

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5538822号
(P5538822)

(45) 発行日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月9日(2014.5.9)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

A 6 1 B 8/00

G 0 1 N 29/00 (2006.01)

G 0 1 N 29/00 5 0 1

請求項の数 16 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2009-254752 (P2009-254752)
(22) 出願日 平成21年11月6日(2009.11.6)
(65) 公開番号 特開2011-98071 (P2011-98071A)
(43) 公開日 平成23年5月19日(2011.5.19)
審査請求日 平成24年11月6日(2012.11.6)

(73) 特許権者 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100086483
弁理士 加藤 一男
(72) 発明者 秋山 貴弘
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
(72) 発明者 高木 誠
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
(72) 発明者 藤井 一成
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波検出装置及び超音波診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1電極と、前記第1電極と対向し空隙を隔てて配設された第2電極と、を備えるセルを有する静電容量型の電気機械変換装置と、

前記電気機械変換装置から出力される電流を電圧に変換する電気回路と、を含む超音波検出装置であって、

前記電気機械変換装置の周波数特性は、第1カットオフ周波数を有するハイパス特性を有し、

前記電気回路の周波数特性は、第2カットオフ周波数を有するローパス特性を有し、

前記第1カットオフ周波数よりも前記第2カットオフ周波数が低いことを特徴とする超音波検出装置。

10

【請求項 2】

前記電気機械変換装置のセルは、前記第2電極を振動可能に支持する振動膜を含むことを特徴とする請求項1に記載の超音波検出装置。

【請求項 3】

前記電気機械変換装置は、超音波を受信することにより、前記第1電極と前記第2電極との間の静電容量の変化に伴う電流を出力することを特徴とする請求項1または2に記載の超音波検出装置。

【請求項 4】

当該超音波検出装置は、前記第1カットオフ周波数と前記第2カットオフ周波数との間

20

の中心周波数を有する周波数特性を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 5】

当該超音波検出装置の周波数特性は前記第 1 カットオフ周波数と前記第 2 カットオフ周波数の相乗平均が 0.4 MHz 乃至 1.0 MHz の範囲にあることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 6】

前記電気機械変換装置は、複数の前記セルにより 1 つのエLEMENTを構成し、

前記ELEMENTの出力電流の周波数特性は、前記複数のセルに設けられている複数の第 2 電極または振動膜の機械特性の平均と、前記ELEMENTの静電容量と、を含む因子により決定されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 7】

前記電気機械変換装置は、複数の前記セルにより 1 つのエLEMENTを構成し、

ELEMENTが 2 次元的に配列されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 8】

第 1 電極と、前記第 1 電極と対向し空隙を隔てて配設された第 2 電極と、を備えるセルを有する静電容量型の電気機械変換装置と、

前記電気機械変換装置から出力される電流を電圧に変換する電気回路と、を含む超音波検出装置であって、

前記電気機械変換装置の周波数特性における低域側カットオフ周波数よりも、前記電気回路の周波数特性における高域側カットオフ周波数のほうが低いことを特徴とする超音波検出装置。

【請求項 9】

前記電気機械変換装置のセルは、前記第 2 電極を振動可能に支持する振動膜を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波検出装置。

【請求項 10】

前記電気機械変換装置は、超音波を受信することにより、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間の静電容量の変化に伴う電流を出力することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の超音波検出装置。

【請求項 11】

当該超音波検出装置は、前記低域側カットオフ周波数と前記高域側カットオフ周波数との間の中心周波数を有する周波数特性を有することを特徴とする請求項 8 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 12】

当該超音波検出装置の周波数特性は前記低域側カットオフ周波数と前記高域側カットオフ周波数の相乗平均が 0.4 MHz 乃至 1.0 MHz の範囲にあることを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 13】

前記電気機械変換装置は、複数の前記セルにより 1 つのエLEMENTを構成し、

前記ELEMENTの出力電流の周波数特性は、前記複数のセルに設けられている複数の第 2 電極または振動膜の機械特性の平均と、前記ELEMENTの静電容量と、を含む因子により決定されることを特徴とする請求項 8 乃至 12 の何れか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 14】

前記電気機械変換装置は、複数の前記セルにより 1 つのエLEMENTを構成し、

ELEMENTが 2 次元的に配列されていることを特徴とする請求項 8 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 15】

前記電気機械変換装置は、超音波を送信することを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の超音波検出装置。

【請求項 16】

請求項 1 乃至 14 の何れか 1 項に記載の超音波検出装置と、
光源と、
前記超音波検出装置によって検出された信号を処理する信号処理系と、
を含む超音波診断装置であって、
前記光源から発せられた光が検査対象にあてられることにより生じる超音波を前記超音波検出装置で検出し、
前記超音波検出装置から出力される信号を前記信号処理系で処理することにより、前記検査対象の情報を取得することを特徴とする超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超音波検出装置、超音波診断装置などに関し、特に、静電容量型超音波検出装置及びそれを用いる超音波診断装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、間隔を隔てて配置された電極を有するセルを含む静電容量型超音波検出装置は、知られている（特許文献 1 参照）。特に近年、マイクロマシニング技術を用いた静電容量型超音波変換装置（CMUT）が盛んに研究されている。この CMUT は、軽量の振動膜を用いて超音波を送信または受信し、液体中及び気体中でも優れた広帯域特性が容易に得られる。この CMUT を利用し、従来の医用診断モダリティより高精度な超音波診断が有望な技術として注目されつつある。CMUT の超音波受信機能は、静電容量型電気機械変換装置と後段の電気回路で遂行される。前段の静電容量型電気機械変換装置の出力は、静電容量の時間変動によるものであるため、電流出力である。従って、後段に電流 - 電圧変換増幅回路を用いるのが一般的である。

【0003】

他方、これまで、実用的な超音波変換装置には主に圧電材（ピエゾ）が使用されてきた。この圧電材（ピエゾ）型の装置の解像度は周波数に比例する為、3 MHz 乃至 10 MHz の範囲に中心感度のある超音波変換装置が普通であった。これと比較して、CMUT は広い周波数帯域を有することが特徴であるが、圧電材型に代わるものとして、従来の一般的な超音波診断用のセンサーとして用いようとしている為、これの中心周波数も 3 MHz 乃至 10 MHz 程度が普通である。但し、広い周波数帯域を有効に利用するため、後段の電気回路にも広い帯域が要求される。CMUT の超音波受信機能の周波数特性は、静電容量型電気機械変換装置のカットオフ周波数と増幅回路のカットオフ周波数との間のバンドパス型として構成されるのが通常である。よって、増幅回路は、カットオフ周波数が受信帯域よりも十分大きいものを用いることが多い。この点に関して、非特許文献 1 は、明示した帰還抵抗と、MOS トランジスタ回路に寄生的に存在する容量である帰還容量とを持つ増幅回路を示している。その結果、非特許文献 1 に記載されている CMUT の周波数帯域は 2 MHz 乃至 7 MHz となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 6,430,109 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.55, No.2, Feb. 2008

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述した技術状況で、検体の検査においては形態画像だけでなく機能画像を表示する超音波変換装置の開発も近年進められている。このような装置の１つに光音響分光分析法を利用した装置がある。こうした光音響分光分析法で用いられる光音響波の周波数帯域は、超音波エコーで用いられる超音波の周波数帯域と比較すると一般的に低い。例えば、光音響波の周波数帯域は２００ＫＨｚ乃至２ＭＨｚの範囲に分布しており、これは、超音波エコーで用いられる超音波の中心周波数３．５ＭＨｚよりも低い。そのため、比較的低い周波数帯を高感度で検出できる超音波変換装置が開発される必要がある。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記課題に鑑み、本発明の超音波検出装置は、静電容量型電気機械変換装置と、電圧源と、電気回路とを含み、以下の特徴を有する。前記静電容量型電気機械変換装置は、第１電極とこの第１電極と対向し空隙を隔てて配設された第２電極とを備えるセルを有する。前記電圧源は、第１電極と第２電極の間に電位差を生じさせるためのものである。前記電気回路は、第２電極の振動による第１電極と第２電極間の静電容量の変化に伴う電流を電圧に変換する。前記静電容量型電気機械変換装置の出力電流は、周波数に対して第１カットオフ周波数を有するハイパス特性を有し、前記電気回路の出力は、周波数に対して第２カットオフ周波数を有するローパス特性を有する。そして、前記第１カットオフ周波数よりも前記第２カットオフ周波数が小さくされている。

10

【０００８】

また、上記課題に鑑み、本発明の超音波診断装置は、上記超音波検出装置と、光源と、超音波検出装置によって検出された信号を処理する信号処理系とを含む。そして、前記光源から発せられた光を検査対象にあて、検査対象にあてられた光による光音響効果によって生じる弾性波を前記超音波検出装置で検出し、この検出結果を前記信号処理系で処理することで検査対象の情報を取得する。

20

【発明の効果】

【０００９】

本発明では、電流 - 電圧変換増幅回路のカットオフ周波数が静電容量型電気機械変換装置のカットオフ周波数より大きくなる様に構成して、両者の周波数特性を合わせることで超音波検出装置の周波数特性を目標のものとしている。よって、従来の超音波プローブよりも低周波数域を帯域とする超音波検出装置が実現できる。また、この超音波検出装置と光源と信号処理系によって、光音響分光分析法などに適する超音波診断装置を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の超音波検出装置の前段の静電容量型電気機械変換装置、後段の電気回路、及び装置全体の周波数特性の例を示して本発明の原理を説明するとともに、本発明の実施形態の超音波検出装置の構成を示す図である。

【図２】本発明の他の実施形態の超音波検出装置の構成図である。

【図３】本発明の実施形態の超音波診断装置の構成図である。

【図４】従来例の周波数特性を説明する図である。

40

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本発明の超音波検出装置及び超音波診断装置の実施形態を説明する。本発明の装置において重要なことは、静電容量型電気機械変換装置の出力電流のハイパス特性の周波数特性の第１カットオフ周波数よりも電気回路の出力のローパス特性の周波数特性の第２カットオフ周波数を小さくすることである。これらカットオフ周波数、ハイパス特性、ローパス特性の意味する所を説明する。後述する様に、静電容量型電気機械変換装置の出力の周波数特性は、振動膜の真空中の共振周波数で最大となる。そして、本発明の周波数特性とは、最大値の周波数より低い周波数側で３ｄＢ程度低下している周波数（第１カットオフ周波数）から、上記共振周波数を経て、振動膜の反共振周波数の間のバンドパス特性の

50

周波数特性である。実際に作製されるデバイスにおいては、最大出力となっている周波数近傍の範囲で平均した値を用いることで、第1カットオフ周波数を定義できる。このときの静電容量型電気機械変換装置の周波数特性は第1カットオフ周波数を有するハイパス特性となる。つまり、本発明におけるハイパス特性とは、カットオフ周波数よりも低い周波数領域ではほぼ決まった傾きで周波数に対して利得が増加し、カットオフ周波数よりも高い周波数領域で平坦な分布となることである。他方、後段の電流 - 電圧変換増幅回路は、帰還抵抗と帰還容量の値によって第2カットオフ周波数が決まるローパス特性の周波数特性を有する。本発明におけるローパス特性とは、カットオフ周波数よりも高い周波数領域では決まった傾きで周波数に対して利得が減少し、カットオフ周波数よりも低い周波数領域で平坦な分布となることである。ここでは、第2カットオフ周波数は、低域での利得よりも3 dB程度低下した利得を示す周波数を指す。本発明において、上記「平坦な分布」とは一定の利得であることを意味する。具体的には、ローパス特性は、カットオフ周波数より低い領域で「平坦」となり、カットオフ周波数より高い領域で「決まった傾きで利得が減少」する。同様にハイパス特性は、カットオフ周波数より低い領域で「決まった傾きで利得が増加」し、カットオフ周波数より高い領域で「平坦」となる。そして本発明における「平坦な分布」とは、全く平坦な場合だけでなく、利得の周波数特性に対する傾きの関係が装置設計上無視できる程度に小さい傾きを有するものも含む。

【0012】

上記考え方に基づき、本発明の超音波検出装置及び超音波診断装置の基本的な形態は、上述した様な構成を有する。この基本的な形態を基に、次に述べる様な実施形態が可能である。例えば、静電容量型電気機械変換装置は、基板に配設された第1電極と、第1電極と対向して設置された第2電極と、第1電極と第2電極の間に挟まれた絶縁体及び空隙と、第2電極を上下に振動可能に支持する振動膜を含む（後述の第1の実施形態参照）。また、超音波検出装置において、第1電極と第2電極で構成されるコンデンサが、複数の空隙と複数の第2電極または振動膜とを含んで構成される。そして、静電容量型電気機械変換装置の出力電流の特性は、複数の第2電極または振動膜の機械特性の平均とコンデンサの静電容量を含む因子で決定される（後述の第2の実施形態参照）。また、超音波検出装置において、前記コンデンサが2次元的に配列されており、第2電極または振動膜の振動情報を2次元で検出することが可能である（後述の第3の実施形態参照）。

【0013】

本発明の原理を説明する。静電容量型電気機械変換装置は設計上、中心周波数帯域を1 MHz前後にすることが容易ではない。これは、中心周波数帯域を1 MHz前後にするにはメンブレンである第2電極または振動膜の硬さを柔らかくする（バネ定数を小さくする）必要があり、そうすると感度が低下するという弊害などもあり、設計の自由度が制限されるためである。つまり、メンブレンの撓みが大きくなり、高感度化のための狭ギャップ構造を作ることが困難になるとともに、電極への印加電圧も小さくせざるを得ず、感度が低下することになる。そこで、本発明では、静電容量型電気機械変換装置は1 MHz前後よりも高周波側に中心周波数がある様に設計した状態で、後段の電気回路のカットオフ周波数を調整することにより、トータルで中心周波数帯域が1 MHz前後になるシステムとする。こうした目標とする比較的低い周波数帯域では、増幅ゲインを或る程度高くしつつ電気回路のカットオフ周波数を調整するのは、他の特性にあまり悪影響を及ぼすことなく比較的容易である。これに対して、電気回路の増幅ゲインを上げたままカットオフ周波数を高くすることは、帰還抵抗を小さくするか帰還容量を小さくすることに等しく、こうすると、S/Nが悪化したり全体の感度が低下したりすることになる。或いは、回路の性能上、限度がある。

【0014】

以上のことを、図1(a)、(b)、(c)を用いて更に説明する。静電容量変化を平行平板近似した際、入力音圧（入力する弾性波の圧力）に対する静電容量型電気機械変換装置の出力電流Iの周波数特性1（図1(a)参照）は次の式（1）で定式化される。

$$I = P / [(Z_m + Z_r) / (\varepsilon A V_b / d^2) + j \omega C] \quad (1)$$

10

20

30

40

50

ここで、 ϵ は真空の誘電率、 A は電気機械変換装置の電極（後述する上部電極 7 参照）の面積、 V_0 は電極間に印加するバイアス電圧、 d は電極間の真空等価距離、 P は入力音圧、 Z_m は振動膜（後述する振動膜 8 参照）の機械インピーダンス、 Z_r は電気機械変換装置の周りの媒体の音響インピーダンス、 ω は入力音圧の角周波数、 C は全静電容量である。この式で、全静電容量は相対的に小さいため、周波数の関数となっているのは振動膜の機械インピーダンス Z_m であると言ってよい。

【 0 0 1 5 】

Z_m は次の式（ 2 ）で表される。

$$Z_m = j \cdot k_m \cdot \{ (\omega / \omega_0)^2 - 1 / \omega \} \quad (2)$$

k_m は振動膜のバネ定数であり、共振角周波数 ω_0 （これは、第 1 のカットオフ周波数 2 の近くにある。図 1（ a ）参照）よりも周波数が低い領域においては圧力 P に比例して振動膜が変位する。 Z_m は低周波数領域から共振周波数までは周波数に反比例して 0 に近づいていく。このことから、振動膜の共振周波数よりも小さい周波数領域において出力電流周波数特性 1 は周波数について一次特性となる。尚、図 1（ a ）～（ c ）の周波数特性の曲線について、これらは原理説明のために簡略化して見易く描いている。実際は、例えば肩部近辺ではもう少し形が崩れてなだらかに変化していて、カットオフ周波数は必ずしも図示した様に肩部の角に位置するものではない。また、図 1（ a ）の横軸は対数表示された周波数を表し、上記一次特性は、対数表示された周波数に関して一次的な特性であることを意味する。同様に、上記反比例も、対数表示された周波数に関して反比例することを意味する。

【 0 0 1 6 】

また、上記式（ 1 ）から分かる様に、出力電流周波数特性 1 は振動膜の機械インピーダンス Z_m のみならず、使用環境の一定の音響インピーダンス Z_r にも依存する。静電容量型電気機械変換装置は、通常、液体に漬けて使用する場合が多い。液体の音響インピーダンスは振動膜の機械インピーダンスよりも大きく、この場合、周波数特性 1 に対しては液体の音響インピーダンスが支配的となる。上述した様に、振動膜の機械インピーダンス Z_m が 0 になる周波数が振動膜の共振周波数であり、ここで出力電流周波数特性 1 は最大値をとる。振動膜の機械インピーダンスは、本来、振動膜の反共振周波数で無限大となるが、共振周波数よりも低い領域辺りで使用する際は、反共振周波数は無関係であるため、図 1（ a ）の出力電流周波数特性 1 では反共振周波数近辺の領域は省いている。こうした点を総合的に考慮に入れて、上記式（ 1 ）で表される出力電流周波数特性 1 が図 1（ a ）に示されている。

【 0 0 1 7 】

他方、電流 - 電圧変換増幅回路の周波数特性 3（図 1（ b ）参照）は次の式（ 3 ）で定式化され、第 2 のカットオフ周波数 4 は次の式（ 4 ）で表される。

$$G = R_f / (1 + j \omega R_f C_f) \quad (3)$$

$$f = 1 / (2 \pi R_f C_f) \quad (4)$$

G は電気回路のゲイン、 R_f は帰還抵抗、 C_f は帰還容量、 f と ω は入力電流の周波数と角周波数である。本発明の構成で用いる電気回路は、式（ 3 ）の様に周波数に対して一次特性（上記周波数特性 1 と同様に、対数表示された周波数に関しての特性である）のものをを用いることが望ましく、高次特性を持つ回路を使用することは好ましくない。

【 0 0 1 8 】

本発明では、静電容量型電気機械変換装置の出力電流の周波数特性 1 と電気回路の出力の周波数特性 3 を組み合わせて、従来の超音波プローブよりも低周波数域を帯域とする超音波検出装置を実現しようとする。この組み合わせに際し、目標とする特性 5（図 1（ c ）参照）を持つ超音波検出装置を実現するために、静電容量型電気機械変換装置の出力電流の周波数特性 1 の第 1 カットオフ周波数 2 よりも電気回路の出力の周波数特性 3 の第 2 カットオフ周波数 4 を小さくする。その理由は上述した通りである。

【 0 0 1 9 】

こうして、静電容量型電気機械変換装置の出力電流周波数特性 1 と電流 - 電圧変換増幅回

10

20

30

40

50

路の周波数特性 3 が合わさって、超音波検出装置の出力周波数特性 5 となる。図 1 (c) に示す様に、有効周波数帯域は低域側カットオフ周波数 1 0 1 から高域側カットオフ周波数 1 0 2 の間となる。このとき、低域側カットオフ周波数 1 0 1 及び高域側のカットオフ周波数 1 0 2 は、夫々、第 2 カットオフ周波数 4 及び第 1 カットオフ周波数 3 とは必ずしも一致しない。これは、第 1 カットオフ周波数 3 と第 2 カットオフ周波数 4 が近接している場合には、超音波検出装置の出力周波数特性 5 が、低域側カットオフ周波数 1 0 1 と高域側カットオフ周波数 1 0 2 の間においてほぼ平坦な分布となりにくいからである。周波数特性 1 と周波数特性 3 は、低域側カットオフ周波数 1 0 1 と高域側カットオフ周波数 1 0 2 の間で一定程度の大きさを保ちつつほぼ平坦な分布となる様に、設計するのが良い。それには、例えば、周波数特性 1 の傾斜部の傾きと周波数特性 3 の傾斜部の傾きは、符号が逆で絶対値が出来るだけ等しいのが良い。また、周波数特性 3 のゲインを大きくするのが良い。

10

【 0 0 2 0 】

以上のことから、広帯域・高感度な超音波検出装置において、例えば、カットオフ周波数 2 とカットオフ周波数 4 の相乗平均となる周波数が 0 . 4 M H z 乃至 1 . 0 M H z の範囲にあり図 1 (c) に示す様な周波数特性 5 を持つのが好ましい。周波数特性 5 の平坦な周波数帯域をその中心値で割った値が 1 3 0 % のとき、カットオフ周波数 2 とカットオフ周波数 4 の相乗平均を 0 . 4 M H z に設定すれば、0 . 2 M H z の超音波を検出できる。また、同様に、カットオフ周波数 2 とカットオフ周波数 4 の相乗平均を 1 . 0 M H z に設定すれば、2 . 0 M H z の超音波を検出できる。

20

【 0 0 2 1 】

従来、通常の半導体やマイクロマシニング関連材料を使った場合、生体などからの超音波が透過しやすい液体中において、静電容量型電気機械変換装置の周波数特性は約 3 M H z 以上で飽和して安定である。しかしながら、上述した様に 1 M H z 付近に中心があり高感度な C M U T を得るのは困難であった。上記原理による本発明によれば、こうした困難も解消できる。比較のために、従来の静電容量型電気機械変換装置の周波数特性、電気回路の周波数特性、超音波検出装置の周波数特性を図 4 (a)、(b)、(c) に示す。図 4 (a) の周波数特性は図 1 (a) の周波数特性とあまり変わらないが、図 4 (b) の周波数特性は図 1 (b) の周波数特性と比べてカットオフ周波数 4 が高周波側にあり全体的にゲインが低くなっている。その結果、図 4 (c) の周波数特性は、低域側カットオフ周波数 1 0 1 と高域側カットオフ周波数 1 0 2 の範囲が高周波側にあり、例えば 3 M H z 乃至 1 0 M H z にある。

30

【 0 0 2 2 】

以下、上記原理に基づいて具体化した静電容量型電気機械変換装置と電流 - 電圧変換増幅回路の構成を持つ実施形態を図に沿って説明する。

(第 1 の実施形態)

第 1 の実施形態の超音波検出装置を説明する。本実施形態の静電容量型電気機械変換装置 6 (以下、セルとも言う) と電気回路 1 4 の構成を図 1 (d) に示す。1 つのセルとして示す静電容量型電気機械変換装置 6 は、上部電極 7、振動膜 8、キャビティ 9、絶縁層 1 0、振動膜 8 を支持する支持部 1 1、下部電極 1 2、これらを支持する基板 1 3 で構成される。電気回路 1 4 は、上部電極 7 及び下部電極 1 2 と接続された抵抗 R 1、帰還抵抗 R f と帰還容量 C f を含む演算増幅器を有する。これらの変換装置 6 と電気回路 1 4 は、上述した周波数特性を有する様に構成されている。

40

【 0 0 2 3 】

図 1 (d) は構成の一例である。振動膜 8 が絶縁体であれば絶縁層 1 0 はあってもなくてもよい。また、その場合、振動膜 8 と支持部 1 1 は同一物質でもよい。絶縁層 1 0 と支持部 1 1 が同一物質でもよい。構成上、上部電極 7 と振動膜 8 は接着しており、一体で振動する。感度向上の観点から、キャビティ 9 は大気よりも低い圧力に維持されているのが望ましい。基板 1 3 がシリコンなどの半導体基板等の導電性基板である場合、基板 1 3 と下部電極 1 2 は一体でもよい。出力電流周波数特性 1 は、振動膜 8 の機械インピーダンスと

50

使用環境の音響インピーダンスに依存する。静電容量型電気機械変換装置は、通常、液体 18 に漬けて使用する場合が多い。液体 18 の音響インピーダンスは振動膜 8 の機械インピーダンスよりも大きく、液体は具体的には、水、超音波診断用グリス、ひまし油などの油等である。

【0024】

一般的に、上部電極 7、下部電極 12 は金属であればよいが、低抵抗の半導体などでもよい。例えば、第 2 の電極である上部電極 7 は、Al、Cr、Ti、Au、Pt、Cu、Ag、W、Mo、Ta、Ni 等から選択される導電体、Si 等の半導体、AlSi、AlCu、AlTi、MoW、AlCr、TiN、AlSiCu 等から選択される合金のうちの少なくとも 1 つの材料で形成することができる。また、上部電極 7 は、振動膜 8 の上面、裏面、内部のうちの少なくとも一箇所に設けるか、若しくは振動膜 8 を導電体又は半導体で形成する場合は振動膜が上部電極 7 を兼ねる構造とすることもできる。第 1 の電極である下部電極 12 も、上部電極 7 と同様の導電体や半導体等により形成することができる。また、下部電極 12 と上部電極 7 の電極材料は異なってもよい。

【0025】

本実施形態における各部の寸法を例示すると次のようになる。例えば、キャビティ 9 の高さは 100 nm 程度であるが、10 nm から 500 nm の範囲にあってもよい。キャビティ 9 の一片の長さは、例えば、10 μ m から 200 μ m の範囲にある。振動膜 8 は、例えば、SiN により形成されるが、その他の絶縁材料でもよい。キャビティ 9 は大気圧に対して減圧状態に保たれており、振動膜 8 は多少凹形状となる。振動膜及び電極は、例えば、角形としたが、円形、多角形などであっても構わない。セルのキャビティ 9 の形状も、例えば、角形であるが、その他の形状でもよい。

【0026】

受信動作時には、超音波検出装置のセル 6 の上部電極 7 と下部電極 12 の間に電位差を生じさせるために電圧源 15 により直流電圧 V をかける。超音波を受信する際には、振動膜 8 が振動し、振動に伴う容量変化分だけ電流が流れる。その電流を電流 - 電圧変換増幅回路 14 で増幅する。

【0027】

(第 2 の実施形態)

第 2 の実施形態の超音波検出装置を説明する。本実施形態の構成を図 2 (a)、(b) に示す。図の破線部分は、セル 6 の透視部を除いて、構造の描画を省略したことを示す。本実施形態では、セル 6 が基板 13 上に複数並んでいる。各セル 6 及び電気回路 14 の構成は第 1 の実施形態で説明した通りである。複数のセル 6 の上部電極 7 と下部電極 12 は、夫々、電極結合配線部 16、17 により電氣的に接続され、複数のセル 6 間で夫々導通している。図 2 (b) に示す様に、セル 6 は二次元的に等間隔で配列され、1 つのエレメント 20 を形成している。装置は、エレメント 20 の上部電極 7 が、例えば、超音波の伝播の良好な液体 18 に接した状態で使用される。検出感度、信号処理の容易さなどの観点から、複数のセル 6 間で、振動膜 8 の機械特性やキャビティ 9 の深さは均一であるのが望ましい。エレメント 20 内において、セル 6 の配列は、図示例では正方格子状になっているが、千鳥状、六方最密状などでも構わない。エレメント 20 内のセル 6 の配列形態や数は、場合に依りて適宜決めればよい。また、図示例では振動膜 8 の形状を円形に描いたが、多角形などでもよい。この様に、本実施形態では、下部電極 12 (第 1 電極) と上部電極 7 (第 2 電極) で構成されるコンデンサが、複数の空隙 9 と複数の第 2 電極ないし振動膜 8 とを含んで構成される。そして、エレメント 20 の出力電流の周波数特性は、複数の第 2 電極ないし振動膜 8 の機械特性の平均とコンデンサの静電容量を含む因子で決定される。

【0028】

本実施形態においては、複数の上部電極 7 が導通している領域が超音波検出領域となり、1 つのセルを含む第 1 の実施形態よりも感度が増加する。本実施形態では、複数のセルを含むエレメント 20 で 1 つの静電容量型電気機械変換装置を構成するとも言える。このと

きの静電容量型電気機械変換装置の周波数特性 1 (図 1 (a) 参照) は、上述した様に、複数の振動膜 8 の機械特性の平均値等で決定される。また、エレメント 20 の電流出力の大きさは複数の振動膜 8 上の上部電極 7 の総面積にほぼ比例する。その他の点は第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 2 9 】

(第 3 の実施形態)

第 3 の実施形態の超音波検出装置を説明する。本実施形態の構成を図 2 (c)、(d) に示す。上面図である図 2 (d) は超音波検出装置 32 の全体構成を示す。図 2 (c)、(d) でも、破線部分は構造の描画を省略したことを示す。本実施形態の超音波検出デバイス 30 は、第 2 の実施形態のエレメント 20 が二次元的に配列されている構成である。配線部 16 で繋がった上部電極 7 と配線部 17 で繋がった下部電極 12 のうち、どちらか一方はエレメント 20 ごとに電氣的に分離されている。本実施形態でも、上部電極 16 は超音波の伝播の良好な液体 18 に接している。エレメント 20 ごとの出力を配線 31 で電流 - 電圧変換増幅回路 14 に送って電圧変換することで、超音波信号を二次元の分布として検出することが可能である。ここでも、各エレメント 20 の周波数特性 1 は、複数の振動膜 8 の機械特性の平均値等で決定される。また、各エレメント 20 の電流出力の大きさは複数の上部電極 7 の総面積にほぼ比例する。本実施形態の超音波検出装置では、コンデンサは二次元的に配列されており、第 2 電極ないし振動膜 8 の振動情報を二次元で検出することが可能である。その他の点は第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 3 0 】

ところで、上記実施形態の構成は、音波を発生させる装置として用いることもできる。上部電極 7 (若しくは上部電極結合配線部 16) と下部電極 12 (若しくは下部電極結合配線部 17) の間に電圧源 15 で、DC 電圧に微小な交流電圧を重ねた電圧を印加することで、振動膜 8 を強制振動させて音波を発生させる。このときの周波数特性は、主に、静電容量型電気機械変換装置の出力電流周波数特性 1 と同じ様な送信特性を有する。この音波発生装置は、上述した第 2 の実施形態や第 3 の実施形態の様に、二次元的に振動膜 8 を配列することで、より大きな音波を発生させられる。また、発生面積を大きくすることで、音波の指向性を大きくでき、回折を小さくできる。

【 0 0 3 1 】

(第 4 の実施形態)

第 4 の実施形態の超音波診断装置を説明する。本実施形態の構成を図 3 に示す。光源 40 から発せられた光 41 が伝播して生体組織 42 にあたることによって、光音響波と呼ばれる超音波 43 が発せられる。すなわち、生体組織内部に存在する光吸収係数が大きい箇所にて光が吸収され、当該箇所が加熱される。そして、加熱された部分が膨張し、膨張に伴い弾性波が発生する。この超音波 43 の周波数は生体組織を構成する物質や個体によって異なるが、上述した様に、例えば、200 kHz 乃至 2 MHz 程度である。超音波 (光音響波) 43 は、その伝播の良好な液体 18 を通って、超音波検出装置 32 で検出される。電流電圧変換・増幅された信号は信号束線 44 を介して信号処理系 45 に送られる。検出結果の信号は信号処理系 45 で信号処理され、生体情報を抽出する。超音波検出装置 32 が上述した第 3 の実施形態の如き構成ならば、二次元的な超音波分布を検出することが可能であり、検出装置 32 を走査することによって広範囲な分布を捉えることができる。超音波は音速であるため、到達波 (時間波形) の時間差を解析して時間情報を得て奥行き方向の情報も取得可能であり、その場合、信号処理系 45 に再構成機能を持たせてもよく、三次元の生体情報を抽出することができる。また、受信した信号をフーリエ変換して周波数特性を得ることで画像などを取得することもできる。

【 0 0 3 2 】

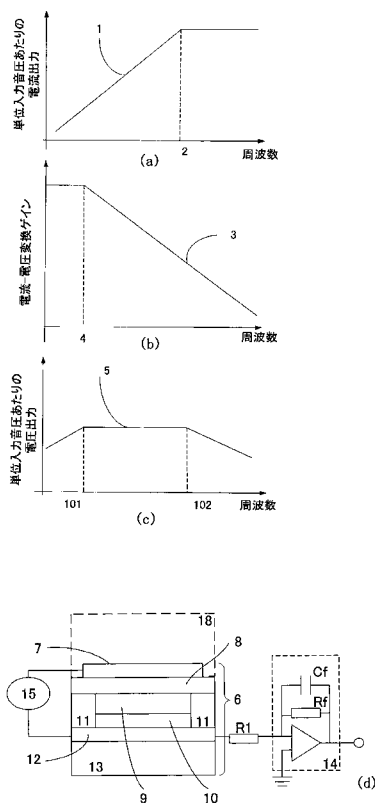
光音響効果を用いて試料 (検査対象) の断層像、三次元像などを取得する技術は、光音響トモグラフィー (Photo Acoustic Tomography) として一般に知られており、その頭文字をとって PAT 技術と称されている。

【 符号の説明 】

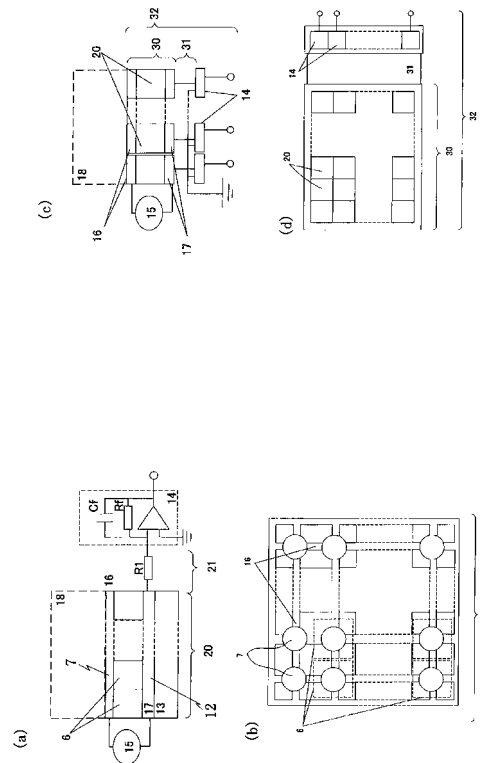
【 0 0 3 3 】

6 ... 静電容量型電気機械変換装置（セル）、7 ... 上部電極（第2電極）、8 ... 振動膜、9 ... キャビティ（空隙）、12 ... 下部電極（第1電極）、14 ... 電流 - 電圧変換増幅回路、15 ... 電圧源、32 ... 超音波検出装置、40 ... 光源、42 ... 生体組織（検査対象）、43 ... 光音響波（超音波）、45 ... 信号処理系

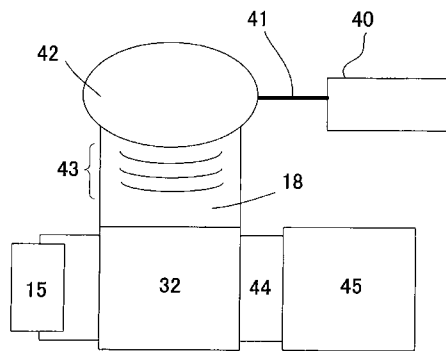
【 図 1 】



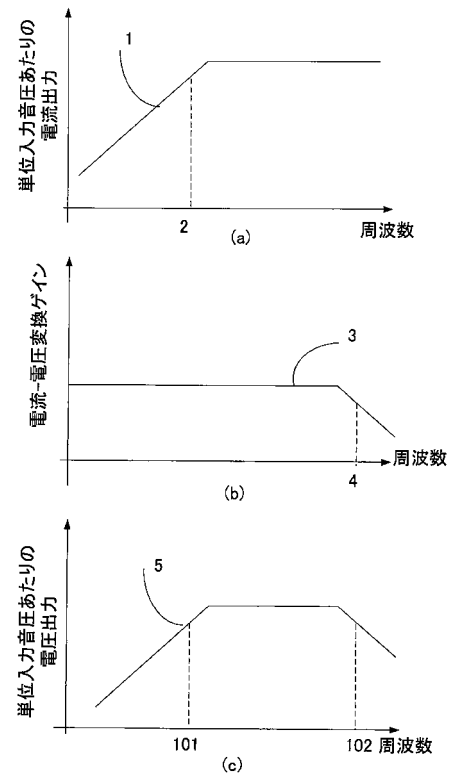
【 図 2 】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 水谷 英正
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 泉 卓也

(56)参考文献 国際公開第2005/120359(WO,A1)
国際公開第2006/041058(WO,A1)
特表2003-527947(JP,A)
特開2009-031268(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00 - 8/14
G01N 29/00 - 29/28
H04R 1/00
IEEE Xplore