

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6360487号
(P6360487)

(45) 発行日 平成30年7月18日(2018.7.18)

(24) 登録日 平成30年6月29日(2018.6.29)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

H O 4 R 17/00 (2006.01)

H O 1 L 41/113 (2006.01)

H O 1 L 41/04 (2006.01)

H O 1 L 41/193 (2006.01)

A 6 1 B 8/00

H O 4 R 17/00 3 3 O K

H O 4 R 17/00 3 3 2 A

H O 1 L 41/113

H O 1 L 41/04

請求項の数 26 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-539616 (P2015-539616)
 (86) (22) 出願日 平成25年10月3日(2013.10.3)
 (65) 公表番号 特表2016-503312 (P2016-503312A)
 (43) 公表日 平成28年2月4日(2016.2.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/063255
 (87) 国際公開番号 W02014/066006
 (87) 国際公開日 平成26年5月1日(2014.5.1)
 審査請求日 平成28年7月15日(2016.7.15)
 (31) 優先権主張番号 61/718, 952
 (32) 優先日 平成24年10月26日(2012.10.26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 13/830, 251
 (32) 優先日 平成25年3月14日(2013.3.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 502122794
 フジフィルム ディマティックス, イン
 コーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ニューハンプシャー O
 3 7 6 6, レバノン, エトナ ロード
 1 0 9
 (74) 代理人 100092093
 弁理士 辻居 幸一
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数の高調波モードを有するマイクロ機械加工超音波変換器アレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

媒体中に圧力波を発生させてそれを感知するための装置であって、

各変換器要素が膜、単一駆動ノ感知電極、及び基準電極を有する複数の変換器要素を含むマイクロ機械加工超音波変換器(MUT)アレイを含み、

前記複数の変換器要素の各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第1発振モードの個別の第1発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第1発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第1発振モードそれぞれが第1周波数帯域の第1共振周波数の個別の周波数に対応し、

前記複数の変換器要素の各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第2発振モードの個別の第2発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第2発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第2発振モードそれぞれが第2周波数帯域の第2共振周波数の個別の周波数に対応し、前記複数の第1発振モード及び前記複数の第2発振モードが異なる個別の発振モードを含み、前記第2共振周波数の一又は二以上が前記第1共振周波数のいずれより大きく、

前記装置は、

前記MUTアレイに接続された駆動又は感知回路であって、前記複数の第1発振モードを有する第1モードと前記複数の第2発振モードを有する第2モードとを含む前記MUT

アレイの少なくとも2つの発振モードを誘起する駆動又は感知回路を含むことを特徴とする装置。

【請求項2】

前記第2周波数帯域の中心が、前記第1周波数帯域の中心の約2倍であり、
前記第1周波数帯域及び前記第2周波数帯域のうちの1つ又はそれよりも多くが、第3又はより高い前記MUTアレイのモードに対応する共振周波数を含む、
ことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記複数の第1発振モードの一つに対応する共振周波数が、前記複数の第2発振モードの一つに対応する最も低い共振周波数よりも高いことを特徴とする請求項2に記載の装置

10

【請求項4】

前記複数の第1発振モード及び前記複数の第2発振モードが、それぞれ、前記MUTアレイの少なくとも120%-6dB比帯域幅であることを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】

前記MUTアレイは、該アレイの変換器要素が圧電膜サイズの範囲を有する圧電MUT(pMUT)であり、
前記第1共振周波数帯域は、前記圧電膜サイズの範囲の関数である、
ことを特徴とする請求項1に記載の装置。

20

【請求項6】

前記駆動回路は、前記変換器要素のうちの少なくとも一部を少なくとも前記第1周波数帯域を誘起する第1電気信号を用いて駆動するよう、前記MUTアレイに結合された信号発生器を含み、

前記感知回路は、前記第2周波数帯域からの成分を含む第2電気信号を前記変換器要素のうちの少なくとも一部から受信するよう、前記MUTアレイに結合された信号受信機を含む、

ことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項7】

前記第1電気信号は、前記複数の第1発振モード及び前記複数の第2発振モードの両方を誘起し、

30

前記第2電気信号は、前記第1周波数帯域及び前記第2周波数帯域の両方からの成分を含む、

ことを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項8】

前記複数の第1発振モードは、前記アレイの第1チャンネル上に誘起され、前記複数の第2発振モードは、該アレイの第2チャンネル上に誘起され、

前記第1周波数帯域からの成分が、前記第1チャンネルから収集され、前記第2周波数帯域からの該成分は、前記第2チャンネルから収集される、

ことを特徴とする請求項7に記載の装置。

40

【請求項9】

前記第1電気信号は、前記複数の第2発振モードにわたって前記複数の第1発振モードのパルス幅及び形状を有し、前記複数の第1発振モードのみ誘起し、

前記信号受信機は、前記第2周波数帯域に関連付けられた前記第2電気信号の成分を前記第1周波数帯域に関連付けられた前記第2電気信号の他の成分からフィルタリングする、

ことを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項10】

異なるサイズの膜が、同じチャンネル内の膜間の破壊的相互作用を回避し、かつ隣接するチャンネルの膜間のクロストークを回避するよう、基板上に空間的に配置されることを特徴

50

とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 1】

前記膜の少なくとも 1 つの寸法が、最小値と最大値の間で変化し、あらゆる 2 つの隣接膜間の寸法差よりも大きい範囲におよぶことを特徴とする請求項 1 0 に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記膜の前記サイズは、少なくとも 3 つの隣接膜の第 1 のシリーズにわたって区分的に増大し、かつ少なくとも 3 つの隣接膜の第 2 のシリーズにわたって区分的に減少し、

前記第 1 及び第 2 のシリーズの両方は、最大寸法の 1 つの膜と最小寸法の 1 つの膜を含む、

ことを特徴とする請求項 1 1 に記載の装置。

10

【請求項 1 3】

前記要素サイズ変動は、前記アレイの少なくとも 1 つの寸法の循環関数であり、前記チャネル集団の反復単位内に n 個の異なる膜タイプのうちの 2 つを与えることを特徴とする請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 4】

楕円体膜の第 1 半軸長のみが、チャネル内で基板の第 1 寸法にわたって変更され、該楕円体膜の第 2 半軸長のみが、チャネル内で該基板の第 2 寸法にわたって変更されることを特徴とする請求項 1 3 に記載の装置。

【請求項 1 5】

マイクロ機械加工超音波変換器 (MUT) アレイであって、

基板の区域にわたって配列され、第 1 変換器要素及び第 2 変換器要素を含む複数の変換器要素と、

前記複数の変換器要素の各々に結合された基準電極と、

前記複数の変換器要素のサブセットに互いに並列に結合されて前記アレイのチャネルを形成する駆動 / 感知電極であって、前記チャネルが前記第 1 変換器要素及び前記第 2 変換器要素を備えた第 1 チャネルを含み、前記第 2 変換器要素の膜に第 2 発振モードを誘起する電気信号によって駆動されたときに前記第 1 変換器要素が第 1 発振モードに入るように寸法決定された膜を有し、前記第 1 発振モードが前記第 2 発振モード以外であり、前記第 1 発振モード及び前記第 2 発振モードが、それぞれ、個別のベッセル関数の解に対応し、前記第 1 変換器要素及び第 2 変換器要素間の前記膜の寸法が、前記第 1 チャネル内のあらゆる 2 つの隣接要素の膜間の寸法差よりも大きい範囲におよぶ、前記駆動 / 感知電極と、を含むことを特徴とするアレイ。

20

30

【請求項 1 6】

前記第 1 チャネル内の変換器要素の個別のサイズが、第 1 寸法にわたって循環的に変化し、前記第 1 チャネルの各変換器要素について、前記変換器要素が、第 2 寸法に沿って、前記第 1 チャネルの個別の他の変換器要素に近接し、前記変換器要素のサイズに対して、前記他の変換器要素が、前記第 1 チャネルの複数の要素サイズの 2 番目に最小である、又は、前記複数の要素サイズの 2 番目に最大であることを特徴とする請求項 1 5 に記載の MUT アレイ。

【請求項 1 7】

前記第 1 チャネル内の変換器要素の個別のサイズが、前記アレイの少なくとも 1 つの寸法の循環関数によって変動し、前記第 1 チャネルが、少なくとも 3 つの膜の第 1 のシリーズを有する複数の反復単位を含み、前記第 1 のシリーズの連続する膜が、第 1 寸法に沿ったサイズで区分的に増大し、少なくとも 3 つの膜の第 2 のシリーズが、前記第 2 のシリーズの他の個別の膜に近接し、前記第 2 のシリーズの連続する膜が、前記第 1 寸法に沿って区分的に減少する、

40

ことを特徴とする請求項 1 6 に記載の装置。

【請求項 1 8】

媒体中に圧力波を発生させてそれを感知する方法であって、

マイクロ機械加工超音波変換器 (MUT) アレイの少なくとも一部の変換器要素の電極

50

を第 1 電気信号を用いて駆動する段階を含み、

前記 M U T アレイの各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記 M U T アレイの複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第 1 発振モードの個別の第 1 発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第 1 発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第 1 発振モードそれぞれが第 1 周波数帯域の第 1 共振周波数の個別の周波数に対応し、前記 M U T アレイの各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第 2 発振モードの個別の第 2 発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第 2 発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第 2 発振モードそれぞれが第 2 周波数帯域の第 2 共振周波数の個別の周波数に対応し、前記複数の第 1 発振モード及び前記複数の第 2 発振モードが異なる個別の発振モードを含み、前記第 2 共振周波数の一又は二以上が前記第 1 共振周波数のいずれより大きく、前記第 1 電気信号が前記第 1 共振周波数帯域に関連する少なくとも第 1 発振モードを誘起し、

10

方法は、

前記第 2 共振周波数帯域に関連付けられた第 2 発振モードに対応する少なくとも 1 成分を含む第 2 電気信号を前記電極から受信する段階

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 19】

前記駆動する段階は、前記第 1 周波数帯域及び前記第 2 周波数帯域の両方を誘起し、前記第 2 電気信号は、前記第 1 及び第 2 周波数帯域の両方からの成分を含む、

20

ことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記第 1 周波数帯域は、前記アレイの第 1 チャンネル上に誘起され、前記第 2 周波数帯域は、該アレイの第 2 チャンネル上に誘起され、

前記第 1 周波数帯域からの成分が、前記第 1 チャンネルから収集され、前記第 2 周波数帯域からの該成分は、前記第 2 チャンネルから収集される、

ことを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記第 1 電気信号は、前記第 2 周波数帯域よりも前記第 1 周波数帯域を誘起するパルス幅及び形状を有し、

30

信号受信機が、前記第 2 周波数帯域に関連付けられた前記第 2 電気信号の成分を前記第 1 周波数帯域に関連付けられたものからフィルタリングする、

ことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 22】

圧電マイクロ機械加工超音波変換器 (p M U T) アレイの周波数応答を最適化する方法であって、

1 つ又はそれよりも多くの公称周波数応答を達成するよう複数の p M U T 要素パターン化マスケレベル内の特徴部を公称寸法決定する段階と、

電極と変換器膜の圧電材料との間の接触面積を定める 1 つ又はそれよりも多くのマスケレベル内の特徴部の寸法を前記アレイの区域にわたって変更する段階と、

40

前記変更された寸法に関連付けられた測定応答から感度マトリックスを発生させる段階と、

複数の公称寸法決定された p M U T 要素パターン化マスケ層を用いて前記アレイからターゲット応答を達成するように必要とされる電極と前記変換器膜の圧電材料との間の前記接触面積を決定する段階と、

を含み、

前記 p M U T アレイの各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記 p M U T アレイの前記複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第 1 発振モードの個別の第 1 発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第 1 発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第 1 発振モードそれぞれが第 1 周波数帯域の

50

第 1 共振周波数の個別の周波数に対応し、前記 p M U T アレイの各変換器要素について、前記変換器要素の膜は、前記複数の変換器要素の個別の膜によって、それぞれ、複数の第 2 発振モードの個別の第 2 発振モードに入るように寸法決定され、前記複数の第 2 発振モードそれぞれが個別のベッセル関数の解に対応し、前記複数の第 2 発振モードそれぞれが第 2 周波数帯域の第 2 共振周波数の個別の周波数に対応し、前記複数の第 1 発振モード及び前記複数の第 2 発振モードが異なる個別の発振モードを含み、前記第 2 共振周波数の一又は二以上が前記第 1 共振周波数のいずれより大きいことを特徴とする方法。

【請求項 2 3】

前記特徴部は、前記圧電材料と前記電極の間に配置された誘電体層内の窓であり、
前記 1 つ又はそれよりも多くのマスクレベルは、前記窓の臨界寸法 (C D) を定める単一マスクレベルである、
ことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

10

【請求項 2 4】

前記窓 C D は、前記 p M U T アレイの異なるチャネルにわたって変更されることを特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 2 5】

各チャネルが、複数の公称膜寸法を含み、
1 つの公称膜サイズのみで前記窓 C D が、チャネル内で変更される、
ことを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 6】

20

複数の窓サイズを定める前記複数の公称寸法決定された p M U T 要素パターン化マスクレベルと前記単一マスクレベルとを用いて第 1 p M U T アレイを製作する段階を更に含むことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔関連出願への相互参照〕

本出願は、2012 年 10 月 26 日に提出され、出願番号 61 / 718 , 952 を有する「第 1 及び第 2 高調波モードを有する圧電変換器アレイ (P I E Z O E L E C T R I C T R A N S D U C E R A R R A Y S W I T H 1 s t A N D 2 n d H A R M O N I C M O D E S) 」という名称の米国一般特許仮出願に対する優先権を主張するものであり、その内容全体は、あらゆる目的に対して引用によって本明細書に組み込まれている。

30

【0002】

本出願は、2012 年 10 月 9 日に提出され、出願番号 13 / 648 , 225 を有する「超広帯域幅圧電変換器アレイ (U L T R A W I D E B A N D W I D T H P I E Z O E L E C T R I C T R A N S D U C E R A R R A Y S) 」という名称の米国一般特許出願に関連するものである。

【0003】

本発明の実施形態は、一般的に超音波変換器に関連し、より具体的には、マイクロ機械加工超音波変換器 (M U T) アレイに関する。

40

【背景技術】

【0004】

超音波変換器デバイスは、典型的には、変換器要素の露出外面と接触状態にある伝播媒体 (例えば、空気、水、又は体組織) 中に高周波圧力波を発生させるために時変駆動電圧に応答して振動することができる膜を含む。高周波圧力波は、他の媒体中に伝播することができる。その同じ膜は、伝播媒体から反射圧力波を受け入れ、受け入れた圧力波を電気信号に変換することができる。これらの電気信号は、伝播媒体中の密度又は弾性係数の変化に関する情報を取得するために駆動電圧信号と共に処理することができる。

【0005】

50

圧電変換器デバイス及び容量変換器デバイスは、撮像分野で有利であることが証明されている。圧電膜を使用する多くの超音波変換器デバイスは、塊状の圧電材料を機械的にダイスカットすることにより、又は圧電セラミック結晶が注入された担体材料を射出成形することによって形成されるが、デバイスは、様々なマイクロ機械加工技術（例えば、材料堆積、リソグラフィパターン化、エッチングによる特徴部形成等）を用いて極めて高い寸法公差で廉価に有利に製作することができる。従って、個々のものがビーム形成アルゴリズムによって駆動される大きい変換器要素アレイを使用することができる。そのようなアレイ構成のデバイスは、圧電MUT（pMUT）アレイとして公知である。容量変換器も、容量MUT（cMUT）アレイとして同じくマイクロ機械加工することができる。

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来のMUTアレイに関連付けられる1つの問題は、伝達媒体によって作用される実音響圧の関数である帯域幅が限られる可能性があることである。胎児心臓モニタリング及び動脈モニタリングのような超音波変換器用途は、広範囲の周波数にわたるので（例えば、比較的深い撮像性能を与える低い周波数及び浅い撮像性能を与える高い周波数）、MUTアレイの帯域幅を強化することでパルス長を短くすることにより、軸線方向分解能（すなわち、超音波ビームと平行な方向の分解能）が有利に改善されることになる。

【0007】

従来のpMUTアレイに関連付けられる別の問題は、基板の振動を通じた機械結合及びpMUTアレイ内に見出される近接要素間の音響結合が、変換器要素の間に望ましくないクロストークをもたらす可能性があることである。そのようなpMUTアレイ内の望ましくない形態のクロストークを低減することにより、超音波変換器用途におけるSN比が有利に改善されることになる。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

実施形態において、MUTアレイの変換器要素集団は、複数の発振モードに向けて構成される。これらの複数のモードは、少なくとも第1及び第2共振モードを含み、更に第3、第4、及びそれ以上のモードを含むことができる。本明細書では、そのような多共振モード又は多高調波モードのMUTアレイを単純に「マルチモード」MUTアレイと呼ぶ。一部の実施形態において、チャネル内の近接膜間の脱建設的相互作用、又は近接チャネル間のクロストークを軽減又は回避するために、高調波は、膜サイズの寸法決定と異なるサイズの膜を配置することによって同相にされる。

30

【0009】

実施形態において、マルチモードMUTアレイは、超幅広帯域幅を達成するように超音波変換器の送信モードと受信モードの両方に使用される複数の共振モードに関連付けられた帯域幅全体を用いて作動される。そのような実施形態において、膜は、主として2次振動モードに関連付けられた周波数帯域と重なる周波数帯域を有する1次振動モードを誘起するようにサイズが決定されて電気信号によって駆動される。

【0010】

40

実施形態において、マルチモードMUTアレイは、超音波変換器の送信モードと受信モードの間で割り当てられた複数の共振モードに関連付けられた帯域幅を用いて作動される。1つのそのような実施形態において、送信帯域として適する1次振動モードが駆動信号によって誘起され、受信帯域として適する2次振動モードに関連付けられた周波数が信号受信機によってフィルタリングされる。例えば、膜サイズの適正な調整により、組織高調波撮像（THI）の技術は、低周波振動の第1帯域と高周波振動の第2帯域とを用いて低帯域幅変換器に典型的な利得制限を受けることなく実施することができる。

【0011】

実施形態において、マルチモードMUTアレイは、超音波変換器の異なるチャネルにわたって割り当てられた複数の共振モードに関連付けられた帯域幅を用いて作動される。高

50

いサンプリング速度を達成するために、1つ又はそれよりも多くの振動モードに関連付けられた第1周波数帯域は、変換器の第1チャンネル内で駆動され、一方、1つ又はそれよりも多くの他のモードに関連付けられた第2周波数帯域は、第2チャンネル内で駆動される。ある一定のそのような実施形態において、超音波変換器は、複数のフォーカスゾーンを同時に用いて作動可能であり、その作動中に、低周波(第1モード)チャンネルは、高周波(第2モード)チャンネルよりも深い焦点距離の場所にフォーカスされる。

【0012】

実施形態において、膜サイズの寸法決定と異なるサイズの膜を基板の上に空間的に配置することとは、少なくとも部分的に1つ又はそれよりも多くの感度解析によって達成される。高調波位相整合は、多くのファクタに依存する複合的な機能であるので、この課題は、MUTアレイの周波数応答をモデル化された公称寸法から最適化することによって少なくとも部分的に対処される。ある一定の有利な圧電実施形態において、感度解析は、電極と変換器膜の圧電材料の間の接触面積を定める単一マスクレベルで実施される。ある一定のそのような実施形態において、単一pMUTアレイは、アレイの異なるチャンネルにわたって感度解析が実施されて製作される。次に、チャンネル応答が測定され、公称値と比較され、各膜サイズ分類に対して最適なサイズが推定される。その後、アレイに使用される各異なる膜サイズに対する最適マスク寸法に基づいて、最終マスクセットが定められる。

【0013】

本発明の実施形態は、限定ではなく一例として示すものであり、以下に続く詳細説明を図に関連付けて考察することでより完全に理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】実施形態により円形変換器要素を有するマルチモードMUTアレイの平面図である。

【図1B】実施形態により円形変換器要素を有するマルチモードMUTアレイの平面図である。

【図1C】マルチモードMUTアレイの実施形態により変換器膜サイズの1次元空間配置を描写するグラフである。

【図1D】実施形態により楕円形変換器要素を用いたマルチモードMUTアレイの平面図である。

【図2A】実施形態により図1A、図1B、及び図1DのマルチモードMUTアレイ内で利用される圧電変換器要素の断面図である。

【図2B】実施形態により図1A、図1B、及び図1DのマルチモードMUTアレイ内で利用される圧電変換器要素の断面図である。

【図2C】実施形態により図1A、図1B、及び図1DのマルチモードMUTアレイ内で利用される圧電変換器要素の断面図である。

【図3A】実施形態により第1発振モードを受ける変換器要素の概略断面図である。

【図3B】実施形態により第2発振モードを受ける変換器要素の概略断面図である。

【図4A】実施形態により図3A及び図3Bに描く第1及び第2発振モードに関連付けられた第1及び第2共振周波数帯域を示す周波数応答グラフである。

【図4B】実施形態により図3A及び図3Bに描く第1及び第2発振モードに関連付けられた第1及び第2共振周波数帯域を示す周波数応答グラフである。

【図5】本発明の実施形態によりマルチモードMUTアレイを使用する超音波変換器装置の機能ブロック図である。

【図6】実施形態によりマルチモードMUTアレイの作動モードを描写する流れ図である。

【図7A】実施形態によりMUTアレイの第1及び第2振動モードに対応する2つの帯域を示すモデル化した周波数応答の図である。

【図7B】第1及び第2振動モード間の脱建設的位相整合を被るMUTアレイに対してモデル化した周波数応答の図である。

10

20

30

40

50

【図 8 A】実施形態により超音波変換器の別々の送信及び受信モードに適する p M U T アレイの第 1 及び第 2 振動モードに対応する 2 つの帯域を示すモデル化した周波数応答の図である。

【図 8 B】応答感度に対する組織高調波撮像 (T H I) のためのマルチモード M U T アレイ帯域幅の割り当て効果を示す図である。

【図 8 C】応答感度に対する組織高調波撮像 (T H I) のためのマルチモード M U T アレイ帯域幅の割り当て効果を示す図である。

【図 9 A】実施形態により M U T アレイの第 1 及び第 2 振動モードに対応する 2 つの帯域を示すモデル化した周波数応答の図である。

【図 9 B】従来のマルチゾーンフォーカス技術を示す図である。

10

【図 9 C】マルチチャネル実施形態によりマルチゾーンフォーカス技術を示す図である。

【図 1 0】実施形態により異なる膜サイズを有する膜の集団の周波数応答を最適化する方法を示す流れ図である。

【図 1 1】実施形態により様々な窓サイズ及び対応する応答曲線を有する P M U T アレイの平面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下に続く説明では、多くの詳細内容を示すが、当業者は、これらの特定の詳細内容なしに本発明を実施することができることは理解されるであろう。一部の事例では、本発明を不明瞭にすることを避けるために公知の方法及びデバイスを詳細にではなくブロック図形態に示している。本明細書にわたる「実施形態」への参照は、その実施形態に関して説明する特定の特徵、構造、機能、又は特性が、本発明の少なくとも 1 つの実施形態の中に含まれることを意味する。従って、本明細書にわたる様々な箇所における「実施形態では」という語句の出現は、必ずしも本発明の同じ実施形態を参照しているとは限らない。更に、特定の特徵、構造、機能、又は特性は、あらゆる適切な方式で 1 つ又はそれよりも多くの実施形態の中に組み合わせることができる。例えば、第 1 の実施形態と第 2 の実施形態が互いに排他的であることを具体的に示していない限り、第 1 の実施形態を第 2 の実施形態と組み合わせることができる。

20

【 0 0 1 6 】

本明細書では、構成要素間の機能的又は構造的な関係を説明するのに「結合」という表現を使用する。「結合」は、2 つ又はそれよりも多くの要素が互いに直接又は間接（これらの要素間の他の介在要素を用いて又は媒体を通して）のいずれかの機械的、音響的、又は電気的な接触状態にあること、及び / 又は 2 つ又はそれよりも多くの要素が互いに協働又は相互作用すること（例えば、因果関係の場合のように）を示す上で使用することができる。

30

【 0 0 1 7 】

本明細書に使用する「にわたって」、「の下に」、「の間に」、及び「上に」という表現は、組立ての関連又はマイクロ機械加工スタックの材料層の関連で 1 つの構成要素又は材料層の他の構成要素又は層に対する相対位置に注目する場合にそのような物理的関係を意味する。別の層（構成要素）にわたって又はその下に配置された 1 つの層（構成要素）は、他の層（構成要素）と直接接触状態にある場合があり、又は 1 つ又はそれよりも多くの中間層（構成要素）を有することができる。更に、2 つの層（構成要素）の間に配置された 1 つの層（構成要素）は、2 つの層（構成要素）と直接接触状態にある場合があり、又は 1 つ又はそれよりも多くの中間層（構成要素）を有することができる。それとは対照的に、第 2 の層（構成要素）「上」の第 1 の層（構成要素）は、この第 2 の層（構成要素）と直接接触状態にある。

40

【 0 0 1 8 】

単数形「a」、「an」、及び「the」は、状況が別途指定しない限り複数形も含むように意図している。本明細書に使用する「及び / 又は」という表現は、関連付けられた列記品目のうちの 1 つ又はそれよりも多くのいずれか又は全ての可能な組合せを意味し、

50

かつそれらを包含することも理解されるであろう。

【0019】

実施形態において、MUTアレイの圧電変換器要素集団は、複数の発振モードに向けて構成される。各モードは、与えられた膜幾何学形状に関するベッセル関数の解に対応し、少なくとも第1及び第2共振モードを含み、更に変換器膜の第3、第4、及びそれ以上の共振モードを含む場合がある。異なるモードで発振する変換器要素間の結合（例えば、伝達媒体及び/又は基板への機械接続などを通じたもの）は、一般的に位相がずれた高調波モードの結果である破壊的相互作用をもたらす可能性があるため、1つよりも多い共振モードは課題を呈する。本明細書の実施形態において、複数の発振モードが存在する場合に、特定のチャンネルの膜の寸法決定と空間配置の両方は、チャンネル内の膜の間のそのような破壊的相互作用、又は近接チャンネル間のクロストークを軽減するように行われる。

10

【0020】

図1A及び図1Bは、円形変換器要素を有するマルチモードMUTアレイの平面図である。図1Aは、実施形態によりMUTアレイ101の平面図である。アレイ101は、基板101の第1寸法xと第2寸法yによって定められた区域にわたって配置された複数の電極レール110、120、130、140を含む。駆動/感知電極レール（例えば、110）の各々は、あらゆる他の駆動/感知電極レール（例えば、120又は130）とは独立して電氣的にアドレス可能であり、アレイ101の機能的に別々のチャンネルである。各チャンネルは、チャンネル内の個々の変換器要素からの応答の複合体である独特の周波数応答を有する。各要素には、各チャンネルにおける駆動/感知電極が電氣的に並列接続される。例えば、図1では、変換器要素111A、112A、113A等は、駆動/感知電極レール110によって電氣的に駆動されるように互いに結合される。同様に、全ての変換器要素（例えば、121A）は、駆動/感知電極レール120に全て互いに並列結合される。一般的に、あらゆる個数の変換器要素は、膜直径、要素ピッチ、及び各チャンネルに割り当てられた基板面積の関数としてチャンネル内に互いにまとめることができる。例えば、図1Bの実施形態において、各チャンネルは、第1の(y)寸法内に3つの隣接要素（例えば、要素111A₁、111A₂、及び111A₃）を含む。この第1寸法の範囲では、全ての要素は、同じ膜サイズ（すなわち、同じ直径）を有する。

20

【0021】

実施形態において、少なくとも1つの膜寸法は、装置の同じチャンネルの複数の要素にわたって変化する。図1A及び図1Bに示すように、円形膜の直径は、各チャンネルがある範囲の膜サイズを含むように、基板の少なくとも1つの寸法（例えば、y寸法）に沿って変化する。描写する実施形態において、各チャンネルは、特定のサイズを有する膜を同じ個数だけ含み、異なるサイズを同じ個数だけ含む。共振周波数は膜サイズの関数であるため（高い周波数は小さい膜サイズに関連付けられる）、与えられた電気作動信号がチャンネルに印加されると、特定の周波数応答が誘起され、又は与えられた周波数応答が媒体を通して戻されると、この周波数応答は、特定の電気感知信号を発生させる。各チャンネルが同じ要素集団（同じ個数及びサイズ分布）及び同じ空間レイアウトを有する図1A及び図1Bに描写する実施形態において、各チャンネルは、殆ど同じ周波数応答を有することを予想することができる。これに代えて、異なる要素集団（すなわち、異なる個数の膜サイズ、特定サイズを有する異なる個数の膜、基板の上に異なる空間配置）を有するチャンネルは、有意に異なる周波数応答を有することを予想することができる。

30

40

【0022】

実施形態において、与えられたチャンネル内で異なるサイズを有する膜は、膜の間の破壊的相互作用を回避するように空間配置される。1つ又はそれよりも多くの基板寸法にわたって連続的、平滑的、及び/又は区分的な方式で変化する膜サイズは、有意に異なるサイズを有する膜の間の位相不整合に起因する破壊的相互作用を有利に低減することが見出されている。一部の実施形態において、与えられた距離にわたる膜サイズの変化が特定の閾値を超えないように（例えば、最も近い隣接要素の間の円形膜直径において10%よりも小さく、有利には5%よりも小さく、最も有利には2%よりも小さい変化）、隣接する要

50

素が類似のサイズの膜を有することで、要素集団にわたって共振位相が維持される。この手法は、破壊的相互作用を回避するために、全ての要素が、十分に近い共振周波数（従って、位相スペクトル）を有する共振器で囲まれることを確実にする。膜サイズの過度に激しい変化は、隣接する膜の間に、チャンネルの周波数応答におけるノッチを誘起する位相関係をもたらす可能性がある。例えば、侵害／攻撃する膜の作用は、犠牲になる膜（例えば、攻撃する膜の直ぐ隣、又は他に直近にある）の上で伝達媒体を局所的に押圧するか又は堆積させる場合があり、犠牲になる膜の位相に関して不適切な時点で第2の膜の有効膜質量を増加させ、それによって犠牲になる要素の性能を減衰させるか又は遅延させる。そのような音響の減衰（又は伝達媒体の減衰）が重度である場合に、複数の発振モードを誘起する作動条件下で望ましくないゼロ交差が発生する可能性がある。

10

【0023】

図1Aに描くように、第1サイズの変換器要素111A（例えば、最も小さい直径の膜）は、第2サイズの要素112A（例えば、次に大きい直径の膜）に隣接し、膜サイズは、絶えず増大する膜サイズを有する第1の要素（例えば、714A、715A、716A）列を通して段階的な方式で徐々に増大し、次に、段階的に減少するサイズを有する第2のシリーズは、最も小さい直径まで戻る。図1Bに示すように、膜の直径は、同じく区分的に D_1 から D_2 、 D_3 、 D_4 、更に D_5 と増大し、次に、半径 D_5 を有する第2の膜から D_4 を有する第2のものに減少し、以降同じく区分的に減少して D_1 を有する第2の膜に戻る。順次、直径 $D_1 \sim D_5$ 及び $D_5 \sim D_1$ で広がる膜のセットは、チャンネルのx寸法の長さにわたって続けられる反復単位（RU）を形成する。図1A及び図1Bに描く空間配置の両方は、チャンネル集団における各要素が、同じサイズを有する別の要素に隣接するか又はいずれかの個数の異なる膜サイズ（例えば、3つ、4つ、又は図1Bに描く5つの異なるサイズ等）において次に大きいか又は次に小さいサイズを有する別の要素に隣接することを確実にする。しかし、最大寸法の膜（716A）を1つだけのみを有する図1Aの実施形態とは異なり、図1BのRU内の全ての膜サイズの空間密度は、あらゆるサイズ又は「タイプ」の2つの膜と有利に等しい。

20

【0024】

図示の実施形態において、アレイのチャンネル内の変換器要素膜サイズは、基板の少なくとも1つの寸法の循環関数である。図1Cは、マルチモードMUTアレイの実施形態により循環関数に従う変換器膜サイズの一般化した1次元空間配置を描写するグラフである。循環的なサイズ変化の頻度は、MUTの機械的特性、並びに伝達媒体に独特の位相整合による制限を受け、従って、実施によって異なる可能性がある。ある一定の実施形態において、膜の最大及び最小のサイズに関する循環関数の振幅は、RU内の最大サイズの膜と最小サイズの膜の間の差が、あらゆる2つの隣接膜の間のサイズの差よりも大きくなるように十分に大きい。一例として、最大膜サイズと最小膜サイズの間の範囲は、少なくとも2つの発振モードが、1つ又はそれよりも多くの与えられた電気作動信号によってRU内に誘起されることを確実にするように選択することができ、一方、隣接膜の間のサイズの増分は、全ての変換器要素が応答曲線に寄与して3dB帯域幅を維持することを確実にするように選択することができる。この場合に、対応する最小及び最大の膜サイズは、チャンネル内に誘起される1次高調波と2次高調波の少なくとも両方（更に潜在的に、程度の弱い3次及び高次高調波）を有することになる。一例として、図2A～図2Cの状況で説明する一般的な構造を有する変換器からのMHz周波数応答では、20～150 μm の範囲が一般的な膜寸法になり、一般的に1～10 μm の増分が十分な応答重ね合わせを与えることになる。従って、図1Bに図示の実施形態において、5つの膜サイズは、10 μm の増分で100 μm と140 μm の間を一巡する直径に対応することができる。

30

40

【0025】

図1Bは、基板の第2寸法（例えば、膜111A₁、111A₂、及び111A₃が全て同じ直径のものであるy寸法）内に配列された1つのサイズを有する複数の膜を更に例示している。図1Bでは各膜サイズの空間密度が高いため、図1Bに描写する実施形態は、図1Aに描写する実施形態よりも高い占有率を有利に与え、それに伴って高い利得を与え

50

る。更に、図 1 B に示すように、同じサイズの膜の間で、サイズに関係なく同じ最小空隙 S_{min} が維持される。チャンネル内の膜の中心行、例えば、膜 1 1 1 A₂ は、その中心をチャンネル軸 L 上に位置合わせし、隣接膜行の中心は、チャンネル軸 L から直径 1 つに最小空隙 S_{min} を 1 つ加えた場所にある。

【 0 0 2 6 】

マルチモードアレイアーキテクチャは、円形 / 球形以外の形状の膜を用いて実施することができる。例えば、図 1 D は、実施形態により楕円形変換器要素を用いたマルチモード M U T アレイの平面図である。一般的に、楕円体膜は、より高い発振モードに半主軸 B、C 間の格差の関数としてより容易に駆動される。円形又は球形の膜に対する全ての回転角からの回転対称性を 2 重対称性 (1 8 0 °) まで下げることにより、モード形状は、分離した共振周波数を有するより明確に異なるモードに容易に分割することができる。従って、異なる半主軸を有する圧電膜は、チャンネル内の変換器要素の周波数応答を整形するための追加の自由度を与える。更に別の実施形態において、少なくとも第 1 及び第 2 の半主軸は、複数の別々の共振周波数 (モード) を与えるほど十分に異なる長さのものである。

【 0 0 2 7 】

この例示的实施形態において、楕円体膜の空間配置は、円形膜の状況で記述されたものと同じ発見的過程を辿るが、図 1 D にプロットした例示的な楕円形実施形態において、膜寸法は、チャンネル集団内で x 寸法と y 寸法の両方に変化する。図示のように、チャンネル内で第 1 の半軸の長さ (例えば、B) だけが、基板の第 1 寸法にわたって変更され、それに対して第 2 の半軸の長さ (例えば、C) だけが、基板の第 2 寸法にわたって変更される。図 1 D に更に示すように、あらゆる 2 つの隣接膜の間のサイズの差よりも大きい R U 内である範囲のサイズを得るために、各軸は、アレイ寸法のうちの 1 つにわたって区分的に増大する (及び / 又は減少する)。図示のように、B 軸は、アレイの 1 つの寸法 (例えば、基板 1 0 1 0 の y 軸) に沿って要素 1 0 1 0 A A、1 0 1 0 A E、1 0 1 0 J A それぞれと共に B₁ から B₅ に至るまで増分し、次に、B₁ まで減少して戻る。1 0 1 0 A B ~ 1 0 1 0 J B を含む列又は行、及び 1 0 1 0 A C ~ 1 0 1 0 J C を含む列又は行は、1 0 1 0 A A ~ 1 0 1 0 J A 列 / 行におけるものと同じ B 軸増分を有する。C 軸の方は、アレイの第 2 寸法に沿う (例えば、基板 1 0 1 の x 軸に沿う) 各要素と共に増分し、従って、1 0 1 0 A A ~ 1 0 1 0 J A を含む行の全ての要素が C₁ に等しい軸を有するように寸法が決定される。同様に、1 0 1 0 A B ~ 1 0 1 0 J B を含む行の全ての要素は、C₂ に等しい軸を有するように寸法決められ、1 0 1 0 A C ~ 1 0 1 0 J C を含む行の全ての要素は、C₃ に等しい軸を有するように寸法決められる。

【 0 0 2 8 】

実施形態において、二重モード M U T アレイの各変換器要素は圧電膜を含む。圧電膜は、第 3 の (z) 寸法において曲率を有してドームを形成するか (図 2 A で更に示すように) 又は凹みを形成する (図 2 B で更に示すように) 球形とすることができる。図 2 C に更に示すように、平面膜も可能である。図 2 A ~ 図 2 C の関連において、個々の変換器要素の例示的なマイクロ機械加工 (すなわち、マイクロ電気機械) 態様を簡単に説明する。図 2 A ~ 図 2 C に描く構造は、主として本発明の特定の態様に関する状況として、変換器要素構造に関して本発明の広範囲にわたる適用可能性を更に例示するために含めたものであることを理解しなければならない。

【 0 0 2 9 】

図 2 A では、凸変換器要素 2 0 2 は、作動中に p M U T アレイ 1 0 0 の振動外面の一部を形成する上面 2 0 4 を含む。更に、変換器要素 2 0 2 は、基板 1 0 1 の上面に取り付けられた底面 2 0 6 を含む。変換器要素 2 0 2 は、基準電極 2 1 2 と駆動 / 感知電極 2 1 4 の間に配置された凸又はドーム形の圧電膜 2 1 0 を含む。一実施形態において、圧電膜 2 1 0 は、例えば、平面である上面の上に形成されたドームを有する特徴部転写基板 (例えば、フォトレジスト) 上に圧電材料粒子を均一な層で堆積させる (例えば、スパッタリングする) ことによって形成することができる。例示的な圧電材料は L e a d Z i r c o n a t e T i t a n a t e (チタン酸ジルコン酸鉛) (P Z T) であるが、従来のマ

10

20

30

40

50

イクロ機械加工処理に適應する二フッ化ポリビニリデン (P V D F) ポリマー粒子、B a T i O₃、単結晶 P M N - P T、及び窒化アルミニウム (A l N) 等であるがこれらに限定されない当業技術で公知のいずれかを利用することができる。駆動 / 感知電極及び基準電極 2 1 4、2 1 2 の各々は、特徴部 - 特徴部転写基板上に堆積された (例えば、P V D、A L D、C V D 等により) 導電材料の薄膜層とすることができる。駆動電極層における導電材料は、A u、P t、N i、I r などのうちの 1 つ又はそれよりも多く、これらの合金 (例えば、A u S n、I r T i W、A u T i W、A u N i 等)、これらの酸化物 (例えば、I r O₂、N i O₂、P t O₂ 等)、又は 2 つ又はそれよりも多くのそのような材料の複合スタック等であるが、これらに限定されず、上述したような機能のための当業技術で公知のいずれかのものとすることができる。

10

【 0 0 3 0 】

図 2 A に更に示すように、一部の実施では、変換器要素 2 0 2 は、製作中に支持体及び / 又はエッチング停止体として機能する二酸化珪素のような薄膜層 2 2 2 を任意的に含むことができる。誘電体膜 2 2 4 は、基準電極 2 1 2 から駆動 / 感知電極 2 1 4 を絶縁するように更に機能することができる。垂直に向けられた電気相互接続部 2 2 6 は、駆動 / 感知電極 2 1 4 を駆動 / 感知電極ルール 1 1 0 を通して駆動 / 感知回路に接続する。類似の相互接続部 2 3 2 は、基準電極 2 1 2 を基準ルール 2 3 4 に接続する。変換器要素 2 0 2 の中心を定める対称軸を有する孔 2 4 1 を有する環状支持体 2 3 6 は、圧電膜 2 1 0 を基板 1 0 1 に機械的に結合する。支持体 2 3 6 は、二酸化珪素、多結晶シリコン、多結晶ゲルマニウム、S i G e など等であるが、これらに限定されないいずれかの従来の材料のものとするすることができる。支持体 2 3 6 の例示的な厚みは 1 0 ~ 5 0 μ m までの範囲にわたり、膜 2 2 4 の例示的な厚みは 2 ~ 2 0 μ m までの範囲にわたる。

20

【 0 0 3 1 】

図 2 B は、変換器要素 2 0 2 内のものと機能的に類似の構造を類似の参照番号に示した変換器要素 2 4 2 に対する別の例示的構成を示している。変換器要素 2 4 2 は、静止状態で凹である凹圧電膜 2 5 0 を示している。この場合に、駆動 / 感知電極 2 1 4 は、凹圧電膜 2 5 0 の底面の下に配置され、それに対して基準電極 2 1 2 は、上面の上方に配置される。上部保護不動態化層 2 6 3 も示している。

【 0 0 3 2 】

図 2 C は、変換器要素 2 0 2 内のものと機能的に類似の構造を類似の参照番号に示す変換器要素 2 8 2 に対する別の例示的構成を示している。変換器要素 2 8 2 は、静止状態で平面であり、要素 2 0 2、2 4 2 とは異なり、屈曲モードで作動し、従って、膜 2 7 5 (一般的にシリコンのもの) を更に使用する平面圧電膜 2 9 0 を示している。この場合に、駆動 / 感知電極 2 1 4 は、平面圧電膜 2 9 0 の底面の下に配置され、それに対して基準電極 2 1 2 は、上面の上方に配置される。図 2 A ~ 図 2 C の各々に描くものと反対の電極構成も可能である。

30

【 0 0 3 3 】

図 3 A 及び図 3 B は、実施形態により第 1 及び第 2 発振モードを受ける変換器要素の概略断面図である。図 4 A 及び図 4 B は、実施形態により図 3 A 及び図 3 B に描く第 1 及び第 2 発振モードに関連付けられた第 1 及び第 2 共振周波数帯域を示す周波数応答グラフである。作動中に、アレイ内の膜は、独特の第 1 共振周波数を有する第 1 振動モード又は発振モードに誘起される。同じく作動中に、アレイ内の膜は、第 1 共振周波数のものよりも大きい第 2 共振周波数に関連付けられた第 2 振動モードに誘起される。第 1 周波数帯域と第 2 周波数帯域の両方は、次に、異なる膜サイズの与えられた集団に関連付けられる。図 3 A は、支持体 2 3 6 によって支持され、駆動 / 感知電極 3 1 2 によって駆動され、駆動 / 感知電極対 3 1 2 が時変電圧駆動信号を感受するときに第 1 振動モードを与える膜 3 5 0 (静止状態で平面、ドーム形、又は空洞を有する圧電材料とすることができる) の断面図をプロットしている。図 3 B では、膜は、駆動信号の結果として第 2 共振で発振する。第 2 振動モードは、基本振動モード又は第 1 振動モードよりも高い周波数 (例えば、2 ×) のものであるので、より高いモードにおいてより高い周波数レジームを得ることができ

40

50

る。異なるサイズの円形（又は楕円形）膜が様々なモードで振動する本明細書で説明する実施形態（例えば、図 1 A ~ 図 1 D）では、周波数応答において 2 つの広帯域を形成することができる（例えば、第 1 帯域、及び第 1 帯域の周波数の約 2 倍の第 2 帯域）。p M U T 要素の圧電励振が角度 θ にほぼ依存しないことを考えると、有利なモード形は、 $(0, 1)$ モード、 $(0, 2)$ モード、 $(0, 3)$ モードであり、これらの場合にノード直径数は 0 である。

【 0 0 3 4 】

図 4 A 及び図 4 B は、実施形態による図 3 A 及び図 3 B の M U T に対する性能測定値のプロット図である。図 4 A を参照すると、一実施形態において、駆動信号発生器は、第 1 電気信号を駆動して、第 2 共振モード（ f_{n2} ）よりも大きく膜 3 5 0 の第 1 共振モード（ f_{n1} ）を励振することになる。図 4 B では、駆動信号発生器は、第 1 共振モード（ f_{n1} ）よりも大きく膜 3 5 0 の第 2 共振モード（ f_{n2} ）を誘起又は励起する。第 1 モード又は高モードのいずれかにおける作動は、少なくとも駆動信号のパルス幅及び / 又はパルス形状により、更に、膜サイズ及び膜形状（例えば、円形対楕円）によって決定することができる。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、本発明の実施形態によりマルチモード M U T アレイを使用する超音波変換器装置 5 0 0 の機能ブロック図である。例示的实施形態において、超音波変換器装置 5 0 0 は、水、組織体のような媒体中に圧力波を発生させ、媒体中の圧力波を感知するためのものである。超音波変換器装置 5 0 0 は、医療診断、製品欠陥検出等において、1 つ又は複数の媒体中の内部構造変化の撮像を目的とする多くの用途を有する。装置 5 0 0 は、説明する変換器要素及要素集団の属性のうちのいずれかのものを有する本明細書で説明するマルチモード M U T アレイ要素設計のうちのいずれかのものを有することができる少なくとも 1 つのマルチモード M U T アレイ 5 1 6 を含む。例示的实施形態において、M U T アレイ 5 1 6 は、その外面の対面方向及び場所を必要に応じて変更する（例えば、撮像される区域に対面させる）ように機械又は装置 5 0 0 のユーザが操作することができるハンドル部分 5 1 4 に含まれた M U T である。M U T アレイ 5 1 6 のチャンネルをハンドル部分 5 1 4 の外部にある通信インタフェースに電気コネクタ 5 2 0 が電氣的に接続する。

【 0 0 3 6 】

実施形態において、装置 5 0 0 は、例えば、電気コネクタ 5 2 0 を用いて M U T アレイ 5 1 6 に結合された当業技術で公知のいずれかのものとすることができる信号発生手段を含む。信号発生手段は、アレイ 5 1 6 内の各チャンネルの駆動 / 感知電極に電気作動信号を供給することになる。1 つの特定の実施形態において、信号発生手段は、圧電変換器要素集団に 1 M H z と 4 0 M H z の間の周波数で共振させる電気作動信号を印加することになる。一部の実施形態において、信号発生手段は、制御信号を直並列変換するためのデシリアライザ 5 0 4 を含み、変換された信号は、次に、デマルチプレクサ 5 0 6 によって逆多重化される。例示的な信号発生手段は、デジタル制御信号を M U T アレイ 5 1 6 内の個々の変換器要素チャンネルに対する駆動電圧信号に変換するデジタル / アナログ変換器（D A C）5 0 8 を更に含む。ビームステアリングを行い、望ましいビーム形状、フォーカス、及び方向などを生成するために、プログラム可能時間遅延コントローラ 5 1 0 により、個々の駆動電圧信号にそれぞれの時間遅延を追加することができる。p M U T チャンネルコネクタ 5 2 0 と信号発生手段の間には、M U T アレイ 5 1 6 を駆動モードと感知モードの間で切り換えるためのスイッチ網 5 1 2 が結合される。

【 0 0 3 7 】

実施形態において、装置 5 0 0 は、例えば、電気コネクタ 5 2 0 を通して M U T アレイ 5 1 6 に結合された当業技術で公知のいずれかのものとすることができる信号収集手段を含む。信号収集手段は、M U T アレイ 5 1 6 内の駆動 / 感知電極チャンネルからの電気感知信号を収集してフィルタリングすることになる。信号収集手段の一例示的实施形態において、アナログ / デジタルコンバータ（A D C）5 1 4 は、アレイ 5 1 6 内のチャンネルからの電圧信号の受信機であり、これらの電圧信号は、デジタル信号に変換される。次に、デ

デジタル信号は、メモリ（プロットしていない）に格納するか又は信号処理手段に直接渡すことができる。例示的な信号処理手段は、デジタル信号を圧縮するためのデータ圧縮ユニット526を含む。受信信号をメモリ、他のストレージ、又は受信信号に基づいてグラフィック表示を発生させることになる画像処理プロセッサのような下流のプロセッサに伝達する前に、マルチプレクサ528及びシリアルライザ502が受信信号を更に処理することができる（例えば、周波数に基づくフィルタリング等）。

【0038】

図6は、実施形態によりマルチモードMUTアレイを作動させる方式を更に描写する流れ図である。一般的に、方法600では、マルチモードMUTアレイ601は、3つの役割のうちの少なくとも1つで作動される。第1のものでは、マルチモードMUTアレイ601は、作動605において、1次及び高次モードを同時に誘起し、超幅広の多共振周波数帯域幅を得るように駆動される。次に、作動610において、マルチモードMUTアレイ601は、更にこの帯域幅を通して感知を行うために使用される。図7A～図7Bは、この第1の作動方式を記載している。第2の作動法では、マルチモードMUTアレイ601は、作動620において、送信に向けて多共振周波数帯域幅の第1の成分を誘起し、一方、作動625において、帯域幅の第2の成分が感知されるように駆動される。図8A～図8Cは、この第2の作動方式を詳しく記載している。第3の方法では、マルチモードMUTアレイ601の異なるチャンネルは、作動630、633において、多共振周波数帯域幅の異なる成分（すなわち、第1及び第2共振周波数帯域）を誘起し、作動636及び639において、異なるチャンネルを用いて多共振周波数帯域幅の異なる成分を感知するように駆動される。この多信号モード又はマルチチャンネルモードに対して、図9A～図9Cの状況で詳しく説明する。

【0039】

超幅広帯域幅実施形態において、少なくとも第1共振モードと第2共振モードは重なる。第3及びそれ以上のモードが存在する場合に、これらのモードは、次に、高い次数及び次に低い次数の帯域と重なる可能性がある。2つの共振モードという最も簡単な場合に、図7Aの位相線図及び利得線図に描くように、1次モードに関連付けられた第1共振周波数帯域の最も高い共振周波数は、2次モードに関連付けられた第2共振周波数帯域の最も低い共振周波数よりも高い。これらの超幅広帯域幅実施形態において、膜集団は、例えば、図1A～図1Dの状況で上述したように膜サイズとレイアウトとを制御することによって設計される。破壊的位相整合を回避するか又は少なくとも軽減する手法において、膜の有効質量、有効剛性を制御することができる。

【0040】

この場合に、第1モードの最も高い共振周波数（最も小さい膜要素に関する）と第2モードの最も低い共振周波数（最も大きい膜要素に関する）との間の重ね合わせは、両方のスペクトル帯域を融合し、アレイの帯域幅を少なくとも120%の-6dB比帯域幅（すなわち、-6db帯域幅/中心周波数）まで拡張することができる。位相変化に起因して重なる共振周波数における課題を第1振動モードと第2振動モードの間である程度の脱建設的位相整合を被るMUTアレイに対してモデル化した周波数応答である図7Bによって例示する。例えば、固定された均一サイズの膜では、位相は、第1振動モードと第2振動モードの間でゼロと交差し、周波数帯域内に図7Bのノッチ720程度の少なくとも目立つノッチをもたらす。しかし、共振モード周波数帯域は、例えば、図1Bに描く段階的な要素サイズ変化を使用することによって完全に融合することができる。このようにして、同じチャンネル内の異なるサイズの膜集団に印加された駆動信号は、1つ又はそれよりも多くの膜内に第1発振モードを誘起することができ、それと共に1つ又はそれよりも多くの他の膜内に第2発振モードを誘起することができる。同様に、超幅広帯域幅圧力変換器の感知サイクルにおいて同じ帯域幅を利用することができる。

【0041】

次に、図8Aを参照すると、マルチモードMUTを作動させる第2の方式では、送信（Tx）において、主として第1発振モードに関連付けられた第1周波数帯域を抛り所とす

ることができ、感知において、主として第2発振モードに関連付けられた第2周波数帯域を抛り所とすることができる。図8Aに示すモードで作動するために、マルチモードMUTアレイに電気結合された駆動回路は、与えられたチャネルの変換器要素の少なくとも一部を少なくとも第1周波数帯域（例えば、狭帯域）を誘起する第1電気信号で駆動する信号発生器を含む。例えば、パルス幅及びパルス形状は、多共振周波数帯域の一部分しか導かないように、超幅広帯域幅実施形態に使用されるものから偏位させることができる。その一方、感知回路は、適切な帯域通過フィルタを用いて抽出することができる第2周波数帯域からの成分を含む第2電気信号を変換器要素の少なくとも一部のものから受信するために、マルチモードMUTアレイに結合された信号受信機を含む。取りわけ、この役割で作動する場合に、共振周波数帯域は重ねても、そうでなくてもよい。帯域が確実に重なる場合に、例えば、膜の寸法及びレイアウトが図1Bの例に従い、かつ超幅広帯域幅作動にも適する場合に、 $T \times$ 帯域及び $R \times$ 帯域が1つだけの共振モードとならないように、一部の膜は、送信周波数帯域内の第2モードで発振することができ、一部の膜は、受信周波数帯域内の第1モードで発振することができる。

【0042】

図8Aに示す第2作動モードは、組織高調波撮像（THI）技術に非常に適しており、この場合に、低帯域幅変換器において一般的な利得制限に悩まされることなく、低周波振動の第1帯域及び高周波振動の第2帯域が使用される。一般的に、軟質組織内への信号の侵入は、送信周波数が低下すると共に増大するが、画像分解能においてそれに関連付けられた低下が存在する。超音波がターゲット媒体を通して伝播するときに、音響波の非線形歪曲に起因して、送信信号の形状及び周波数に変化が発生する。高調波は媒体中で発生し、深さと共に強まる。高調波周波数は、曲譜の上音とほぼ同じく送信周波数の高い整数倍数である。現在のTHI技術は、撮像において第2高調波（送信周波数の2倍）しか用いない。例えば、最大侵入を与えることができる3.0MHzの送信周波数は、6.0MHzの高調波周波数を戻すことになる。戻って来る高周波数信号は、プローブに1つの方向にしか進まない。高周波数撮像及び一方向進行効果の利点は、弱い反響、ビーム収差、及び側帯波、並びに高い分解能及び包囊の鮮明化を含む。

【0043】

図8Bに示すように、変換器は、1つの周波数で効率的な送信機であり、それと共に第2高調波において効率的な受信機でなければならないので、変換器帯域幅は、THIにおける制限ファクタである可能性がある。変換器帯域幅（例えば、約70%～80%の-6dB比帯域幅）が高調波撮像に対して準最適である場合に、送信中心周波数は、一般的に中心周波数の2/3に設定され、一方、高調波受信周波数は、中心周波数の4/3に設定される。図8Bの破線で更に示すように、チャネルの要素の間の脱建設的相互作用は、帯域幅を制限することができ、それによって利得（感度）が低下する。しかし、図8Cに示すように、チャネルの第1共振モードと第2共振モードの両方を含み、基本（ f_0 ）周波数と $2f_0$ 周波数とをカバーする多共振モードMUTが有するより大きい帯域幅は、必然的に非常に効率的なTHI送信機及び受信機それぞれを可能にする。従って、THIは、様々な膜サイズの組合せを有するマルチモードMUTアレイ（例えば、図1Bに描くような）を用いて有利に実施することができる。

【0044】

実施形態において、マルチモードMUTアレイは、第3の方式において、複数共振モードに関連付けられた帯域幅を超音波変換器の異なるチャネルにわたって割り当てることにより、この帯域幅を更に利用するように作動される。変換器の第1チャネル内では、主として基本発振に関する低周波数帯域のような第1周波数帯域が使用され、それに対して第2チャネル内では、高サンプリング速度を得るために、主として2次又は3次高調波に関する高周波数帯域のような第2周波数帯域が使用される。マルチモードMUTアレイの全てのチャネルが実質的に等しく、各チャネルが、図1Bで例証した発見的過程を辿って基板の上に空間的に分布された異なる膜サイズを有する複数の要素を含む実施形態において、第1のパルスの形状及び/又は幅（例えば、長い）を有する第1電気信号は、第1チャ

10

20

30

40

50

ネル内の膜のうちの1つ又はそれよりも多くのものに対して基本発振を誘起することができる、それに対して第2のパルスの形状及び/又は幅(例えば、短い)を有する第2電気信号は、第2チャンネル内の膜のうちの1つ又はそれよりも多くのものに対して高次の発振を誘起することができる。低周波数帯域及び高周波数帯域に関連付けられた基本発振及び高次の発振の場合に、図9Aに描くモデル化したスペクトルが与えられる。感知モード中に、第1及び第2チャンネル信号は、適切に異なる帯域通過によってフィルタリングされ、第1チャンネルから低周波数帯域が抽出され、第2チャンネルから高周波数帯域が抽出される。

【0045】

マルチチャンネル作動は、高いサンプリング速度での近視野と遠視野の両方のフォーカスゾーン(すなわち、多深度)の撮像を容易にすることができる。そのような技術は、制限を受ける走査速度が心臓及び血流のような高速移動物体の歪曲画像をもたらす図9Bに示す従来のマルチゾーンフォーカス技術とは対照的である。一般的に、走査速度は、次のパルスが送信される前に最も遠い場所からの情報が戻るのを待つ必要性によって決定される。図9Bに示すように、第1の深度にフォーカスさせるために、遅延発生器は、複数の変換器チャンネルにわたって第1の遅延シグナチャーを実施する。次に、第2の深度に関連付けられた異なる遅延シグナチャーを有する第2のパルスが送られる。5つの深度ゾーン(a~f)が設けられる場合に、5つのパルス及び5つのサンプリング期間が必要とされ、走査速度は更に低下する。更に、画像深度全体にわたって有効横方向分解能を改善するために、複数フォーカスゾーン技術が多くの場合に使用される。各ゾーン内では、改善された分解能を得るために、幅広開口/低f数の撮像が使用され、各ゾーンからの画像が互いに貼り合わせられる。それによってフレームレートが更に低下することになる。

【0046】

例えば、図1Bに示すもののようなアレイを有する実施形態において、異なる振動モードの結果として周波数応答においていくつかの幅広の帯域を形成することができる場合に、各周波数帯域は、独立した撮像チャンネル内に使用することができる。各チャンネルは、($T \sim 1/2f_i$)の持続時間又はチャープ波形を有するパルスのような関連付けられた周波数にある励起波形によって励振することができる。受信信号は、対応する帯域通過フィルタを用いて又は様々な復調技術によって様々なチャンネル内に入れるように解析することができる。その結果、チャンネル数に比例してフレームレートを改善することができる。図9Cに示すように、提案するマルチチャンネル作動モードは、高周波数(短いパルス)の第1励起波形に関する高周波チャンネルが近視野ゾーンに使用され、それに応じてフォーカスされて(小さい焦点距離)高分解能画像を与える複数フォーカスゾーン技術を効率的に実施することができる。同時に、最大侵入を与えるために、LF(低周波数)の単一チャンネル(又は複数チャンネル)をより深い焦点距離の場所にフォーカスさせることができる。理論的には、この手法は、高周波変換器の高速撮像速度、低周波変換器の深い侵入、及び画像深度にわたる改善された有効横方向分解能を与える。

【0047】

本明細書の他の箇所で特筆したように、本明細書に説明するマルチモードMUT実施形態を実施する際の技術的課題のうちの1つは、同じチャンネルの膜の間の脱建設的干渉を含む。MUTの帯域幅を改善し、及び/又は本明細書に説明する特定の作動モードに帯域幅を適応させるために、様々なサイズの振動膜(平面、ドーム、窪み)を用いた周波数整形を行うことができる。この場合に、一般的に、設計作業は、n個の1次フィルタを使用することによって広帯域の帯域通過フィルタを設計するのに似ている。周波数応答の形状は絞り直径のセットの関数であるので、周波数整形は、リソグラフィを用いた幾何学形状によって調整することができるが、有効剛性、有効質量、自然共振周波数、有効音響インピーダンス、及び要素間の結合を含むいくつかのパラメータは、全て膜直径に強く依存する。その結果、変換器の周波数スペクトルは、膜直径の非常に複合的な関数であり、実際の周波数整形を潜在的に扱い難くかつ複合的な手順にする。

【0048】

従って、実施形態において、MUTアレイの周波数応答は、MUTデバイスの1つ又は

10

20

30

40

50

それよりも多くのマスクレベルで感度解析を実施することにより、モデル化された公称寸法から最適化される。この例示的实施形態において、感度解析は、電極と変換器膜の材料との間の接触面積を定める単一マスクレベルを用いて実施される。1つの有利な実施形態において、単一マスクレベルは、電極が通って接触する膜材料の上の寸法決定された開口部を定める誘電体窓層である。例えば、図2A、2B、及び2Cは、窓寸法が圧電膜210と駆動/感知電極212の間に配置された誘電体膜224（例えば、酸化物）内の開口部を如何に定めるかを示している。この誘電体窓の寸法は、モード形状及びモード周波数をそれ程変化させることなく、主として様々なモード形状の振幅に影響を及ぼす別のパラメータである。更に、有効質量、有効剛性、及び有効音響インピーダンスをごく僅かしか変化させないことが予想される。従って、実施形態において、最終周波数応答は、酸化物の窓の寸法の最適化に基づいて微調整される。

10

【0049】

最適化された窓サイズは、数値モデル（例えば、FEMモデル）を用いて推定するか又は実験的に見出すことができる。図10は、可能性として1回の製作及び1枚の単一マスク層（窓マスク）だけを用いて実験を通して決定された誘電体窓サイズの感度解析を実施することにより、異なる膜サイズを有する膜の集団から周波数形状を最適化する方法1100を示す流れ図である。方法1100は、望ましい1つ又は複数の公称周波数応答を得るためにモデル化パラメータに基づいてPMUTデバイスの全てのマスク層の寸法を決定する段階を有する作動1150で始まる。

【0050】

20

作動1160では、 n 個の膜タイプ（サイズ）に関する圧電接触面積を調節するために、PMUTアレイチャンネルにわたって誘電体窓マスクCDが変更される。例えば、ID超音波アレイが64～256個の同一のチャンネルを含む場合に、これらのチャンネルは、 $n+1$ 個の群に分割することにより、すなわち、モデルによって推定される1つの対照セットと、図11に5つの変形に対して詳しく示すように変形毎に1つのタイプの膜のみの酸化物窓が予め定められた値（ $2\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ ）だけ変更される対照セットの変形とに分割することにより、各アレイを感度マトリックスとして設計することができる。図示のように、円形のバンド1110は、窓CDの収縮を表し、電極ルール110に関するチャンネルでは、最も大きい膜要素だけが予め決められた量だけ調節（収縮）され、一方、異なる公称サイズの膜は、描く他の4つの処理に対して変更された窓サイズを有する。

30

【0051】

図10に戻ると、作動1070では、実験的な窓寸法決めを含むマスクセットを用いてPMUTデバイスが製作される。次に、作動1180（図10）では、チャンネル応答（図11に詳しく示す）が、各窓サイズ変形に対して、製作されたデバイスから測定される。次に、感度項（ $\partial y / \partial x$ 、ここで x は窓サイズであり、 y は周波数応答である）を発生させるために、これらの応答は、公称（モデル化された）寸法に関連付けられた応答と比較される。次に、望ましい最終周波数応答に到達する各膜サイズ分類に対する窓の最適サイズは、感度解析に基づいて決定される。その後、作動1190では、アレイ内に使用される各異なる膜サイズに対して決定されたこれらの最適マスク寸法に基づいて、最終マスクセットが定められる。図10に詳しく示すように、オプションとして感度解析の2回目の反復処理を実施することができる。

40

【0052】

以上の説明は例示的なものであって、限定的ではないことは理解されるものとする。例えば、図内の流れ図は、本発明のある一定の実施形態によって実施される作動の特定の順序を示すが、そのような順序を必要としない可能性がある（例えば、別の実施形態は、これらの作動を異なる順序で実施する、ある一定の作動を組み合わせる、ある一定の作動を重ねる、更に類似のことを行うことができる）ことを理解しなければならない。更に、当業者には、以上の説明を読解した上で多くの他の実施形態が明らかであろう。本発明を特定の例示的实施形態を参照して記述したが、本発明は、記述した実施形態に限定されないことは認識されるであろう。

50

【符号の説明】

【 0 0 5 3 】

1 0 1 M U T アレイ

1 1 0、1 2 0、1 3 0、1 4 0 電極レール

1 1 1 A ~ 1 1 6 A、1 1 1 B ~ 1 1 5 B、1 2 1 A 変換器要素

【図 1 A】

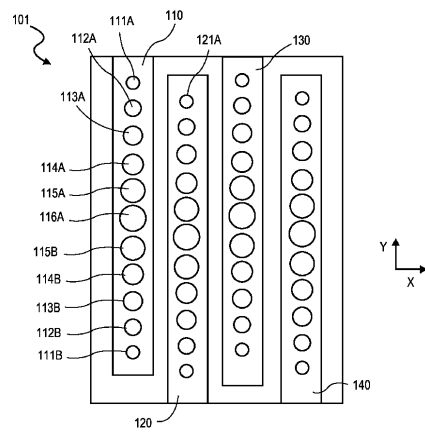


FIG. 1A

【図 1 B】

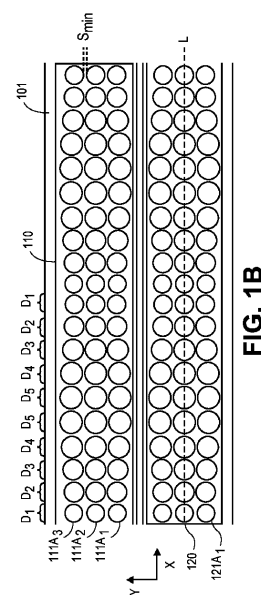


FIG. 1B

【図 1 C】

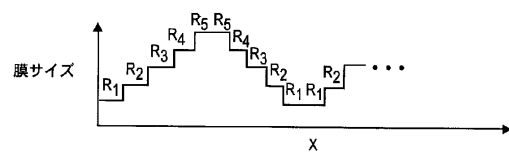


FIG. 1C

【図 1 D】

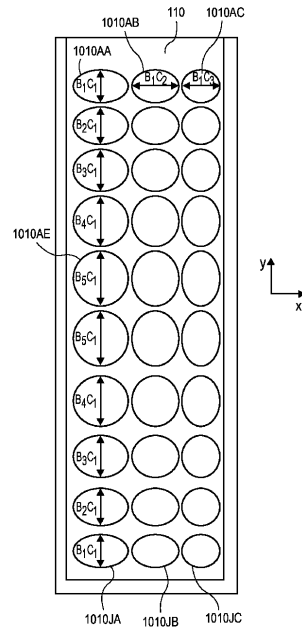


FIG. 1D

【図 2 A】

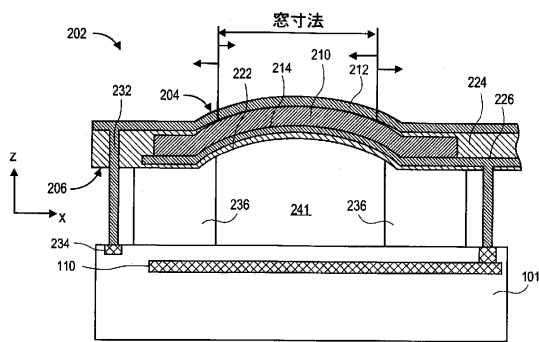


FIG. 2A

【図 2 B】

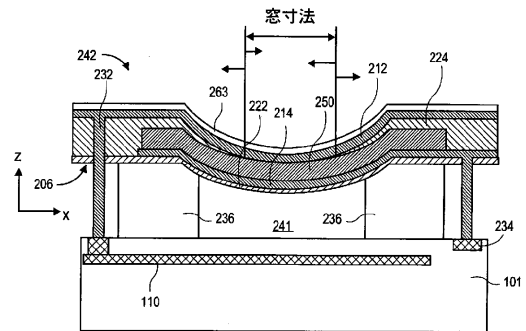


FIG. 2B

【図 2 C】

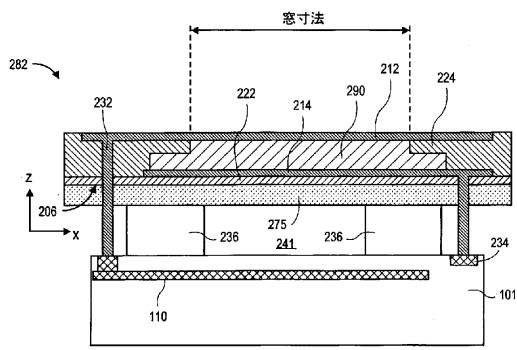


FIG. 2C

【図 3 A】

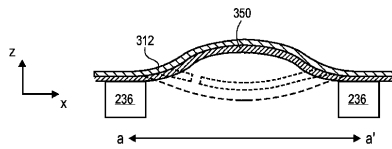


FIG. 3A

【図 3 B】

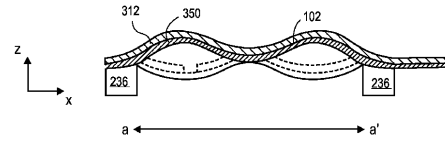


FIG. 3B

【図 4 A】

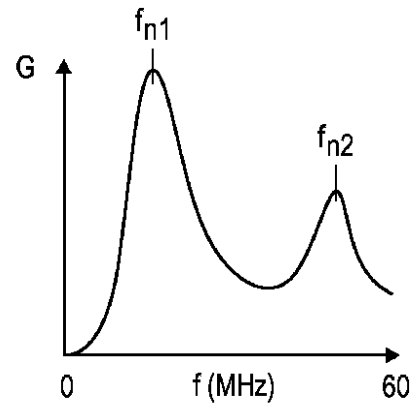


FIG. 4A

【図 4 B】

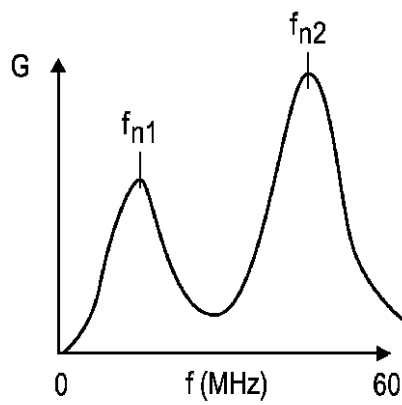


FIG. 4B

【図 5】

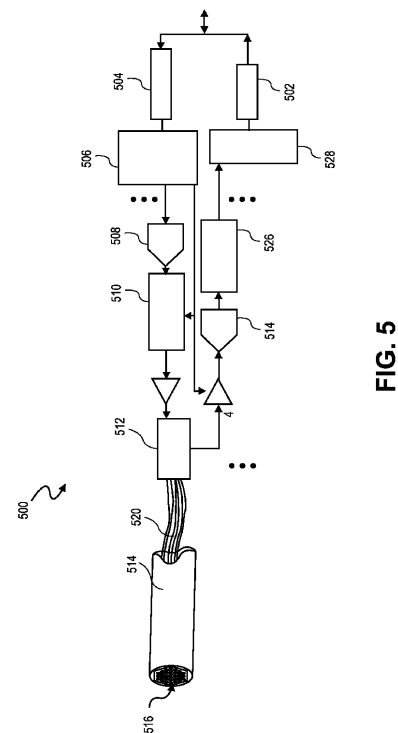


FIG. 5

【図 6】

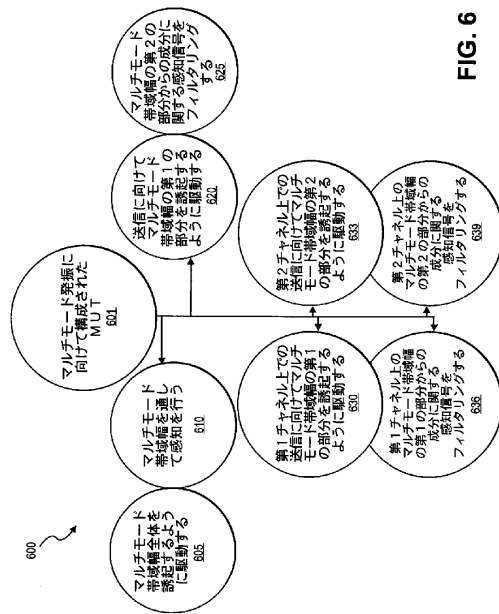


FIG. 6

【図 7 A】

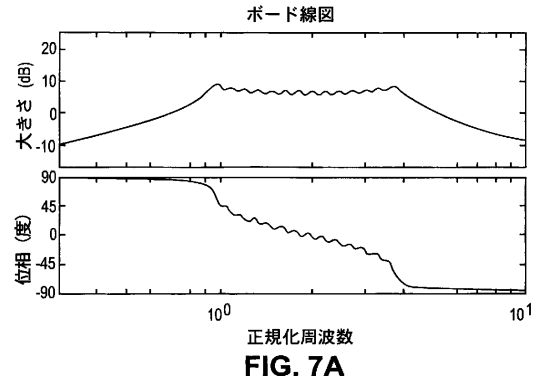


FIG. 7A

【図 7 B】

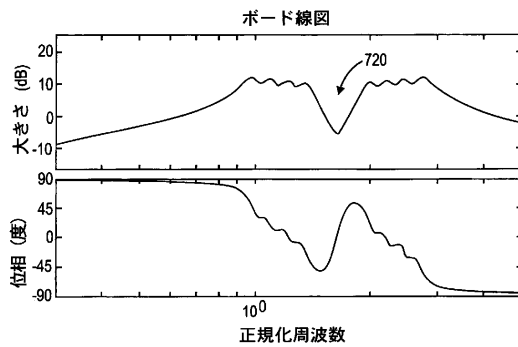


FIG. 7B

【図 8 B】

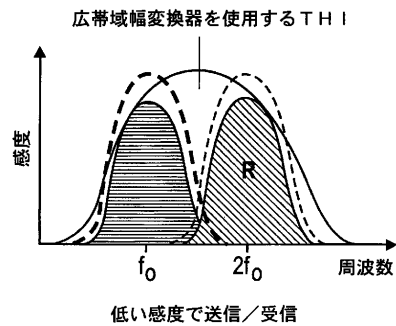


FIG. 8B

【図 8 A】

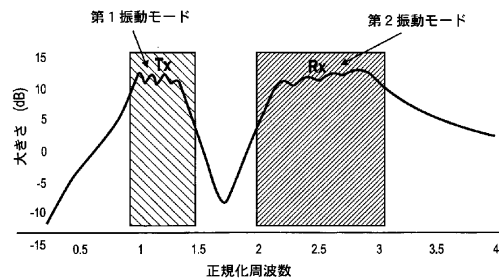


FIG. 8A

【図 8 C】

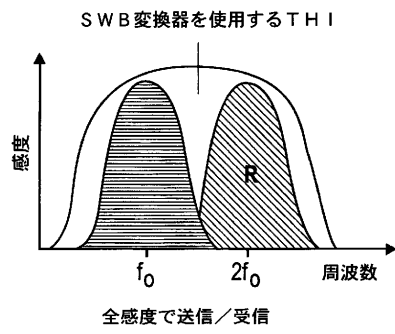


FIG. 8C

【図 9 A】

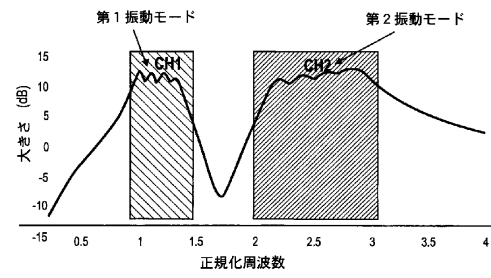


FIG. 9A

【図 9 B】

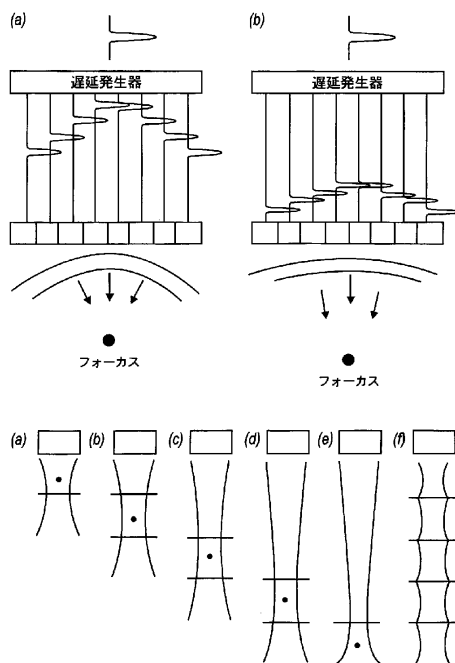


FIG. 9B

【図 9 C】

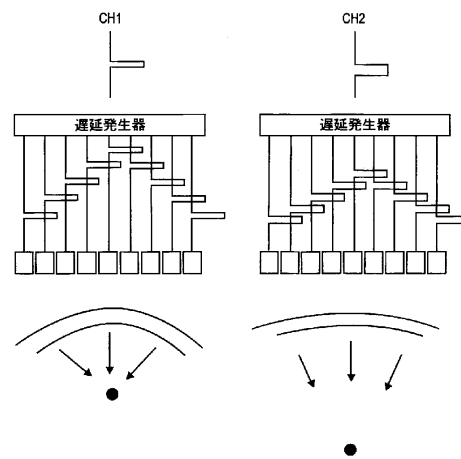


FIG. 9C

【図 10】

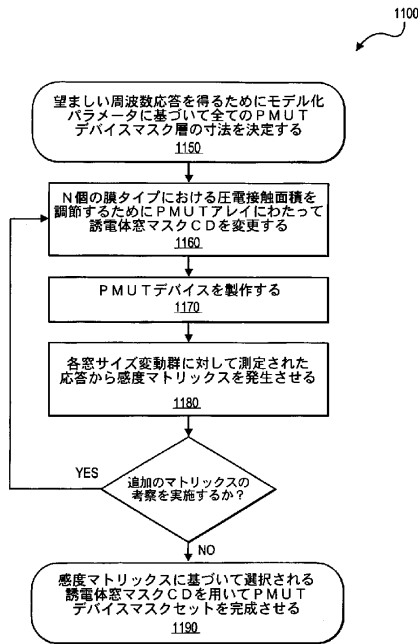
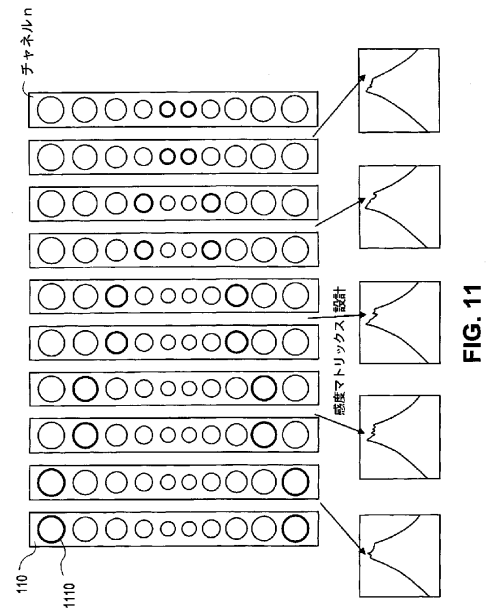


FIG. 10

【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 41/09 (2006.01) H 0 1 L 41/193
H 0 1 L 41/09

(74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100158551
弁理士 山崎 貴明

(72)発明者 ハジャティ アルマン
アメリカ合衆国 ニューハンプシャー 03766, レバノン, エトナ ロード 109

審査官 富永 昌彦

(56)参考文献 特開2006-075425(JP,A)
特開2008-118168(JP,A)
特開2011-071842(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0301200(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 6 1 B 8 / 0 0 - 8 / 1 5
H 0 4 R 1 / 0 0 - 3 1 / 0 0
H 0 1 L 4 1 / 0 4 - 4 1 / 4 7

专利名称(译)	具有多种谐波模式的微机械超声换能器阵列		
公开(公告)号	JP6360487B2	公开(公告)日	2018-07-18
申请号	JP2015539616	申请日	2013-10-03
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶卷迪马蒂克斯股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	富士胶卷迪马肄公司		
当前申请(专利权)人(译)	富士胶卷迪马肄公司		
[标]发明人	ハジャティアルマン		
发明人	ハジャティ アルマン		
IPC分类号	A61B8/00 H04R17/00 H01L41/113 H01L41/04 H01L41/193 H01L41/09		
CPC分类号	B06B1/0276 B06B1/0629 A61B18/082 B06B1/0622 H01L41/042 H01L41/0825 H01L41/331		
FI分类号	A61B8/00 H04R17/00.330.K H04R17/00.332.A H01L41/113 H01L41/04 H01L41/193 H01L41/09		
代理人(译)	西岛隆义 须田博之 上杉 浩 近藤直树		
优先权	61/718952 2012-10-26 US 13/830251 2013-03-14 US		
其他公开文献	JP2016503312A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

例如，描述了能够具有多种谐振模式的微机械超声换能器（MUT）阵列和用于操作它们以描述同一装置中的高频和低频操作的技术。在实施例如中，制造各种尺寸的压电膜以调整跨膜的共振频率。各种尺寸的压电薄膜在衬底的长度上逐渐过渡，以减轻在不同模式和频率下振荡的薄膜之间的相消干涉。[选定图]图1A

(19) 日本国特許庁 (JP)		(12) 特 許 公 報 (B2)		(11) 特許番号 特許第6360487号 (P6360487)	
(45) 発行日 平成30年7月18日 (2018. 7. 18)		(24) 登録日 平成30年6月29日 (2018. 6. 29)			
(51) Int. Cl.		F I			
A 6 1 B 8 / 0 0 (2 0 0 6 . 0 1)		A 6 1 B 8 / 0 0			
H 0 4 R 1 7 / 0 0 (2 0 0 6 . 0 1)		H 0 4 R 1 7 / 0 0		3 3 0 K	
H 0 1 L 4 1 / 1 1 3 (2 0 0 6 . 0 1)		H 0 4 R 1 7 / 0 0		3 3 2 A	
H 0 1 L 4 1 / 0 4 (2 0 0 6 . 0 1)		H 0 1 L 4 1 / 1 1 3			
H 0 1 L 4 1 / 1 9 3 (2 0 0 6 . 0 1)		H 0 1 L 4 1 / 0 4			
請求項の数 26 (全 24 頁) 最終頁に続く					
(21) 出願番号 特願2015-539616 (P2015-539616)		(73) 特許権者 502122794 フジフィルム デイマティックス、 イン コーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューハンプシャー O 3 7 6 6、 レバノン、 エトナ ロード 1 0 9			
(86) (22) 出願日 平成25年10月3日 (2013. 10. 3)					
(65) 公表番号 特表2016-503312 (P2016-503312A)					
(43) 公表日 平成28年2月4日 (2016. 2. 4)					
(86) 国際出願番号 PCT/US2013/063255					
(87) 国際公開番号 W02014/066006		(74) 代理人 100092093 弁理士 辻屋 幸一			
(87) 国際公開日 平成26年5月1日 (2014. 5. 1)		(74) 代理人 100082005 弁理士 熊倉 祐男			
審査請求日 平成28年7月15日 (2016. 7. 15)		(74) 代理人 100067013 弁理士 大塚 文昭			
(31) 優先権主張番号 61/718, 952		(74) 代理人 100086771 弁理士 西島 孝喜			
(32) 優先日 平成24年10月26日 (2012. 10. 26)					
(33) 優先権主張国 米国 (US)					
(31) 優先権主張番号 13/830, 251					
(32) 優先日 平成25年3月14日 (2013. 3. 14)					
(33) 優先権主張国 米国 (US)					
最終頁に続く					
(54) 【発明の名称】 複数の高調波モードを有するマイクロ機械加工超音波変換器アレイ					