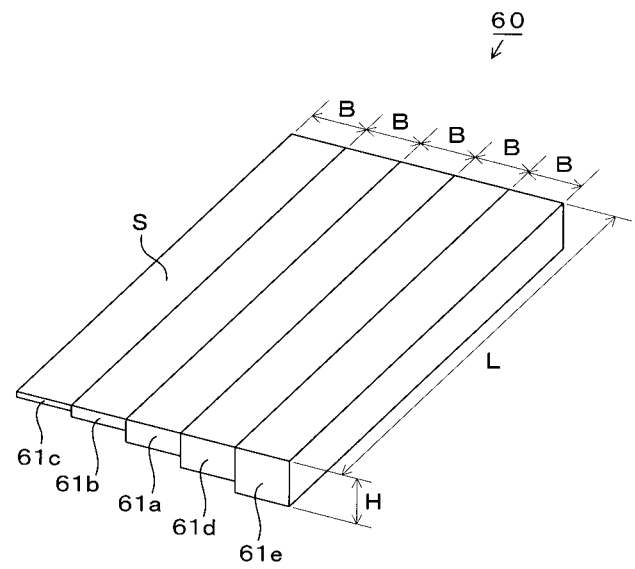
【図 8】



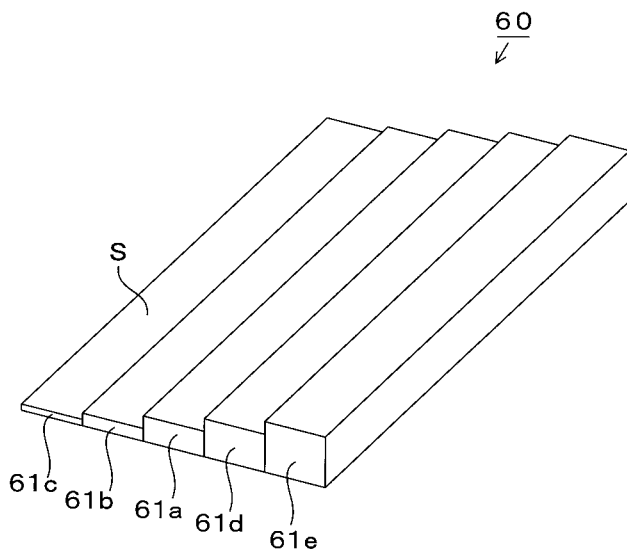
【図 9】



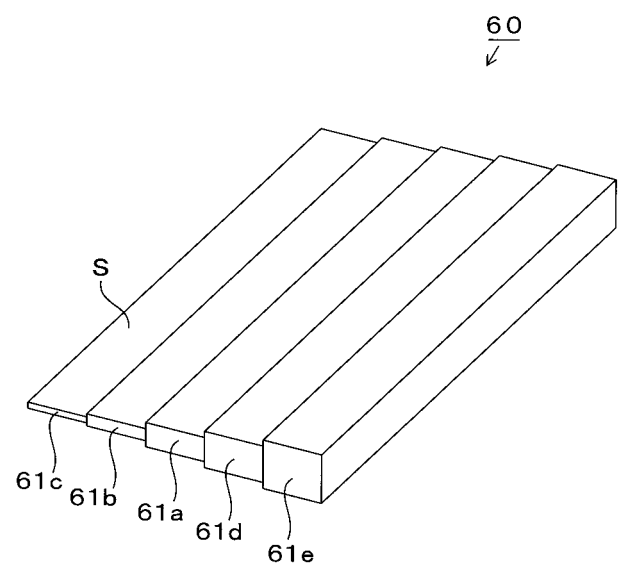
【図 10】



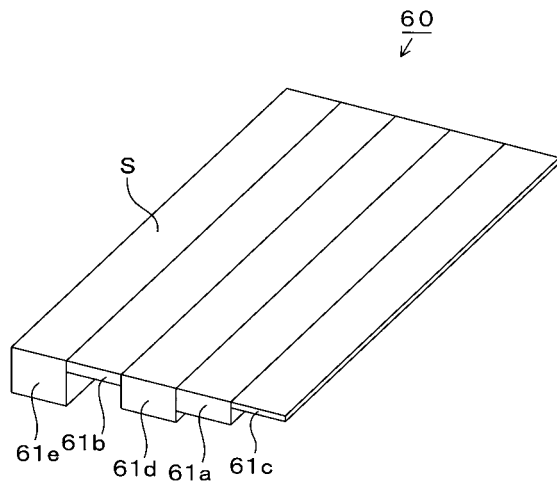
【図 11】



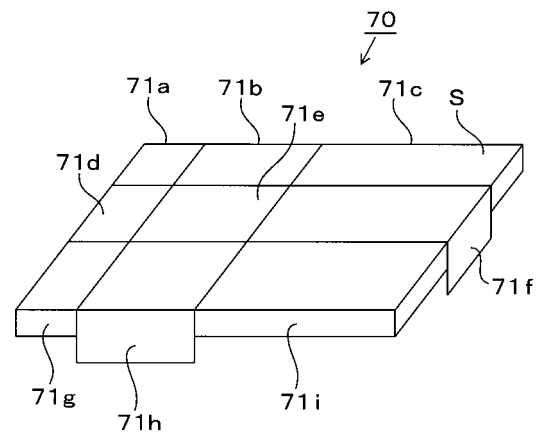
【図 12】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5J083 AA02 AC11 AC16 AC18 AC29 AD04 AF07 CA02 CA12 CA31
CA50 CB01 CB30