

(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2017-112612

(P2017-112612A)

(43) 公開日 平成29年6月22日 (2017.6.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04R 17/00 (2006.01)	H04R 17/00 330Y	2G047
G01N 29/24 (2006.01)	G01N 29/24	4C601
A61B 8/14 (2006.01)	H04R 17/00 332A	5D019
	H04R 17/00 332Y	
	A61B 8/14	

審査請求 有 請求項の数 1 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2016-244228 (P2016-244228)
 (22) 出願日 平成28年12月16日 (2016.12.16)
 (62) 分割の表示 特願2013-554545 (P2013-554545)
 の分割
 原出願日 平成24年2月14日 (2012.2.14)
 (31) 優先権主張番号 61/443,042
 (32) 優先日 平成23年2月15日 (2011.2.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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
 3766, レバノン, エトナ ロード
 109
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 アンドレアス ビブル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
 024 ロスアルトス ハリントン アヴ
 エニュー 588

最終頁に続く

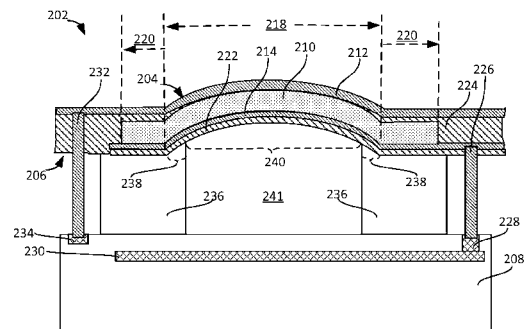
(54) 【発明の名称】 マイクロドームアレイを使用した圧電トランスデューサ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 小型、軽量であり、優れた駆動および感知効率を有し、従来のトランスデューサアレイに比べて、必要な駆動電圧を低くすることができるトランスデューサデバイスを提供する。

【解決手段】 超音波圧電トランスデューサデバイスは、振動素子アレイから成るトランスデューサアレイと、トランスデューサアレイ内の振動素子アレイが取り付けられる、基部208とを含む。基部は、振動素子202と外部制御回路230との間で駆動信号および感知信号を伝えるための、一体型電気的相互接続部226, 232を含む。基部は、感知信号の駆動および処理を制御するための集積回路を含んだ、ASICウエハでもよい。相互接続部および基部内の制御回路は、多数の振動素子アレイの下方の実質的エリア内に適合する。

【選択図】 図2A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

圧電トランスデューサにおいて、

駆動電極と、基準電極と、該駆動電極および基準電極の間に配置された、圧電素子とを備えている振動素子、および、

基部であって、該基部の第 1 表面上で前記振動素子を支持し、かつ前記振動素子の前記駆動電極と前記基準電極とに電氣的に接続されている集積回路を含んでいる、基部、を備え、

前記駆動電極、前記基準電極、および前記圧電素子の夫々が、各柔軟部分と、該各柔軟部分に接続した各静止部分とを含むものであり、

前記駆動電極、前記基準電極、および前記圧電素子の、前記柔軟部分が、前記第 1 表面の同じエリアの上に懸架され、かつ前記駆動電極と前記基準電極との間に電圧が印加されていないときに、前記基部の前記第 1 表面に対して第 1 方向に湾曲しているものであり、

前記基準電極、前記駆動電極、および前記圧電素子の、前記柔軟部分が、前記駆動電極と前記基準電極との間に印加された駆動電圧に応じて偏向するものであり、

前記トランスデューサが、前記基部から前記振動素子を指し示す方向へと向いた露出外面を備え、かつ前記トランスデューサの該露出外面が、前記振動素子の外面、または前記振動素子の外面を覆っている柔軟なフィルムの外面、を含むものであり、さらに、

前記トランスデューサの前記露出外面が、前記基準電極、前記駆動電極、および前記圧電素子の、前記柔軟部分の偏向に合わせて偏向するものであることを特徴とする圧電トランスデューサ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本明細書は圧電トランスデューサに関する。

【背景技術】**【0002】**

圧電トランスデューサは、電気エネルギーを機械エネルギー（音響エネルギーまたは超音波エネルギーなど）に、かつ同様に機械エネルギーを電気エネルギーに変換することが可能な、圧電素子を含む。すなわち圧電トランスデューサは、機械エネルギーのトランスミッタとしても、衝突する機械的エネルギーのセンサとしても役立ち得る。

【0003】

超音波圧電トランスデューサデバイスは、時変駆動電圧に応じて高周波で振動しかつその露出外面に接している伝播媒体（空気、水、組織など）に高周波の圧力波を生じさせる、圧電振動素子を含み得る。この高周波の圧力波は、他の媒体内へと伝播し得る。この同じ振動素子で、反射された圧力波を伝播媒体から受け取り、この受け取った圧力波を電気信号に変換することもできる。この電気信号を駆動電圧信号と共に処理して、伝播媒体内の密度のまたは弾性係数の変化に関する情報を得ることができる。

【0004】

超音波圧電トランスデューサデバイスは、圧電振動素子のアレイを含み得る。振動素子アレイが纏って、所望の方向、形状、および焦点を有している圧力波を伝播媒体内に生成することができるよう、さらに、圧電振動素子アレイが捉えた反射および／または屈折した圧力波に基づいて、伝播媒体内の密度のまたは弾性係数の変化に関する情報をより正確かつ精密に確かめることができるよう、各振動素子を夫々の駆動電圧および時間遅延により個々に制御してもよい。

【0005】

従来、多くの超音波トランスデューサデバイスにおいて使用されている振動素子は、バルク圧電材料を機械的にダイシングすることにより、あるいは圧電セラミック結晶が混入されたキャリア材料を射出成形することにより形成されている。

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本明細書は、圧電トランスデューサに関連した技術を説明する。

【0007】

圧電トランスデューサデバイスは、基部の上方に懸架されかつ基部に取り付けられた、内面と、伝播媒体に露出される外面とを夫々が有している、1以上の振動素子を含み得る。この1以上の振動素子は、印加された時変駆動電圧に応じて振動し得、かつ振動素子の露出外面に接触している伝播媒体に圧力波を生じさせることができる。

【0008】

振動素子夫々は、駆動電極と基準電極との間に配置された、圧電素子を含み得る。基部から離れている方の電極が、振動素子の外側に向いた電極である。駆動電極、基準電極、および圧電素子の夫々は、各柔軟部分と、柔軟部分に隣接している（例えば、柔軟部分を包囲している）各静止部分とを含み、ここで駆動電極、基準電極、および圧電素子の各柔軟部分（言い換えれば、振動素子全体の柔軟部分）は、振動素子に電圧が印加されていないときに、基部に対して凹状または凸状に湾曲している。あるいは、振動素子は平坦なものでよい。振動素子夫々の露出外面は、振動素子の外側に向いた電極の外面を含み得、あるいは振動素子の外側に向いた電極を覆っている柔軟な保護コーティングの外面を含み得る。

【0009】

トランスデューサデバイスにおいて、この同じ1以上の振動素子は、伝播媒体内の反射された圧力波により加えられた機械的圧力の変化に応じて、感知電圧を電極対間の圧電素子に亘って生成することができる、感知素子としての役割も果たすことができる。トランスデューサデバイスは、時限スイッチに従って、駆動モードと感知モードとを交互に入れ替えることができる。

【0010】

種々の実施態様において、圧電トランスデューサデバイスは、振動素子アレイから成るトランスデューサアレイと、トランスデューサアレイ内の振動素子アレイが取り付けられる、基部とを含み得る。いくつかの実施態様において、基部は、トランスデューサアレイの振動素子と外部制御回路との間で駆動信号および感知信号を伝えるための、複数の一体型電氣的相互接続部を含み得る。いくつかの実施態様において、基部は、振動素子アレイに駆動電圧信号を送信しかつ振動素子アレイからの感知電圧信号を登録する、集積回路を含んだ、ASICウエハでもよい。ASICウエハは、多数の振動素子のアレイの下方の実質的エリア内に適合し得る。トランスデューサアレイ内の振動素子アレイは、一方の側で共通基準電極を共有し、かつ反対側に個々に制御可能な各駆動電極を有しているものでよい。共通基準電極と振動素子の個々に制御可能な駆動電極とを、ASICウエハ内の集積回路に電氣的に接続してもよい。鉛直に配向された相互接続部を、振動素子夫々の駆動電極とASICウエハ内の制御回路との間に形成してもよい。鉛直に配向された相互接続部により、振動素子アレイによって占められた小さい横領域の範囲内に多数の接続部を収容可能にすることができる。

【0011】

種々の実施態様において、圧電トランスデューサデバイス（圧電素子、駆動電極、振動素子（例えば、湾曲した、または平坦な、圧電振動素子）アレイの共通基準電極、およびASICウエハ内の集積回路に対して作られた電氣的接続部を含む）は、種々の半導体処理技術（例えば、材料堆積、リソグラフィパターニング、エッチングによるフィーチャ形成など）を用いて製造することができる。

【0012】

本明細書において説明される主題の特定の実施態様は、1以上の以下の利点を実現するように実施することができる。

【0013】

いくつかの実施態様において、圧電トランスデューサデバイス内の振動素子アレイは半導体製造プロセスを使用して作製することが可能であり、バルク圧電材料を機械的にダイシングすることにより形成された、または射出成形により形成された、振動素子において実現可能なものよりも、アレイ内の振動素子の寸法およびピッチを、はるかに小さくし得、かつより精密に制御することができる。振動素子がより小さくなり、かつ隣接する振動素子間のピッチがより細くなると、振動素子が受け取る反射圧力波および屈折圧力波に基づく画像分解能をより高くすることが可能になる。さらに、多数のトランスデューサデバイスを、半導体製造プロセスを使用して同一のウエハ上に製造することが可能であり、個々のトランスデューサデバイスに対するコストを低減することができる。

【0014】

種々の実施態様において、圧電トランスデューサデバイスのための制御回路および感知回路は、湾曲した振動素子アレイの下面に取り付けられた基部内の、ASIC層に提供してもよい。ASIC層は、少数の外部入力接続部を用いて多数の内部出力接続部を支持できるため、一体型ASIC層を駆動信号の提供のために含んでいるトランスデューサデバイスの外部入力ワイヤ数をより少なくすることができ、例えばトランスデューサデバイスに接続されるワイヤ束を、より薄くすることができる。トランスデューサデバイスのための外部入力接続部を収容するのに必要な横領域が減少することによって、トランスデューサデバイスの全体のサイズを減少させることができると、デバイスをより小さい空間内で、すなわちより幅広い種類の用途で、使用することが可能になり得る。さらに、伝送された圧力波の、方向、焦点、形状、および/または周波数を処理するための多くの処理ロジックは、ASIC層内で実施することができ、圧電トランスデューサの周辺支援設備（例えば、外部駆動回路および接続ケーブル）の総コストを低減することができる。いくつかの実施態様では、外部制御回路、すなわちトランスデューサアレイの真下ではない好都合な位置に据えられた制御回路に接続している一体型電氣的相互接続部を備えた基部を用いて、デバイスサイズを減少させることができる。

【0015】

さらに、所定の印加電圧に対し、湾曲した圧電素子（例えば、平面部分に包囲されたドーム状部分を有している圧電フィルム）の変位は、同等のサイズの平坦な圧電膜または圧電体（ロッドなど）での変位よりも大きくなる（例えば、5～10倍大きい）。従って、圧電トランスデューサデバイスの振動素子夫々に湾曲した圧電素子を使用すると、所定の駆動電圧を用いてより強い圧力波を生じさせることができる。同様に、所定の受入れ可能な感知電圧レベルに対し、必要とされる機械的圧力はより低いものとなる。例えば、マイクロドームトランスデューサアレイから作製された超音波トランスデューサデバイスに必要となり得る駆動電圧は10～20ボルト以下であり、これに対してダイシングされたバルク圧電材料から形成された超音波トランスデューサデバイスにおいて必要な駆動電圧は100～200ボルトになり得る。必要な駆動電圧が低くなると、オーム加熱に起因する電力消費および損失が低減され得、さらにオーム加熱に起因するトランスデューサデバイス上での過剰な温度上昇も防ぐことができる。これにより、このデバイスをより幅広い種類の用途で使用することがさらに可能になり得る。

【0016】

さらに、半導体処理技術を用いて得ることができる振動素子が小さいサイズであること、ASIC層がコンパクトであること、さらに振動素子を駆動させるのに必要な駆動電圧が低いことにより、圧電トランスデューサデバイスは高精度の医療診断に適し、かつ本明細書において開示される設計を使用して治療的用途を発展させることができる。例えば、低電圧、低温、小型のトランスデューサデバイスであるため、患者の肌と接触した状態での使用または患者の体内での使用が、より安全および/またはより快適になり得る。さらに、患者の体内（例えば、目、血管、または脳）の、小さく繊細で接近し難い部分の動的な画像化が、本明細書で開示されるトランスデューサ設計によって可能になり得る。また、振動素子への鉛直接続部で振動素子アレイに対応している駆動回路アレイをASIC層に提供すると、振動素子を密接させて充填することが可能になり得、これにより画質を向

10

20

30

40

50

上させることができる。これは、圧電素子を小さい寸法で堆積できる、例えばスパッタリングなどの堆積技術と併せると特に効果的になり得る。

【 0 0 1 7 】

さらに、湾曲した振動素子の共振周波数およびインピーダンスは、圧電トランスデューサの設計および製造プロセスの中で、例えば湾曲した圧電素子のサイズ、形状、および厚さを変化させることによって制御することができる。従って、様々な動作周波数レンジおよび様々な種類の伝播媒体（様々なインピーダンスなど）を必要とする用途全てを受け入れることができる。

【 0 0 1 8 】

いくつかの実施態様において、湾曲した圧電素子は、湾曲したプロファイル転写基板上に圧電材料の粒子を堆積させること（例えば、スパッタリング）によって形成することができる。あるいは、スパッタ圧電材料は、平坦な圧電素子を形成してもよい。堆積により形成された、湾曲したまたは平坦な圧電素子は、整列しかつ圧電素子の湾曲または平坦表面に対して垂直に配向された、円柱状結晶粒構造と、円柱状結晶粒の方向を指し示す、自然に堆積されたままのポーリング方向とを有している。この整列した円柱状結晶粒構造によれば、動作中にもたらされる内部応力がより少なくなり、この圧電素子に対して形成された圧電トランスデューサの長寿命化に繋がる。

【 0 0 1 9 】

いくつかの実施態様において、各圧電素子の湾曲部分の周囲部分は動作中に静止したままであり、一方湾曲部分の中心部分は駆動電圧に応じて屈曲する。圧電素子の屈曲部分と静止部分との間の移行点を、圧電素子の結晶粒構造がより整列しているエリア内に設けることによって、圧電素子はこの移行点で生じる高応力にさらに耐えることができ、これが圧電素子および圧電トランスデューサデバイスの長寿命化に繋がり得る。

【 0 0 2 0 】

本明細書に記載される主題の 1 以上の実施態様の詳細を、添付の図面と以下の説明の中に明記する。本主題の他の特徴、態様、および利点は、その説明、図面、および請求項から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 1 】

【図 1 A】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 B】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 C】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 D】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 E】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 F】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 G】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 1 H】湾曲した振動素子のアレイを含んでいる圧電トランスデューサデバイスの構成例を示した図

【図 2 A】湾曲した振動素子を含んでいる 1 つの例の圧電トランスデューサデバイスの鉛直断面を示した図

【図 2 B】湾曲した振動素子を含んでいる別の例の圧電トランスデューサデバイスの鉛直断面を示した図

【図 3 A】電圧または機械的圧力の印加を受けて湾曲した圧電素子の偏向を示す概略図

10

20

30

40

50

【図 3 B】電圧または機械的圧力の印加を受けて湾曲した圧電素子の偏向を示す概略図

【図 4 A】湾曲したプロファイル転写表面上に圧電材料粒子を堆積させることにより形成された、湾曲した圧電素子内の結晶粒構造を示した画像

【図 4 B】湾曲したプロファイル転写表面上に圧電材料粒子を堆積させることにより形成された、湾曲した圧電素子内の結晶粒構造を示した画像

【図 5 A】圧電トランスデューサデバイス内の一例のマイクロドームトランスデューサアレイを示した概略上面図

【図 5 B】図 5 A に示した圧電トランスデューサデバイス内におけるマイクロドームトランスデューサアレイの一部の斜視図

【図 5 C】図 5 A に示したマイクロドームトランスデューサアレイの拡大上面図

10

【図 6】圧電トランスデューサデバイス内の振動素子アレイ下方の一体型 A S I C 層内で実施され得る回路の機能を概略的に示した図

【発明を実施するための形態】

【0022】

層および特徴の多くは、プロセスステップおよび結果をより良く図示するよう誇張されている。種々の図面において、同様の参照番号および記号は、同様の要素を示している。

【0023】

圧電超音波トランスデューサデバイスは、高周波の時変駆動電圧に応じて振動する圧電トランスデューサアレイを使用して、伝播媒体（例えば、空気、水、組織、骨、金属など）内に高周波の圧力波を生じさせることができる。振動しているトランスデューサアレイの露出外面を伝播媒体に近づけてまたは接触させて設置し、露出外面の振動により伝えられるエネルギーを、伝播媒体内で 1 以上の方向に沿って伝播している圧力波により伝えられるエネルギーと結合させることができる。超音波トランスデューサデバイスは、典型的には、人の聴覚範囲を超えた周波数の音波を生成する。しかしながら、いくつかの実施態様では、本明細書の説明に従って作製された圧電トランスデューサデバイスを用いて、人の聴覚範囲の範囲内またはこれを下回る周波数の音波も生成することができる。

20

【0024】

圧力波が伝播媒体内または媒体間の境界のいずれかにおいて、密度または弾性係数（または両方）の変化に直面すると、この圧力波は反射される。反射された圧力波の中には、トランスデューサアレイの露出外面に捉えられて、超音波トランスデューサデバイスの感知回路により感知される電圧信号に変換されるものもあり得る。感知電圧信号を駆動電圧信号とともに処理して、伝播媒体内または媒体間の境界での、密度または弾性係数（または両方）の変化に関する情報を得ることができる。

30

【0025】

振動しているトランスデューサアレイの各振動素子の振動を、個々に制御し、かつ夫々の時間遅延および周波数とタイミングを調整すると、所望の形状、サイズ、方向、および速さを有する、波面を生成することができる。振動素子のサイズおよびピッチ、トランスデューサアレイの配置、駆動周波数、および振動素子の各時間遅延と位置を、振動素子上の感知電圧信号の各強度およびタイミングとともに使用すると、伝播媒体内の密度または弾性係数のいずれか（または両方）の変化を判定することが可能であり、さらに伝播媒体内において圧力波がぶつかった物体および/または構造変化の、位置、サイズ、形状、および/または速さを推定することができる。伝播媒体内の物体および/または構造変化の、位置、サイズ、形状、および/または速さに関する推定された情報は、外部ディスプレイ装置上に、例えばカラーまたは単色の画像として表すことができる。超音波トランスデューサデバイスは、ある媒体または複数の媒体内の内部構造変化の画像化に関心がある、例えば医療診断、製品不良検出、低侵襲手術設備などの多くの用途を見出すことができる。

40

【0026】

本明細書では、湾曲した振動素子から形成されたトランスデューサアレイを備えている、圧電トランスデューサデバイスが開示される。湾曲した振動素子は、一对の湾曲した電

50

極間に配置された湾曲した圧電素子を含み、この湾曲した電極対の各湾曲表面は圧電素子の湾曲表面に合致している。湾曲した振動素子は平坦な振動素子に比べると、所定の駆動電圧に応じてより大きい変位を呈し、またより優れた感知感度を示す。

【 0 0 2 7 】

さらに、半導体製造プロセスを用いて、トランスデューサアレイを製造し、かつ特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）ウエハとトランスデューサアレイを一体化させることができる。ＡＳＩＣウエハは、トランスデューサデバイスの駆動および感知機能を制御する集積回路を含み、またトランスデューサアレイの多数の振動素子へと駆動信号を伝送したり多数の振動素子から感知信号を集めたりするためにＡＳＩＣウエハに必要とされる外部接続部の数はごく少数である。

10

【 0 0 2 8 】

従って、本明細書において開示される、湾曲した振動素子のアレイと一体型ＡＳＩＣウエハとを含んでいるトランスデューサデバイスは、小型、軽量であり、優れた駆動および感知効率を有し、さらに、平坦な圧電フィルムから、またはダイシングされたバルク圧電材料で作製された素子から形成された、従来のトランスデューサアレイに比べて、必要な駆動電圧を低くすることができる。

【 0 0 2 9 】

いくつかの実施態様では、ＡＳＩＣウエハを含まず、トランスデューサデバイスは電気的相互接続層を含んでもよい。高密度の振動素子アレイが依然得られるように、個々のトランスデューサ用のトレースを相互接続層に移動してもよい。トランスデューサデバイスの駆動および感知機能を制御する回路は、デバイス内の他の場所（例えば、基部の外部または相互接続層の上流）に位置付けてもよい。

20

【 0 0 3 0 】

いくつかの実施態様においてトランスデューサデバイスは、一体型ＡＳＩＣウエハとともに、平坦な振動素子のアレイを含み得る。平坦な振動素子は、圧電材料のスパッタリング、またはバルク圧電材料のエッチング（例えば、プラズマエッチング）により形成することができる。鋸切断ではなく、圧電材料のスパッタリングまたはバルク圧電材料のエッチングによれば、振動素子を、角丸形状、円形状、五角形、六角形、または任意の他の形状など、幅広い種類の所望の形状を有するものとすることができる。これはＭＥＭＳデバイスへのウエハレベル集積化を助ける。さらに、トランスデューサアレイの密度は、ダイシングされたバルク圧電振動素子の場合のように、鋸刃のサイズに制限されることはない。

30

【 0 0 3 1 】

図１Ａ～１Ｇは、湾曲した振動素子のアレイを含んでいる、圧電トランスデューサデバイスの構成例を示している。

【 0 0 3 2 】

いくつかの実施態様において、トランスデューサデバイスは、線形または１次元のトランスデューサアレイを含んでいる。１次元トランスデューサアレイ内の湾曲した振動素子は、直線に沿って配列される。線形トランスデューサアレイの振動外面は、この直線に平行な平面の実質的に範囲内となり得る。図１Ａに示したように、トランスデューサデバイス１０２はハンドル部分１０４を含む。線形トランスデューサアレイ１０６は、ハンドル１０４の一方の遠心端１０８でハンドル１０４に取り付けられ得、この場合ハンドル１０４の形状は、トランスデューサアレイ１０６の形状およびサイズに適応するように変形される（例えば、拡大させる、平坦化するなど）。この例においてトランスデューサアレイ１０６の振動外面は、ハンドル１０４長軸沿いの前方を向き、すなわちアレイ１０６が加工された基板の外面１０５はハンドル１０４の長軸に垂直である。他の実施態様において、線形トランスデューサアレイ１０６の露出外面は、ハンドル１０４の長軸に垂直な（または鋭角の）方向に沿って横を向いたものでもよい。トランスデューサデバイス１０２のオペレータは、ハンドル１０４を操作して、所望のように（例えば、画像化するエリアに向けて）線形トランスデューサアレイ１０６の振動外面の向きおよび位置を変化させること

40

50

ができる。

【 0 0 3 3 】

圧電トランスデューサデバイス 1 0 2 は随意的に、振動素子の線形アレイ 1 0 6 下方のハンドル部分 1 0 4 内（例えば、拡大されかつ平坦化された第 1 遠心端 1 0 8 内）に、一体型 A S I C ウエハ（図示なし）を含んでもよい。A S I C ウエハの外部入力接続部に接続しているワイヤ 1 1 0 を、ハンドル 1 0 4 の後端から出して、外部設備（制御装置および／またはディスプレイ装置など）に接続させることができる。

【 0 0 3 4 】

いくつかの実施態様において、トランスデューサデバイスは 2 次元のトランスデューサアレイを含み得る。各 2 次元のトランスデューサアレイは、2 次元アレイで配列された、多数の湾曲した振動素子を含み得る。2 次元アレイがカバーするエリアは、例えば、長方形、正方形、円形、八角形、六角形など、種々の形状のものとすることができる。2 次元アレイの振動素子は、直線から成る格子（例えば、正方形格子または六角形格子）や、あるいはより複雑なパターンから成る格子の上に配列してもよい。2 次元トランスデューサアレイの振動外面は、さらに 1 平面の実質的範囲内にあるものとし得る。2 次元トランスデューサアレイをハンドルに（例えば、真っ直ぐな円筒状ハンドルの一方の遠心端に）取り付けて、トランスデューサデバイスを形成してもよい。トランスデューサアレイの振動外面の平面を、（例えば、図 1 B に示したように）ハンドルの長軸に対して前向きに、例えばこの長軸に垂直にしてもよいし、あるいは横向きに、すなわち（例えば、図 1 C に示したように）ハンドルの長軸に平行に（または鋭角に）してもよい。

【 0 0 3 5 】

トランスデューサデバイスのオペレータは、トランスデューサデバイスのハンドルを操作して、所望のように（例えば、画像化するエリアに向けて）2 次元トランスデューサアレイの振動外面の向く方向および位置を変化させることができる。

【 0 0 3 6 】

図 1 B に示したように圧電トランスデューサデバイス 1 1 2 は、ハンドル 1 1 4 の第 1 遠心端 1 1 8 に取り付けられた、前向きの六角形トランスデューサアレイ 1 1 6 を含んでいる。圧電トランスデューサデバイス 1 1 2 は随意的に、振動素子の六角形アレイ下方のハンドル部分 1 1 4 内に、一体型 A S I C ウエハ（図示なし）を含んでもよい。A S I C ウエハの外部接続部に接続しているワイヤ 1 2 0 を、ハンドル 1 1 4 の後ろ（例えば、第 2 遠心端）から出して、外部設備（制御装置および／またはディスプレイ装置など）に接続させることができる。前向きのトランスデューサデバイス 1 1 2 は、従来の超音波画像化では実行不可能であった、血管内の超音波（I V U S）画像化に使用することができる。

【 0 0 3 7 】

図 1 C は、横向きの正方形トランスデューサアレイ 1 2 6 をハンドル 1 2 4 の第 1 遠心端 1 2 8 に取り付けて含んでいる、圧電トランスデューサデバイス 1 2 2 を示している。圧電トランスデューサデバイス 1 2 2 は随意的に、振動素子の正方形アレイ背面かつハンドル部分 1 2 4 内部に、一体型 A S I C ウエハ（図示なし）を含み得る。A S I C ウエハの外部接続部に接続しているワイヤ 1 3 0 を、ハンドル 1 2 4 の後ろ（例えば、第 2 遠心端）から出して、外部設備（制御装置および／またはディスプレイ装置など）に接続させることができる。

【 0 0 3 8 】

いくつかの実施態様において、トランスデューサデバイスは、トランスデューサアレイの振動外面が曲線または湾曲表面となるように、曲線に沿って巻き付けられた 1 次元トランスデューサアレイ、または湾曲表面の周りに巻き付けられた 2 次元トランスデューサアレイを含み得る。

【 0 0 3 9 】

例えば図 1 D は、ハンドル 1 3 4 の第 1 遠心端 1 3 8（例えば、拡大、湾曲、かつ平坦化された部分）に、曲線に沿って延びている線形トランスデューサアレイ 1 3 6 を取り付

けて含んでいる、一例のトランスデューサデバイス 132 を示したものである。トランスデューサデバイス 132 は、ASIC ウエハ（図示なし）に接続されかつハンドル 134 の後端から出ている、ワイヤ 140 をさらに含んでいる。

【0040】

図 1 E は、ハンドル 144 の遠心端 148 に、円の円周周りに延びている前向きの線形トランスデューサアレイ 146 を取り付けて含んでいる、一例のトランスデューサデバイス 142 を示したものである。トランスデューサデバイス 142 は、ASIC ウエハ（図示なし）に接続されかつハンドル 144 の後端から出ている、ワイヤ 150 をさらに含んでいる。

【0041】

図 1 F は、ハンドル 154 の遠心端 158 に、円の円周周りに延びている横向きの線形トランスデューサアレイ 156 を取り付けて含んでいる、一例のトランスデューサデバイス 152 を示したものである。トランスデューサデバイス 152 は、ASIC ウエハ（図示なし）に接続されかつハンドル 154 の後端から出ている、ワイヤ 160 をさらに含んでいる。

【0042】

いくつかの実施態様において、図 1 D、1 E、および 1 F に示した線形トランスデューサアレイ 136、146、および 156 の各振動素子を、小さい 2 次元下位アレイで置き換えてもよい。例えば、各下位アレイは、小さい正方形トランスデューサアレイでもよい。図 1 G に示したように、トランスデューサデバイス 162 は、振動素子の多数の正方形下位アレイ（例えば、正方形下位アレイ 168）から形成された前向きの 2 次元環状アレイ 166 を、トランスデューサデバイス 162 のハンドル 164 の第 1 遠心端に取り付けて含んでいる。トランスデューサデバイス 162 は、ASIC ウエハ（図示なし）に接続されかつハンドル 164 の後端から出ている、ワイヤ 170 をさらに含んでいる。

【0043】

同様に、図 1 H に示したように、トランスデューサデバイス 172 は、振動素子の多数の正方形下位アレイ（例えば、正方形下位アレイ 178）から形成された横向きのアレイ 176 を、トランスデューサデバイス 172 のハンドル 174 の第 1 遠心端に取り付けて含んでいる。トランスデューサデバイス 172 は、ASIC ウエハ（図示なし）に接続されかつハンドル 174 の後端から出ている、ワイヤ 180 をさらに含んでいる。

【0044】

図 1 A ~ 1 H に示したトランスデューサデバイスの構成は、単なる実例である。トランスデューサアレイ全体の振動外面の向き（例えば、前向き、横向き、または他の角度の向き）および全体形状（例えば、平坦または湾曲、線形、多角形、または環状）、ハンドル上のトランスデューサアレイの位置、およびトランスデューサアレイ上の振動素子の配置に関する様々な組合せが、トランスデューサデバイスの種々の実施態様において可能である。

【0045】

さらに、用途（例えば、所望の動作周波数、画像化エリア、画像分解能など）に応じて、トランスデューサアレイ内の振動素子の総数、トランスデューサアレイのサイズ、およびトランスデューサアレイ内の振動素子のサイズおよびピッチを、変化させることも可能である。一例において線形アレイは、半径 50 μm 、ピッチ 200 μm の、128 個の振動素子を含む。別の例において正方形アレイは、75 μm 、ピッチ 200 μm の 16 個の振動素子を含む。他の構成例を、本明細書の他の部分で説明する。

【0046】

本明細書において開示されるように、トランスデューサデバイスのトランスデューサアレイは、多数の湾曲した圧電振動素子を含む。図 2 A ~ 2 B は、湾曲した圧電振動素子の 2 つの構成例を示している。

【0047】

図 2 A には、凸状すなわちドーム型の振動素子 202 が図示されている。凸状振動素子

10

20

30

40

50

202は、トランスデューサアレイの振動外面の一部を（例えば、トランスデューサアレイ内の他の振動素子の上部表面とともに）形成する、露出した上部表面204を含んでいる。振動素子202はさらに、基部208の上部表面に取り付けられる、底部表面206を含んでいる。

【0048】

図2Aに示したように、ドーム型振動素子202は、基準電極212と駆動電極214との間に配置された、凸状すなわちドーム型の圧電素子210を含んでいる。この例において、基準電極212は凸状圧電素子210の（基部208から離れた方の）上部表面の上に配置され、一方駆動電極214は凸状圧電素子210の（基部208に近い方の）底部表面の下方に配置されている。代替例では（図示なし）、駆動電極を凸状圧電素子の上部表面の上に配置してもよく、一方基準電極は凸状圧電素子の底部表面の下方に配置される。

10

【0049】

図2Aに示したように、凸状圧電素子210は、全体を通じて実質的に同じ厚さを有した圧電材料の薄層である。この圧電材料の薄層は、平面部分220に包囲されている湾曲部分218を含む。中心湾曲部分218は、振動素子202が取り付けられた基部208から離れるように湾曲している。凸状圧電素子210は、例えば平面的な上部表面上にドームを形成して備えているプロファイル転写基板上に圧電材料の粒子を均一な層として堆積させること（スパッタリングなど）により形成することができる。圧電素子210を形成するために使用し得る一例の圧電材料として、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）が挙げられる。

20

【0050】

さらに図2Aに示したように、凸状圧電素子210は駆動電極214の上部表面の上に配置される。駆動電極214は、凸状圧電素子210の底部表面に接触している上部表面を備えかつこの底部表面に形状が一致した、導電材料の薄層でもよい。従って駆動電極214は、基部208から離れるように湾曲している中心湾曲部分と、この中心湾曲部分に隣接している（例えば、包囲している）平面部分とをさらに含む。駆動電極214の中心湾曲部分および凸状圧電素子210の中心湾曲部分は、合致した表面プロファイルを有している。

30

【0051】

いくつかの実施態様において、駆動電極214は、平面的な上部表面上にドームを形成して備えているプロファイル転写基板上に導電材料の薄層を堆積させることにより形成することができる。導電材料の層（すなわち、本例においては駆動電極層）がプロファイル転写基板上に堆積されると、堆積された駆動電極層は次いで、圧電素子210用の圧電材料の薄層をその上に堆積させることができる、プロファイル転写基板としての役割を果たし得る。駆動電極層のための導電材料は、例えば、種々の金属（例えば、Au、Pt、Ni、Irなど）、合金（例えば、Au/Sn、Ir/TiW、Au/TiW、AuNiなど）、金属酸化物（例えば、IrO₂、NiO₂、PtO₂など）、またはこれらの組合せのうちの、1以上を含むものでもよい。

40

【0052】

いくつかの実施態様において、圧電材料を駆動電極層上に堆積させる適切な方法として、例えば、スパッタリング、化学蒸着、物理蒸着、原子層堆積、プラズマ強化化学蒸着などが挙げられる。スパッタ蒸着の種類としては、マグネトロンスパッタ蒸着（RFスパッタリングなど）、イオンビームスパッタリング、反応性スパッタリング、イオンアシスト蒸着、高ターゲット利用率スパッタリング、および高出力インパルスマグネトロンスパッタリングを挙げることができる。圧電層の厚さは、圧電素子210が駆動電圧の下で十分に柔軟に屈曲することができ、さらにその振動を振動素子202の露出外面204に接している伝播媒体に伝達するのに十分な堅さとなるよう選択することができる。

【0053】

さらに図2Aに示したように、基準電極212は凸状圧電素子210の上部表面の上に

50

配置される。基準電極 2 1 2 は、凸状圧電素子 2 1 0 の上部表面に接触している底部表面を備えかつこの上部表面に形状が一致した、導電材料の薄層でもよい。従って基準電極 2 1 2 は、基部 2 0 8 から離れるように湾曲している中心湾曲部分と、この中心湾曲部分に隣接している（例えば、包囲している）平面部分とをさらに含む。基準電極 2 1 2 の中心湾曲部分および凸状圧電素子 2 1 0 の中心湾曲部分は、合致した表面プロファイルを有している。

【0054】

いくつかの実施態様において、基準電極 2 1 2 は、例えば堆積された圧電層が圧電素子 2 1 0 を画成するようパターン化された後に、堆積された圧電層の上に導電材料の薄層を堆積させることにより形成してもよい。基準電極層のための導電材料は、例えば、種々の金属（例えば、Au、Pt、Ni、Ir など）、合金（例えば、Au/Sn、Ir/TiW、Au/TiW、AuNi など）、金属酸化物（例えば、IrO₂、NiO₂、PtO₂ など）、またはこれらの組合せのうちの、1 以上を含むものでもよい。

10

【0055】

さらに図 2 A に示したように、いくつかの実施態様において、振動素子 2 0 2 は随意的に、駆動電極 2 1 4 の底部表面と接触している薄膜層 2 2 2 を駆動電極 2 1 4 の下方に含む。いくつかの実施態様では、振動素子 2 0 2 に合わせて形成するために、薄膜層 2 2 2 をドーム状のプロファイル転写基板上に最初に堆積させてもよい。その後、駆動電極層を薄膜層 2 2 2 の上部表面上に堆積させ、駆動電極層の堆積後、圧電層を駆動電極層の上に堆積させてもよい。基準電極層を圧電素子上に堆積させる前に、圧電層および駆動電極層をパターン化して、個々の駆動電極 2 1 4 および圧電素子 2 1 0 を形成してもよい。いくつかの実施態様では、薄膜層 2 2 2 が堆積されたプロファイル転写基板を、薄膜 2 2 2 の底部表面の中心湾曲部分を露出させるよう完全にエッチングで除去して、電圧が印加されたときに中心湾曲部分が屈曲できるようにしてもよい。いくつかの実施態様では、薄膜層 2 2 2 を、エッチングプロセスにおいてエッチング停止層として機能する酸化層としてもよい。

20

【0056】

いくつかの実施態様では、圧電素子 2 1 0 が駆動電極 2 1 4 の上部表面上に形成された後、基準電極層が堆積される前に、誘電体膜 2 2 4 の層（例えば、SiO₂、SiN₂、またはこれらの組合せ）を圧電素子 2 1 0 の上部表面上に堆積させてもよい。圧電素子 2 1 0 の湾曲部分 2 1 8 内の中心部分の上に位置する、膜 2 2 4 の中心部分を、圧電素子 2 1 0 の上部表面の中心を露出させるようエッチングで開口させてもよい。次いで、基準電極 2 1 2 の底部表面が誘電体膜 2 2 4 の露出上部表面と圧電素子 2 1 0 の露出上部表面とに接触しかつこれらの露出上部表面と形状が一致するように、基準電極層を圧電素子 2 1 0 の露出上部表面の上に堆積させてもよい。誘電体膜 2 2 4 は、駆動電極 2 1 4 を基準電極 2 1 2 から絶縁する役割を果たすことができる。さらに誘電体膜 2 2 4 は、動作中に静止したままの（例えば、圧電素子 2 1 0 の周囲部分 2 3 8 および平面部分 2 2 0 を含む）圧電素子 2 1 0 のエリアにおいて、基準電極 2 1 2 を圧電素子 2 1 0 から絶縁する役割も果たし得る。この静止したままのエリアにおいて基準電極 2 1 2 を圧電素子 2 1 0 から絶縁させると、このエリア内において印加される駆動電圧により圧電素子が受ける内部応力を低減させることができる。

30

40

【0057】

いくつかの実施態様では、トランスデューサレイ内に少数の振動素子しか存在していない場合、各振動素子の駆動電極および基準電極への電氣的接続部を、基部 2 0 8 の上部表面に平行な同一平面内に延びる導電トレースを使って作製することができる。いくつかの実施態様では、いくつかの振動素子の基準電極を連結させて、多数の振動素子に及ぶ共通の基準電極を形成してもよい。いくつかの実施態様において、多くの振動素子が小さい横領域内に配列されている場合には、基部 2 0 8 の上部表面に平行な単一平面内に、個々の振動素子間に導電トレースを走らせるだけの十分な空間がない可能性がある。代わりに、各鉛直に配向された電氣的相互接続部を、トランスデューサレイ内のいくつかまたは

50

全ての振動素子夫々に対して作製して、振動素子を基部 208 内の制御 / 感知回路に接続してもよい。図 2 A に示したように、鉛直に配向された電氣的相互接続部 226 を使用して、駆動電極 214 を基部 208 内の制御 / 感知回路 230 のアクティブ接続パッド 228 に電氣的に接続させる。さらに、鉛直に配向された電氣的相互接続部 232 を使用して、基準電極 212 を基部 208 内の制御 / 感知回路 230 の接地接続パッド 234 に電氣的に接続させる。いくつかの実施態様において、トランスデューサアレイ全体に及ぶ共通の基準電極が使用される場合には、共通の基準電極を基部 208 内の接地接続パッドに電氣的に接続するために必要な電氣的接続部は 1 つのみである。

【0058】

いくつかの実施態様では、図 2 A に示したように、振動素子 202 の柔軟部分は基部 208 の上部表面上方で懸架されている。基部 208 の上部表面と振動素子 202 の底部表面 206 との間の間隔は、振動素子 202 の湾曲部分 218 に鉛直方向に位置合わせされた孔 241 を有している、環状支持体などの支持体 236 によって作り出すことができる。支持体 236 は、基部 208 の上部表面に取り付けられた底部表面と、振動素子 202 の底部表面 206 に取り付けられた上部表面とを有している。駆動電極 214 の下方に膜 222 が存在していない実施態様では、駆動電極の底部表面が振動素子 202 の底部表面 206 としての役割を果たし得る。膜 222 が存在している場合、膜 222 の底部表面が振動素子 202 の底部表面としての役割を果たし得る。支持体 236 はさらに、基部 208 上の個々の振動素子を絶縁させて、隣接する振動素子間のクロストークを低減する役割も果たし得る。いくつかの実施態様において、支持体の高さは、極小さい（例えば数 μm の）間隔が振動素子 202 の中心振動部分（言い換えれば、柔軟部分）と基部 208 の上部表面との間に存在するよう、極小さくてもよい。いくつかの実施態様において、支持体 236 の高さは、例えば 10 ~ 50 μm 以上など、より厚いものでもよい。

【0059】

図 2 A に示した構成例において、基準電極 212 は圧電素子 210 の上に位置付けられ、一方駆動電極 214 は圧電素子 210 の下方に位置付けられている。代替の構成では、基準電極を圧電素子の下方に位置付けてもよく、一方駆動電極は圧電素子の上方に位置付けられる。この代替の構成を有する振動素子は、低い方の金属層を基準電極層として使用し得、一方高い方の金属層を駆動電極層として使用し得ることを除き、上述したものに類似した手法で形成することができる。さらに、鉛直に配向された電氣的相互接続部は、振動素子内の異なる金属層へと夫々達することになる。

【0060】

図 2 A に示した例で続けると、いくつかの実施態様において、例えば非湿潤コーティング（non-wetting coating）、PECVD 酸化物コーティングなどの保護膜（図示なし）を、基準電極 212 の上部表面上に堆積させてもよい。いくつかの実施態様において、保護膜は、トランスデューサアレイの上部表面全体の上に堆積された連続層でもよい。保護膜の上部表面は、堆積された任意の追加の層をその上部の上に含まない、露出されたものでもよい。動作時には、トランスデューサアレイ内の振動素子の振動を伝播媒体内の圧力波に結合させることができるよう、随意的な保護膜の露出した上部表面を、伝播媒体（組織などの関心材料、または超音波伝達ゲルなどの接触媒質もあり得る）と直接接触させるようにしてもよい。

【0061】

随意的な保護膜は、振動素子 202 を埃や汚染から、そして場合によっては伝播媒体内の水分または他の物質に起因する腐食から、保護することができる。さらに保護膜は、駆動電極が圧電素子 210 の上方に置かれかつ基準電極が圧電素子 210 の下方に置かれ、保護膜が駆動電極（ここでは振動素子の最上部に位置している）と伝播媒体（例えば、患者の肌または組織）との間の絶縁層としての役割を果たし得る実施態様において有利になり得る。

【0062】

いくつかの実施態様では、振動素子 202 に保護膜を用いずに、使用中、基準電極 21

10

20

30

40

50

2 の上部表面を直接伝播媒体に露出してもよい。例えば、腐食および汚染に耐性のある不活性金属（例えば、AuまたはPt）から作製された連続的な基準電極を用いてトランスデューサレイ全体を覆い、かつ基準電極が地電位で維持される事例において、連続的な基準電極は、振動素子の振動を伝播媒体に結合させるために使用されるトランスデューサデバイスの露出外面としての役割を果たし得る。

【0063】

いくつかの実施態様では、図2Aに示したように、振動素子202の湾曲部分（基準電極、圧電素子、および駆動電極と、基準電極、圧電素子、および/または駆動電極の、上方、下方、またはこれらの間の、任意の追加の薄膜層とから成る中心の柔軟部分を含む）は、駆動電極と基準電極との間に全く電圧が印加されていない状態でも湾曲したままである。時変駆動電圧が駆動電極214と基準電極212との間に印加されると、振動素子202の湾曲部分（またはその中心部分）が時変駆動電圧に応じて振動し得る。

10

【0064】

いくつかの実施態様では、振動素子202の平面部分のみが基部208に（例えば、支持体236を介して）付着して動作中に静止したままとなり、一方振動素子202の湾曲部分全体は時変駆動電圧に応じて振動する。しかしながら、いくつかの実施態様では、湾曲部分の周囲部分238が動作中に静止したままとなり得、かつ湾曲部分の中心部分240のみが時変駆動電圧に応じて振動するよう、湾曲部分の周囲部分238を支持体236によって基部208にさらに付着させてもよい。湾曲部分の周囲部分238を基部に付着させるいくつかの実施態様では、振動素子の平面部分の全てまたはいくらかを、取り外してもよい。

20

【0065】

いくつかの実施態様において、付着して静止したままとなる周囲部分238は、湾曲部分218の横寸法に対して極小さい幅を占めるものでもよい。本明細書において後に示すが、湾曲部分218の小さい周囲部分238を動作中に静止したままとすることにより、圧電素子210の湾曲部分218と平面部分220との間の移行点での応力を低減させることができ、振動素子202の寿命を延長させることができる。

【0066】

動作中に圧電素子210の湾曲部分218の周囲部分238を付着させて静止したままとするいくつかの実施態様において、支持体236による周囲部分238の保持の強度と耐久性が、圧電トランスデューサデバイスの許容できる寿命の間に圧電素子210が電極212および214から剥離するのを防ぐのに十分なものであれば、湾曲部分218の周囲部分238を包囲している平面部分220は、サイズを小さくしてもよいし、あるいは振動素子202の中から完全に取り除いてもよい。

30

【0067】

図2Bは、凹状の圧電素子250を使用した、振動素子242の別の構成例を示している。振動素子242は、以下に述べる点を除き、振動素子202と同様に構成することができる。本例の振動素子242において、基準電極252は凹状圧電素子250の底部表面の下方に配置され、一方駆動電極254は凹状圧電素子250の上部表面の上方に配置されている。随意的な薄膜層262を基準電極252の底部表面の下方に配置してもよい。振動素子242の底部表面246は、薄膜層262が設けられる場合には薄膜層262の底部表面であり得、あるいは薄膜層262が使用されない場合には基準電極252の底部表面であり得る。さらに、誘電体層264を圧電素子および基準電極層の上に堆積させて、駆動電極254を基準電極252から絶縁し、かつ圧電素子250の上部表面上の中心エリア外のエリアにおいて、駆動電極254を圧電素子250から絶縁させることができる。

40

【0068】

さらに、随意的な保護膜263を使用して、駆動電極254の上部表面を覆ってもよい。保護膜263の上部表面は、動作中に伝播媒体と接触する、振動素子242の露出上部表面としての役割を果たし得る。いくつかの実施態様において、保護膜263は、駆動電

50

極 2 5 4 を伝播媒体から絶縁する役割を果たす薄い誘電体層である。

【 0 0 6 9 】

さらに、鉛直に配向された電氣的相互接続部 2 6 6 により、駆動電極 2 5 4 を基部 2 4 8 内の制御 / 感知回路 2 7 0 のアクティブ接続パッド 2 6 8 に電氣的に接続させることができる。鉛直に配向された電氣的相互接続部 2 7 2 は、基準電極 2 5 2 を基部 2 4 8 内の制御 / 感知回路 2 7 0 の接地接続パッド 2 7 4 に電氣的に接続させることができる。いくつかの実施態様において、基準電極 2 5 2 はトランスデューサデバイス内のトランスデューサアレイ全体に及ぶ連続した導電層でもよい。

【 0 0 7 0 】

図 2 B に示した例の基準電極 2 5 2 は基部 2 4 8 により近づけて配置され、かつ駆動電極 2 5 4 は基部 2 4 8 からより離して配置されているが、代替の実施態様では、基準電極 2 5 2 および駆動電極 2 5 4 の位置を逆にしてもよい。基準電極 2 5 2 および駆動電極 2 5 4 の位置を逆にした場合には、電氣的相互接続部 2 6 6 および 2 7 2 の長さを調節して、振動素子 2 4 2 内の適切な電極に接続させてもよい。

【 0 0 7 1 】

図 2 B に示したように振動素子 2 4 2 は、圧電素子 2 5 0、駆動電極 2 5 4、および基準電極 2 5 2 夫々が、基部 2 4 8 に向かって湾曲した各湾曲部分を含んでいることを除き、図 2 A に示した振動素子 2 0 2 と類似している。いくつかの実施態様において、凹状の基準電極 2 5 2、圧電素子 2 5 0、および駆動電極 2 5 4 は、平面部分によって包囲された凹み部分（すなわち逆ドーム部）を有するプロファイル転写基板の上部表面上に、基準電極層、圧電層、および駆動電極層を順に堆積させることによって形成してもよい。

【 0 0 7 2 】

いくつかの実施態様では、図 2 A に示した振動素子 2 0 2 と同様、圧電素子 2 5 0 の平面部分 2 6 0 に加えて圧電素子 2 5 0 の湾曲部分 2 5 8 の周囲部分 2 7 8 も動作中に静止したままとし、一方湾曲部分 2 5 8 の中心部分 2 8 0 のみが時変駆動電圧に応じて振動する。

【 0 0 7 3 】

図 2 A および 2 B は、電極 2 1 4、2 1 2、2 5 4、2 5 2 の底部表面に接触している電氣的相互接続部 2 2 6、2 3 2、2 6 6、2 7 2 を示しているが、いくつかの実施態様において電氣的相互接続部は、電極の上部表面に接触し得る。

【 0 0 7 4 】

いくつかの実施態様において、振動素子 2 4 2 は、基部 2 4 8 上方で懸架され、かつ支持体 2 7 6（例えば、圧電素子 2 5 0 の湾曲部分 2 5 8 に位置合わせされた孔 2 8 1 を有している環状支持体）によって基部 2 4 8 に取り付けられている。図 2 B に示した構成例では凹状振動素子 2 4 2 が使用されているため、振動素子 2 4 2 の底部表面 2 4 6 と基部 2 4 8 の上部表面との間の間隔は、振動素子 2 4 2 が駆動電圧または衝突圧力下で最大の変位を受けたときに、振動部分 2 8 0 の底部が基部 2 4 8 の上部表面と接触しないようにするのに十分な大きさであるべきである。すなわち、支持体 2 7 6 の厚さは、予想される振動素子 2 4 2 の最大変位に適応するように選択するべきである。

【 0 0 7 5 】

図 2 A および 2 B では支持体 2 7 6 を使用して振動素子を支持および懸架しているが、いくつかの実施態様では、振動素子（振動素子 2 0 2 または 2 4 2 など）の柔軟部分下方で基部（基部 2 0 8 または 2 4 8 など）内にキャビティを形成し、動作（例えば、駆動および / または感知）している間の振動素子の変位に適応するための空間を作るようにしてもよい。あるいは、支持体 2 3 6、2 7 6 ではなく電氣的相互接続部 2 2 6、2 7 2 を、振動素子 2 0 2、2 4 2 と基部 2 0 8、2 4 8 との間の高さを画成する支持体（例えば、環状支持体）としてもよい。

【 0 0 7 6 】

図 2 A および 2 B では、圧電素子 2 1 0、2 5 0 を個々の振動素子に対する別々の素子として示しているが、圧電素子は多数の振動素子に対する連続層でもよい。

【 0 0 7 7 】

図 2 A および 2 B では湾曲した振動素子 2 0 2、2 4 2 を示しているが、振動素子は代わりに平坦なものでもよい。図 3 A は、電圧の印加下（例えば、駆動中）および機械的圧力の印加下（例えば、感知中）での、凸状に湾曲した圧電素子 3 0 2 の変形を示した概略図である。

【 0 0 7 8 】

図 3 A では、圧電素子 3 0 2 が、圧電素子 3 0 2 の左表面から圧電素子 3 0 2 の右表面を指し示しかつ圧電素子 3 0 2 の 2 表面に局所的に垂直な、堆積されたままのポーリング方向を有していると仮定する。さらに、駆動電極（図示なし）が圧電素子 3 0 2 の左表面に隣接して配置され、一方基準電極（図示なし）が圧電素子 3 0 2 の右表面に隣接して配置されていると仮定する。この構成は、例えば図 2 A に示した構成に対応する。上記構成に基づくと、駆動電極と基準電極との間で圧電素子 3 0 2 に亘って印加された正電圧により、圧電素子 3 0 2 の左表面から右表面へと指し示す電場が圧電素子 3 0 2 内に生じ得る。言い換えれば、印加された正電圧により、局所的に整列しかつ圧電素子 3 0 2 内のポーリング方向に平行な電場が、圧電素子 3 0 2 内に生成される。その結果、圧電素子 3 0 2 は収縮して圧電素子 3 0 2 の湾曲部分は左に後退し（圧電素子 3 0 2 ”として示されている）、湾曲した振動素子 3 0 2 のその中心軸に沿った中心 O は、休止位置 3 0 4 から、位置 3 0 4 の左側の新たな位置 3 0 8 へと移動する。印加された正電圧を取り除くと、圧電素子 3 0 2 の湾曲部分が広がってその元の形状に戻り、湾曲した振動素子 3 0 2 の中心 O はその元の休止位置 3 0 4 に戻る。圧電素子 3 0 2 が振動すると、圧電素子 3 0 2 の右側の伝播媒体 3 0 3 内に圧力波 3 1 0 を送ることができる。

【 0 0 7 9 】

いくつかの実施態様において、負電圧が圧電素子 3 0 2 に亘って駆動電極と基準電極との間で印加されると、圧電素子 3 0 2 は広がり得、かつ湾曲した圧電素子 3 0 2（ここでは 3 0 2' として図示されている）の中心 O は、休止位置 3 0 4 のさらに右側の新たな位置 3 0 6 まで移動され得る。負電圧を取り除くと、湾曲した圧電素子 3 0 2 の中心 O をその元の休止位置 3 0 4 まで戻すことができる。

【 0 0 8 0 】

いくつかの実施態様では、交流の負電圧および正電圧の信号を含む駆動信号を使用して、最大正変位位置および最大負変位位置（例えば、中心位置 3 0 6 および 3 0 8 に関連した位置）の間に振動素子を振動させることができる。いくつかの実施態様では、正電圧のみを使用して振動素子を駆動させ、一定の基準電圧を超えるパルスとして正電圧信号を印加してもよい。いくつかの実施態様では、振動素子を駆動するときに、負電圧信号を使用しないようにすると有利である。例えば、図 3 A に示した構成において、負の駆動電圧は圧電素子 3 0 2 のポーリング方向に反平行な電場を誘導することになり、これにより圧電素子 3 0 2 が脱分極し易くなって、圧電素子 3 0 2 の性能を時間とともに劣化させることに繋がり得る。

【 0 0 8 1 】

いくつかの実施態様では、振動素子が感知モードにあって、湾曲した圧電素子 3 0 2 に電圧が印加されていないとき、湾曲した圧電素子 3 0 2 は加えられた機械的圧力に応じて変形し得る。例えば、伝播媒体 3 0 3 内の圧力波が反射されて振動素子へと戻りかつ振動素子の露出表面により遮られると、圧電素子 3 0 2 の湾曲表面は休止位置から、休止位置の左側の位置まで押され得、湾曲した圧電素子 3 0 2 の中心 O は、休止位置 3 0 4 から、休止位置 3 0 4 の左側の新たな位置まで動かされ得る。この変形の結果、振動素子 3 0 2 の左表面と右表面との間で電圧差が生じ得る。この電圧差のタイミングおよび強度を使用して、伝播媒体 3 0 3 内において圧力波の反射を生じさせた、伝播媒体 3 0 3 内の密度および弾性係数の変化（従って、伝播媒体 3 0 3 内の物体または構造変化の位置）を判定することができる。

【 0 0 8 2 】

いくつかの実施態様では、トランスデューサアレイ内の同じ振動素子を、伝播媒体 3 0

10

20

30

40

50

3 内で圧力波を駆動するためにも、伝播媒体 3 0 3 から反射された圧力波を感知するためにも使用することができる。振動素子は、基部内のスイッチング回路により生成される制御信号に基づいて、駆動モードと感知モードとの間で切り替えることができる。いくつかの実施態様では、駆動および感知のために使用される振動素子をトランスデューサアレイ内で分離させてもよく、例えば、駆動用振動素子および感知用振動素子をトランスデューサアレイ内で交互に配列させて、同調して動作するようにしてもよい。

【 0 0 8 3 】

図 3 A は、右を指し示している堆積されたままのポーリング方向を有したドーム型すなわち凸状の圧電素子 3 0 2 を示しているが、ドーム型圧電素子の振動の駆動および感知に使用される同じ原理が、窪んだ形状すなわち凹状の圧電素子の振動の駆動および感知にも当てはまる。

10

【 0 0 8 4 】

例えば図 3 B に示したように、窪んだ形状の圧電素子 3 2 2 は、圧電素子 3 2 2 の左表面から右表面を指し示す堆積されたままのポーリング方向を有し、駆動電極（図示なし）が窪んだ形状の圧電素子 3 2 2 の左側に配置され、かつ基準電極（図示なし）が窪んだ形状の圧電素子 3 2 2 の右側に配置されていると仮定する。

【 0 0 8 5 】

上記構成によれば、正電圧が駆動電極と基準電極との間に印加されると、圧電素子 3 2 2 内に電場を誘導することができる。誘導された電場は、整列しかつ圧電素子 3 2 2 のポーリング方向に平行である。その結果、圧電素子 3 2 2 を収縮させることができ（例えば、圧電素子 3 2 2 ' で表されている）、湾曲した圧電素子 3 2 2 の中心 O は、休止位置 3 2 4 の右側の新たな位置 3 2 6 にシフトされ得る。正電圧が取り除かれると、圧電素子 3 2 2 はその元の休止形状に戻る。振動素子 3 2 2 の振動によって、振動素子の露出凹状表面に接触している伝播媒体 3 3 3 内に、圧力波 3 3 0 を励起することができる。

20

【 0 0 8 6 】

同様に、反射された圧力波によって振動素子 3 2 2 の窪んだ形状の右表面上に機械的な圧力が加わると、圧電素子 3 2 2 は左に伸ばされ得る（例えば、圧電素子 3 2 2 " で表されている）。圧電素子 3 2 2 の中心 O は、その休止位置 3 2 4 から新たな位置 3 2 8 へと移動され得、圧電素子 3 2 2 の左表面と右表面との間に電圧差が誘導され得る。この電圧差のタイミングおよび強度を使用して、伝播媒体 3 3 3 内の密度および弾性係数の変化を判定し、反射された圧力波を生じさせた伝播媒体 3 3 3 内の物体または構造変化の位置を推定することができる。

30

【 0 0 8 7 】

前に明記したように、スパッタ圧電材料は大きな堆積されたままのポーリングを有し得る。圧電材料のスパッタリングに使用される環境の中には、スパッタリング中に直流（DC）バイアスを含むものもある。DC 電場によって、圧電材料は DC 電場の方向に分極し得る。いくつかの実施態様において、堆積された圧電層（例えば、スパッタ P Z T）内での堆積されたままのポーリング方向は、下層のプロファイル転写基板の表面に局所的に垂直であって、基板表面から離れる方向を指し示しているものでもよい。

【 0 0 8 8 】

圧電素子における所望のポーリング方向が、堆積されたままのポーリング方向とは異なっている場合、圧電膜をプロファイル転写基板上に堆積させた後に、これをひっくり返して別の基板に接合させて、所望のポーリング方向を得てもよい。

40

【 0 0 8 9 】

図 3 A および 3 B は湾曲した圧電素子 3 0 2、3 2 2 を示しているが、圧電素子は代わりに平坦なものでもよい。

【 0 0 9 0 】

図 4 A は、凸状圧電膜の部分断面の走査型電子顕微鏡（SEM）画像 4 0 0 を示したものである。画像 4 0 0 は、ドーム型イリジウム電極層 4 0 4 上に堆積されたスパッタ P Z T 層 4 0 2 の結晶粒構造を示している。ドーム型イリジウム電極層 4 0 4 はシリコン基板

50

上に懸架されている。

【0091】

PZT層402内部の結晶粒構造は概略円柱状であり、全てのまたは実質的に全ての円柱状結晶粒は、湾曲したPZT層402の表面に対して局所的に垂直である。図4Aに示されている整列した円柱状PZT結晶粒構造は、湾曲した下層上（例えば、エッチング停止層またはプロファイル転写基板の、湾曲表面上）にPZTを徐々に堆積または成長させると現れる。圧電膜の湾曲表面に局所的に垂直な整列した円柱状結晶粒構造は、湾曲した膜へと研削されたバルク圧電材料内では生じる可能性がないであろう。また、このような結晶粒の整列および配向は、射出成形により形成された湾曲した圧電膜内でも生じる可能性がないであろう。

10

【0092】

スパッタPZT膜内の結晶粒構造が、整列しかつPZT膜の湾曲表面に局所的に垂直であると、膜の振動中に膜内に生じる局所的な内部応力の量は、ランダムに配向された結晶粒構造を有している膜（例えば、バルクPZTまたは射出成形により形成された膜内など）に比べて減少する。局所的な内部応力の量が減少すると、図4Aに示されているような整列した円柱状結晶粒を有しているPZT膜は、他の従来の方法（例えば、研削または射出成形によるもの）を用いて生成された膜よりも長い耐用期間を享受することができる。

【0093】

図4Bは、スパッタPZT膜402の湾曲部分と平面部分との間の移行領域412付近の、湾曲したスパッタPZT膜402を示した拡大SEM画像410である。移行領域412内のスパッタPZTの結晶粒構造は、移行領域412の中心に向かって押しつぶされている。移行領域412は、結晶粒構造がより平行かつ整列しているスパッタPZT膜402内の他のより均質な領域よりも、振動中の強度は弱い。

20

【0094】

通常は動作中、圧電膜の振動部分と静止部分との間の境界付近で、より大きな応力が圧電膜内に生成される。その結果、圧電膜402の平面部分と湾曲部分の間の移行点、厳密に圧電膜402の振動部分と静止部分の間の移行点の位置に置かれた場合（例えば、圧電膜402の平面部分のみを基部に付着させ、圧電膜402の湾曲部分を付着させないとき）、圧電膜402は使用が長期になると破損し易くなる可能性がある。

【0095】

いくつかの実施態様では、PZT膜402の湾曲部分の周囲部分を基部に付着させて、動作中静止したままとしてもよい（例えば、図2A～2Bの構成において示したように）。言い換えれば、圧電膜402の湾曲部分と平面部分との間のより強度の弱い移行点を、圧電膜402の振動部分と静止部分との間の移行点から離れるよう移動させる。代わりに、振動部分と静止部分との間の移行点を、圧電膜402の、より強くより整列している均質部分（例えば、圧電膜402の湾曲部分内）に移動させる。高応力領域を圧電膜402内のより強い領域にシフトさせることによって、圧電膜402の振動中に生じる内部応力で圧電膜402が破損する傾向が少なくなる。

30

【0096】

図4Aおよび4Bは、スパッタ圧電層402および電極層404を含んだ湾曲した圧電膜を示しているが、圧電膜は代わりに平坦なものでもよい。平坦なスパッタ圧電層は、湾曲したスパッタ圧電層と同じ円柱状結晶粒構造の利点を有する。平坦な圧電層の表面に対し、円柱状結晶粒構造は局所的に垂直である。平坦な圧電層は平面的であるため、湾曲部分と平面部分との間の移行領域を有していない。すなわち平坦な圧電膜は、基部に取り付けられ得る位置において、より柔軟性がある。

40

【0097】

上で示したように、図2A～4Bは、トランスデューサデバイスのトランスデューサアレイ内で使用することができる個々の振動素子の設計および構造の例を示したものである。圧電トランスデューサデバイスは、夫々が多数の振動素子を含んだ、1以上のトランスデューサアレイを含み得る。図5Aは、超音波トランスデューサデバイス504内に含ま

50

れ得る、一例の六角形トランスデューサアレイ 5 0 2 を示している。一実施態様例において、 $25\text{ }\mu\text{m}$ のサイズを有する約 1 0 0 0 個の振動素子 5 0 6 を、横寸法がおよそ 3 mm の六角形アレイ 5 0 2 内に配列してもよい。別の実施態様例において、 $60\text{ }\mu\text{m}$ のサイズを有する約 4 0 0 個の振動素子を、横寸法がおよそ 3 mm の六角形アレイ内に配列してもよい。さらに別の実施態様例において、 $60\text{ }\mu\text{m}$ のサイズを有する約 3 7 8 個の振動素子を、横寸法が 2.13 mm の正方形アレイ内に配列してもよい。上記の寸法は実例であって、他の寸法の振動素子およびアレイサイズ、ピッチ、および配置が可能である。上記の寸法例は、例えば血管内の診断または治療的用途のための超音波デバイスに適したものとし得る。

【0098】

10

図 5 B は、図 5 A に示したトランスデューサデバイス 5 0 4 内のトランスデューサアレイ 5 0 2 の、断面の斜視図を示している。図 5 B に示したように、トランスデューサアレイ 5 0 2 の上部表面 5 0 8 は露出しており、伝播媒体と接触させることができる。トランスデューサアレイ 5 0 2 内の振動素子 5 0 6 の上部表面が駆動電圧に応じて振動すると、振動素子 5 0 6 の上部表面の振動により伝播媒体内に圧力波が生成され得る。

【0099】

図 5 B に示したように、トランスデューサアレイ 5 0 2 内の振動素子 5 0 6 は振動部分 5 1 0 を含み、この振動部分 5 1 0 は、振動部分 5 1 0 と基部 5 1 6 の上部表面とに取り付けられた環状支持体（例えば、環状金属シール 5 1 4）により生成される、キャビティすなわち孔 5 1 2 の上方に懸架されている。環状金属シール 5 1 4 は、振動素子 5 0 6 の平面部分の他、振動素子 5 0 6 の湾曲部分の周囲部分に取り付けられている。さらに、各振動素子 5 0 6 を支持している環状金属シール 5 1 4 は、他の振動素子 5 0 6 を支持している環状金属シールから、例えば空気間隙または真空間隙 5 1 8 により絶縁されている。いくつかの実施態様において、環状シール 5 1 4 の厚さおよび幅は、シール 5 1 4 がトランスデューサアレイ 5 0 2 内の隣接する振動素子 5 0 6 間の振動クロストークを実質的に防ぐように選択される。いくつかの実施態様では、バッキング層を基部 5 1 6 の上部表面上方のキャビティ 5 1 2 に入れ、反射された圧力波から振動素子 5 0 6 に伝達されるエネルギーを吸収することで、振動素子 5 0 6 の振動により生じる、感知信号およびキャビティ 5 1 2 内のエコーにおけるノイズを低減することができる。

20

【0100】

30

図 5 B は湾曲した振動素子 5 0 6 を示しているが、振動素子は代わりに平坦なものでもよい。

【0101】

いくつかの実施態様において、環状金属シール 5 1 4 は共晶接合プロセスを用いて生成してもよい。例えば、トランスデューサアレイ 5 0 2 の振動素子 5 0 6 と基部 5 1 6 とを別個のプロセスで用意してもよい。次いで、振動素子 5 0 6 のアレイの底部表面と基部 5 1 6 の上部表面の夫々の対応する位置に、共晶接合技術を用いて接合させ得る金属をめっきしてもよい。その後、振動素子 5 0 6 のアレイを基部 5 1 6 の金属がめっきされた位置に接合させてもよい。この接合金属が、振動素子 5 0 6 を基部 5 1 6 に取り付ける環状シール 5 1 4 を形成し得る。いくつかの実施態様において、他の適切な材料（例えば、セラミック）を用いてシールを形成してもよい。

40

【0102】

いくつかの実施態様において基部 5 1 6 は、制御信号を振動素子に提供し、かつ振動素子から受信した感知信号を記録する（例えば、圧縮、一括、および送信する）、ASIC 層を含んでいる。従って、環状シール 5 1 4 に加え、電気接続パッドおよび接続突起を、電氣的アースとなる基部 5 1 6 の上部表面上と、基部 5 1 6 内の ASIC 層の駆動 / 感知回路のおよびアクティブ素子上とにめっきしてもよい。対応する電気接続パッドおよび接続突起をトランスデューサアレイ 5 0 2 の底部表面上にめっきしてもよく、この場合接続パッドは、トランスデューサアレイ 5 0 2 内の振動素子 5 0 6 の個々の駆動電極に電氣的に接続される。

50

【 0 1 0 3 】

基部 5 1 6 内の A S I C 層は、トランスデューサアレイ 5 0 2 に対応した駆動または感知用集積回路のアレイを含み、例えば振動素子 5 0 6 夫々に対して 1 回路を含む。A S I C 層内のアレイの各回路は、同じ回路構造および機能を有していてもよい。さらに、トランスデューサアレイ 5 0 2 に対応しかつ A S I C 層内の回路のアレイに対応している、鉛直に延在した電氣的相互接続部のアレイが存在し、例えば振動素子 5 0 6 夫々に対して、この振動素子 5 0 6 の駆動電極に接続するための少なくとも 1 つの鉛直に延在した電氣的相互接続部が存在している。トランスデューサアレイ 5 0 2 に対し共通の基準電極が存在している場合、少なくとも 1 つの鉛直に延在している電氣的接続部が、基部 5 1 6 内の A S I C 層を基準電極に接続させる。鉛直に延在した電氣的接続部のアレイを基準電極に対して設けてもよいが、駆動電極に対する鉛直に延在した電氣的接続部よりも少なくともよい。各振動素子に対して基準電極が存在している場合、各基準電極に対して鉛直に延在した電氣的接続部が存在することになり、すなわち各振動素子に対して、駆動電極に対する 1 つと基準電極に対する 1 つの、2 つの鉛直に延在した電氣的接続部が存在することになる。

10

【 0 1 0 4 】

鉛直に延在した電氣的相互接続部は、環状シール 5 1 4 を用いて、または接合パッド 5 2 0 に接続する鉛直に配向された電氣的相互接続部 2 3 2 (図 2 A 参照) などの他の導電素子を用いて、提供してもよい。すなわち振動素子 5 0 6 夫々を、A S I C 内の関連する回路に、関連した鉛直に延在している相互接続部により接続してもよい。この構成では、振動素子からのリード線は、トランスデューサアレイの表面上で大きな空間を必要としない。結果として振動素子 5 0 6 は、横方向に延在したリード線を有するシステムと比較してより密接させて充填することができ、このようにより密接させて充填することで画質の向上が可能になる。

20

【 0 1 0 5 】

トランスデューサアレイ 5 0 2 の底部表面および基部 5 1 6 の上部表面を金属環状シール 5 1 4 の位置で (例えば、共晶接合プロセスにより) 接合すると、トランスデューサアレイ 5 0 2 の底部表面上にめっきされた電氣的接続突起を基部 5 1 6 の上部表面上にめっきされた電氣的接続突起に (例えば、共晶接合プロセスにより) 接合して、トランスデューサアレイ 5 0 2 内の個々の駆動電極を基部 5 1 6 内の A S I C 層のその夫々の駆動および / または感知回路に電氣的に接続させる、鉛直に配向された電氣的相互接続部を形成することができる。さらに、いくつかの実施態様において、接地電極は共有の共通の接地電極でもよく、かつ接地電極と基部 5 1 6 内の A S I C 層の電氣的アースとの間に、単一の鉛直に配向された相互接続部を設けてもよい。基準電極のための単一の鉛直に配向された相互接続部も、例えば共晶接合プロセスを用いて形成することができる。

30

【 0 1 0 6 】

図 5 C は、振動素子 5 0 6 の柔軟部分、この柔軟部分を支持している環状シール 5 1 4 、および駆動電極への電気接続パッド 5 2 0 を示した、トランスデューサアレイ 5 0 2 の拡大上面図を示している。いくつかの実施態様において、駆動電極は振動素子 5 0 6 の底部に位置し、駆動電極に対する電氣的接続部は、駆動電極層内の電気接続パッドから基部 5 1 6 の上部表面内の対応する接続パッドまで鉛直下方に直接向かうことができる。いくつかの実施態様では、駆動電極は振動素子 5 0 6 の上部に位置し、駆動電極に対する電氣的接続部は圧電層および基準電極層の各開口を通過して、駆動電極層内の電気接続パッドから基部 5 1 6 の上部表面上の電気接続パッドまで鉛直下方に向かうことができる。

40

【 0 1 0 7 】

本明細書において上に明記したように、振動素子 5 0 6 の振動部分のサイズ (例えば、半径) およびトランスデューサアレイ 5 0 2 内の振動素子 5 0 6 の間隔 (すなわちピッチ) は、超音波トランスデューサデバイス 5 0 4 の所望の画像分解能に基づいて選択してもよい。振動素子のサイズと振動素子間隔 / ピッチが小さくなればなるほど、超音波トランスデューサの分解能は向上する。いくつかの実施態様において、振動素子 5 0 6 の柔

50

軟部分のサイズ（例えば、半径）は、 $20\text{ }\mu\text{m}$ から $70\text{ }\mu\text{m}$ までの間の範囲のものもよい。トランスデューサデバイスのアレイのサイズは、所望の画像化エリアと所望のトランスデューサデバイス504のサイズに基づいて選択してもよい。例えば、血管内用途では、アレイのサイズを少なくとも2つの直交方向において 2 mm 未満としてもよい。

【0108】

いくつかの実施態様において、トランスデューサアレイにおける湾曲した振動素子の高さ（例えば、ドーム型または窪んだ形状の圧電素子の高さ）は、所望の動作範囲または共振周波数と、予想される伝播媒体のインピーダンスに合致する適切なインピーダンスとに基づいて選択してもよい。例えば、超音波トランスデューサでは、共振周波数は 20 kHz から 30 MHz までの範囲のものもよい。医学的用途では、共振周波数は典型的には 1 MHz から 15 MHz までの範囲である。振動素子506内の圧電素子の厚さは、例えば $3\text{ }\mu\text{m}$ から $6\text{ }\mu\text{m}$ までの範囲とし得る。湾曲した圧電素子の高さは、例えば $1.5\text{ }\mu\text{m}$ から $10\text{ }\mu\text{m}$ でもよい。トランスデューサアレイの共振周波数およびインピーダンスは、種々の用途におけるニーズに合うよう高度に調整可能である。一実施態様例において、半径 $50\text{ }\mu\text{m}$ およびドーム角度 25° のドーム型振動素子では、共振周波数は約 14.3 MHz 、かつ電気インピーダンスは 15 MHz で約 $1.2\text{ k}\Omega$ である。変位は約 $82\text{ }\text{nm/V}$ である。

【0109】

いくつかの実施態様では、従来の超音波トランスデューサを100～200ボルト以上で使用して得られる信号強度と同等な信号強度を得るための、マイクロドーム/凹部のトランスデューサアレイの駆動電圧を、 $5\sim 10\text{ V}$ とすることができる。例えば、マイクロドーム/凹部アレイに基づく超音波トランスデューサデバイスは、 15 MHz の駆動周波数で最大 3 MPa/V までの駆動効率を有し得る。受信機として、マイクロドームアレイに基づく超音波トランスデューサデバイスは、 15 MHz の駆動周波数で最大 $0.5\text{ }\mu\text{V/Pa}$ までの感度を有し得る。さらに、トランスデューサアレイに基づくマイクロドーム/凹部の挿入損失は、他の従来のトランスデューサ技術における 20 dB の損失に比較して、最大 50% （ 6 dB ）の挿入損失を有し得る。

【0110】

いくつかの実施態様では、本明細書において説明した半導体製造プロセスに基づいて、マイクロドーム/凹部トランスデューサアレイの各振動素子を、トランスデューサアレイが生成し得る超音波の波長に比べて極小さく作製することができる。さらに、隣接する振動素子間のピッチは、バルク圧電材料から振動素子を作製する場合に使用されるダイシングブレードのサイズによって制限されることはない。トランスデューサアレイは小さい振動素子で作製可能であり、かつ駆動波長の半分未満のピッチを有しているため、各振動素子は均一な円形の波面を有する波を放出するための点波源として機能し得る。すなわち、振動するトランスデューサアレイ全体を使用して、望ましくないサイドローブを全く含まない、所望の波面方向、焦点、および形状のビームを形成することができる。さらに、トランスデューサアレイのエッジに位置する振動素子の放射パターンにより、振動素子の全方向放射パターンが、さらにトランスデューサデバイスの受容角度をより大きなものとする。

【0111】

前に明記したように、トランスデューサアレイ内の個々の振動素子に繋がる導電トレースを振動素子の駆動電極と同じ平面内に有することは可能であるが、このようなトレースは、少数の振動素子がトランスデューサアレイ内に存在し（例えば、 4×4 アレイ）かつ振動素子間の間隔が十分に広い（例えば、 $20\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ ）ときに可能である。高分解能で小型のトランスデューサデバイスが望ましいとき、トランスデューサアレイの真下に一体型ASIC層を位置付けて提供することができ、このときトランスデューサアレイ内の駆動電極と一体型ASIC層との間に、鉛直に配向された電氣的相互接続部を形成してもよい。高分解能で小型のトランスデューサデバイスは、例えば、 1000 個以上の振動素子など、 200 個超の振動素子を有するものでもよく、そのピッチは $100\sim 200\text{ }\mu\text{m}$

、65 μm 以下、または30 μm 以下など、約200 μm 未満でもよく、および／または、その分解能は0.1 mm以下または0.06 mm以下など、約0.25 mm未満でもよい。

【0112】

例えば、多数（例えば、1000個）の振動素子が小さいエリア内（例えば、半径3 mmの円内）にぎっしり充填されると、個々のトレースを駆動電極から延ばす十分な空間が駆動電極と同じ平面内に存在しない。代わりに、鉛直に配向された電氣的接続部を、各駆動電極のための小さい電気接続パッドからトランスデューサアレイ下方の基部内の一体型ASIC層まで作製してもよい。一体型ASIC層は、NMOSトランジスタから作製された多層の回路を有し得る。ASIC層の設計は、トランスデューサアレイ内の各駆動電極に送られる多数の個々の制御出力部（例えば、1000～2000）を収容し、外部入力接続部を100～200のみ使用するものとすることができる。同じ外部入力接続部を、感知電圧信号を外部の画像化デバイスに送信する、出力接続部として使用することもできる。

10

【0113】

図6は、マイクロドーム／凹部トランスデューサアレイを含むトランスデューサデバイス602の、基部内の一体型ASIC層において実施可能な機能の例を示したものである。一体型ASIC層によって、トランスデューサデバイスを使用するために必要な外部接続部の数を大幅に減少させることができる。外部接続部が少なくなると、トランスデューサデバイスの全体的なサイズの縮小に繋がる。さらに、トランスデューサデバイスのASIC層内のボード上で多くのデータ処理を実行することができ、すなわちトランスデューサアレイを駆動するために必要な信号を処理したりトランスデューサアレイから受信した信号を分析したりするために要する、外部設備を減少または単純化することもできる。

20

【0114】

図6に示したように、いくつかの実施態様では、合成された制御信号をASIC層の少数の外部入力接続部を通してASIC層に提供してもよい。合成された制御信号を、デシリアライザ604によりデシリアライズしてもよい。デシリアライズされた制御信号は、デマルチプレクサ606により逆多重化され得、逆多重化信号に対する夫々のタイミング制御を逆多重化信号に加えてもよい。デジタル-アナログ変換器608をASIC層に提供し、デジタル制御信号をトランスデューサアレイ内の個々の振動素子に対する駆動電圧信号に変換することができる。各時間遅延を、プログラム可能な時間遅延コントローラ610により個々の駆動電圧信号に加えて、所望のビーム形状、焦点、および方向を生成することができる。スイッチ612を提供して、トランスデューサアレイの動作を駆動モードと受信モードとの間で切り替えることができる。トランスデューサデバイス602が受信モードにあるときには、アナログ-デジタル変換器614を使用して、受信した電圧信号をデジタル信号に変換することができる。デジタル信号はデータ圧縮ユニット616により圧縮され、さらにマルチプレクサ618により多重化される。多重化信号はシリアライザ620によりシリアライズしてもよく、かつASIC層の外部出力接続部（例えば、駆動モード中に入力の受信に使用した同一の外部接続部）を通して外部処理設備に返信することができる。上記機能は、一体型ASIC層を使用して実施することができる機能の単なる実例である。より多くまたはより少ない機能が、種々の実施態様のASIC層に含まれ得る。さらに、厳密な実施態様、ASIC層は、用途依存となり得、トランスデューサアレイのサイズ、形状、および配置に依存し得る。

30

40

【0115】

本明細書および請求項を通じて使用される「前」、「後」、「上部」、「底部」、「左」、「右」、「上」、「上方」および「下方」などの用語は、システムの種々の構成要素の相対位置や、本書において説明される種々の構成要素の種々の部分の相対位置を説明するためのものである。同様に、本明細書および請求項を通じて使用されている任意の水平または鉛直という用語は、システムの種々の構成要素の相対的配向や、本書において説明される種々の構成要素の種々の部分の相対的配向を説明するためのものである。以下に明

50

記される相対的配向または相対位置が特定の構成要素、システム、またはデバイスに関する説明の中で明確に述べられている場合を除き、こういった用語を使用することで、(1)地球の重力の方向、(2)地球の地面またはグラウンド・プレーン、(3)システム、デバイス、またはその特定の構成要素が、実際の製造、使用、または輸送時に有し得る方向、または(4)システム、デバイス、またはその特定の構成要素が、実際の製造、使用、または輸送中に配置され得る表面、に対する、システム、デバイス、構成要素、またはその部分の、いかなる特定の位置または配向をも意味するものではない。

【0116】

本発明のいくつかの実施形態を説明してきた。しかしながら、本発明の精神および範囲から逸脱することなく種々の改変が作製可能であることを理解されたい。例えば、いくつかのプロセスステップは、異なる順で実行してもよいし、変更してもよいし、あるいは省略してもよい。振動素子、電極、および電氣的接続部の配置および構成は変化させてもよい。

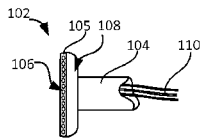
10

【符号の説明】

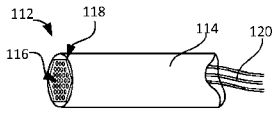
【0117】

102、112、122、132、142、152、162、172	トランスデューサデバイス	
106、116、126、136、146、156	トランスデューサアレイ	
110、120、130、140、150、160、170、180	ワイヤ	
168、178	下位アレイ	20
202、242	振動素子	
208、248	基部	
210、250	圧電素子	
212、252	基準電極	
214、254	駆動電極	
218、258	湾曲部分	
220、260	平面部分	
226、232、266、272	電氣的相互接続部	
228、268	アクティブ接続パッド	
230、270	制御/感知回路	30
234、274	接地接続パッド	
238、278	周囲部分	
240、280	中心部分	
302、322	圧電素子	
303、333	伝播媒体	
310、330	圧力波	
412	移行領域	
402	PZT層	
404	電極層	
502	トランスデューサアレイ	40
504	トランスデューサデバイス	
506	振動素子	
514	環状金属シール	
516	基部	

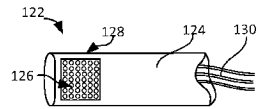
【図 1 A】



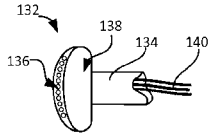
【図 1 B】



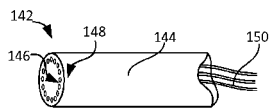
【図 1 C】



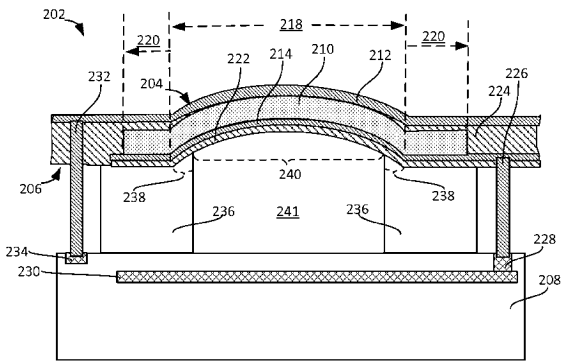
【図 1 D】



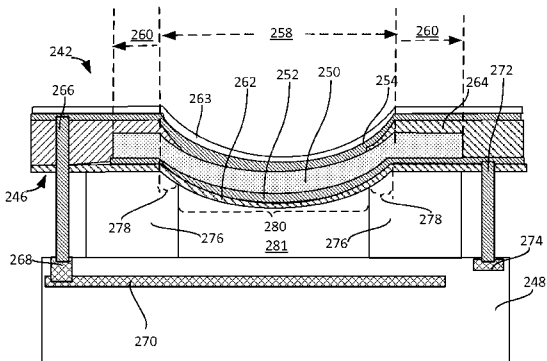
【図 1 E】



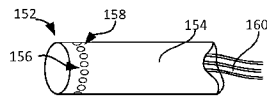
【図 2 A】



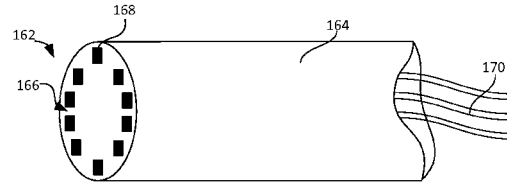
【図 2 B】



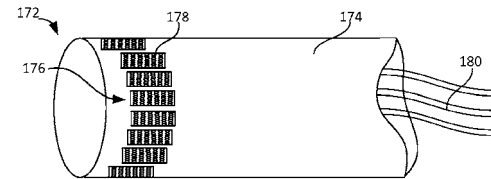
【図 1 F】



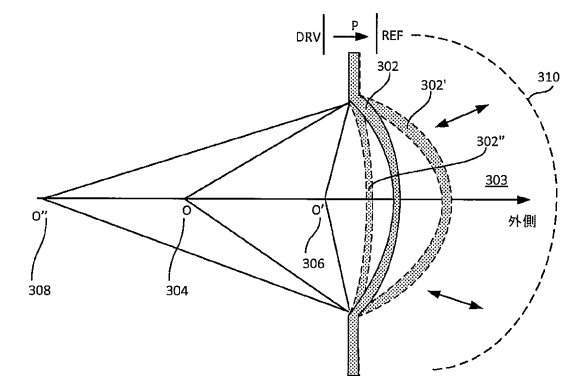
【図 1 G】



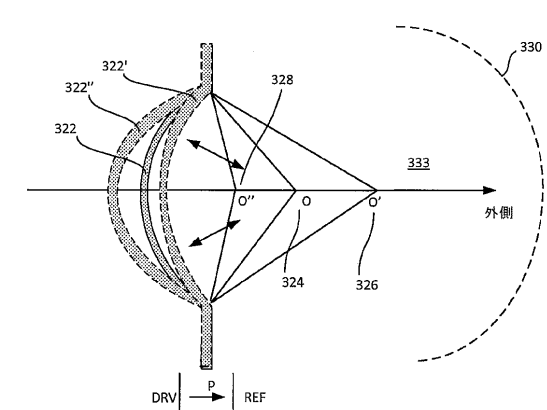
【図 1 H】



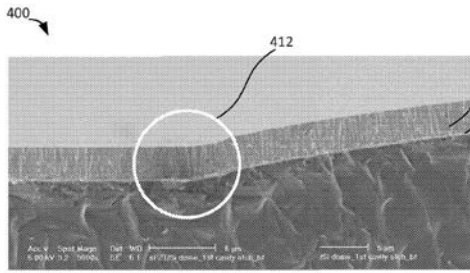
【図 3 A】



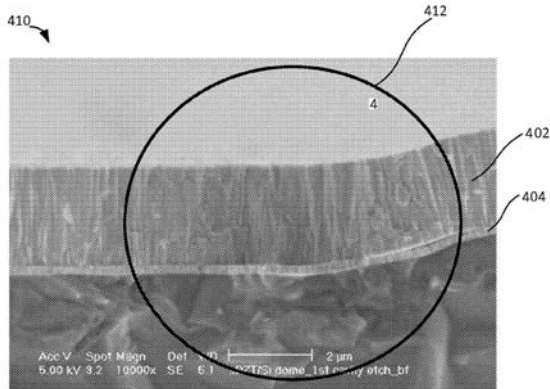
【図 3 B】



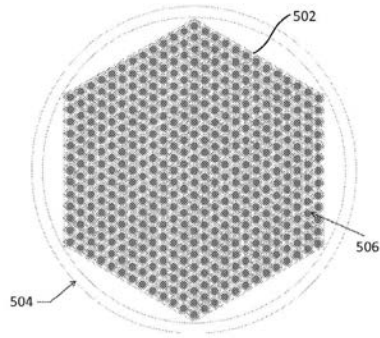
【図 4 A】



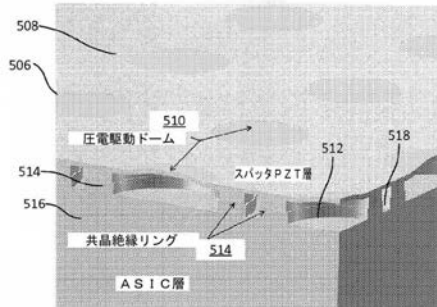
【図 4 B】



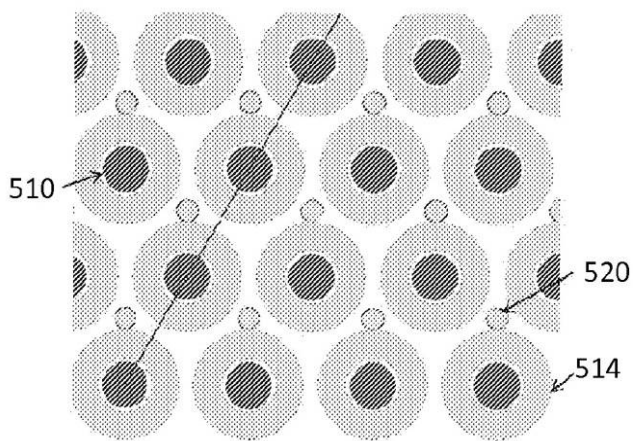
【図 5 A】



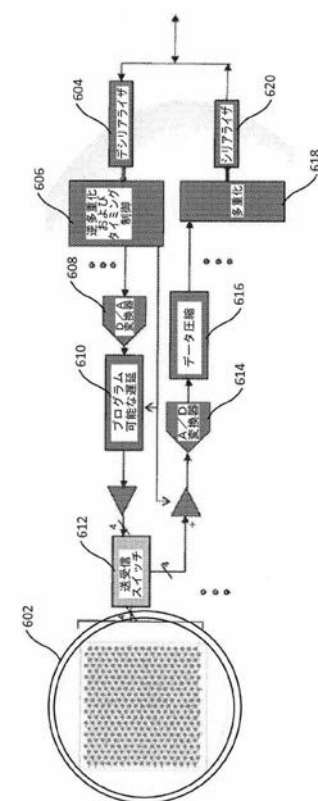
【図 5 B】



【図 5 C】



【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 ホウンファイ スティーヴン ロー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 4 ロスアルトス モントクレア プレイス 1 4
7 5
- (72)発明者 ケヴィン フォン エッセン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 1 8 サンノゼ トリナリー ウェイ 5 0 7 4
- (72)発明者 マッツ ジー オットソン
スウェーデン国 S - 1 3 2 3 5 サルツジョー - ボー マルコーヴァーゲン 4
- F ターム(参考) 2G047 GB03 GB15 GB18 GB32 GB34
4C601 EE15 GB04 GB05 GB06 GB10 GB18 GB19 GB41
5D019 AA18 AA25 AA26 BB02 BB08 BB12 BB18 BB19 BB20 BB25
BB28 BB30 FF04 GG11 HH01 HH02

专利名称(译)	使用microdome阵列的压电换能器		
公开(公告)号	JP2017112612A	公开(公告)日	2017-06-22
申请号	JP2016244228	申请日	2016-12-16
[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)	富士胶卷迪马啤公司		
[标]发明人	アンドレアスビブル ホウンファイスティーヴンロー ケヴィンフォンエッセン マッツジーオットソン		
发明人	アンドレアス ビブル ホウンファイ スティーヴン ロー ケヴィン フォン エッセン マッツ ジー オットソン		
IPC分类号	H04R17/00 G01N29/24 A61B8/14		
CPC分类号	B06B1/0662 H04R17/00 B06B1/0207 B06B1/0622 B06B1/0637 B06B1/0644 B06B2201/76 G10K11/32 H01L41/0805 H01L41/098 H01L41/316 H01L41/04 H01L41/047 H01L41/09		
FI分类号	H04R17/00.330.Y G01N29/24 H04R17/00.332.A H04R17/00.332.Y A61B8/14		
F-TERM分类号	2G047/GB03 2G047/GB15 2G047/GB18 2G047/GB32 2G047/GB34 4C601/EE15 4C601/GB04 4C601/GB05 4C601/GB06 4C601/GB10 4C601/GB18 4C601/GB19 4C601/GB41 5D019/AA18 5D019/AA25 5D019/AA26 5D019/BB02 5D019/BB08 5D019/BB12 5D019/BB18 5D019/BB19 5D019/BB20 5D019/BB25 5D019/BB28 5D019/BB30 5D019/FF04 5D019/GG11 5D019/HH01 5D019/HH02		
代理人(译)	佐久间刚		
优先权	61/443042 2011-02-15 US		
其他公开文献	JP2017112612A5 JP6262837B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

一种紧凑,重量轻,具有优良的驱动器和与传统的换能器阵列相比,提供一种能够降低所需的驱动电压的换能器装置感测效率。超声压电换能器装置包括换能器阵列,换能器阵列包括换能器元件阵列和基座208,换能器阵列内的换能器阵列连接到基座208。基座包括整体电互连226,232,用于在振荡元件202和外部控制电路230之间传导驱动和感测信号。基座可以是ASIC晶片,其包括用于控制感测信号的驱动和处理的集成电路。互连和基座中的控制电路安装在多个换能器元件阵列下方的实质区域内。

