

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5341909号  
(P5341909)

(45) 発行日 平成25年11月13日(2013.11.13)

(24) 登録日 平成25年8月16日(2013.8.16)

(51) Int.Cl.

F 1

H04R 19/00 (2006.01)  
A61B 8/00 (2006.01)H04R 19/00 330  
A61B 8/00

請求項の数 18 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2010-536238 (P2010-536238)  
 (86) (22) 出願日 平成20年12月3日 (2008.12.3)  
 (65) 公表番号 特表2011-505766 (P2011-505766A)  
 (43) 公表日 平成23年2月24日 (2011.2.24)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/085434  
 (87) 国際公開番号 WO2009/073743  
 (87) 国際公開日 平成21年6月11日 (2009.6.11)  
 審査請求日 平成23年11月25日 (2011.11.25)  
 (31) 優先権主張番号 60/992,027  
 (32) 優先日 平成19年12月3日 (2007.12.3)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 507382119  
 コロ テクノロジーズ インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 95135 カリフォルニア州 サンノゼ ブリタニー コート  
 3300  
 (74) 代理人 100077481  
 弁理士 谷 義一  
 (74) 復代理人 100115624  
 弁理士 濱中 淳宏  
 (74) 復代理人 100115635  
 弁理士 窪田 郁大  
 (74) 代理人 100088915  
 弁理士 阿部 和夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電圧フィードバックを施した容量性マイクロマシン加工超音波変換器

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器(CMUT)であって、

第1の電極と、

間隙によって前記第1の電極から分離される第2の電極であって、第1のキャパシタスが前記第1の電極と前記第2の電極との間に存在するようとする、第2の電極と、

前記第2の電極が、前記第1の電極に向かって、および前記第1の電極から離れる方に移動するのを可能にするための、前記第2の電極を支持するバネ要素と、

を備える、容量性マイクロマシン加工超音波変換器(CMUT)と、

前記CMUTと直列に接続されるフィードバック構成要素であって、前記CMUTに印加される電圧にフィードバックを提供する、フィードバック構成要素と、

を備え、

前記フィードバック構成要素は、前記第1のキャパシタスの10パーセントから300パーセントである、第2のキャパシタスを有するキャパシタである、  
システム。

## 【請求項 2】

前記フィードバック構成要素は、前記CMUTの前記第1のキャパシタスが、前記第2の電極の移動の結果として増加する時に、前記電圧を減少させるために、前記CMUTに印加される前記電圧に負のフィードバックを提供するキャパシタである、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 3】**

前記フィードバック構成要素は、前記第1のキャパシタンスとほぼ同等またはそれ未満である、第2のキャパシタンスを有するキャパシタである、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 4】**

前記フィードバック構成要素は、前記第1のキャパシタンスの30パーセントから100パーセントある、第2のキャパシタンスを有するキャパシタである、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 5】**

前記C M U Tが音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記フィードバック構成要素を回避するための経路を提供するように作動可能であり、前記C M U Tが音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記C M U Tと直列に前記フィードバック構成要素を配置するように作動可能である、スイッチをさらに備える、請求項1に記載のシステム。

10

**【請求項 6】**

前記フィードバック構成要素と前記C M U Tとの間にバイアス電圧を印加するためのバイアス回路をさらに備える、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 7】**

前記フィードバック構成要素と前記C M U Tとの間のスイッチであって、前記C M U Tが音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記C M U Tを前記フィードバック構成要素および送電電圧源と直列に接続し、前記C M U Tが音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記C M U Tを受信端末に接続する、スイッチと、

20

前記スイッチと前記C M U Tとの間にバイアス用電圧を印加するためのバイアス回路と、  
、

をさらに備える、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 8】**

前記フィードバック構成要素と前記C M U Tとの間のスイッチであって、前記C M U Tが音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記C M U Tを前記フィードバック構成要素および送電電圧源と直列に接続し、前記C M U Tが音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記C M U Tを受信端末に接続する、スイッチと、

30

前記スイッチが前記C M U Tを前記受信端末に接続する時に、バイアス用電圧を印加するためのバイアス回路と、

をさらに備える、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 9】**

前記C M U Tが表面に位置する超音波プローブをさらに備え、前記フィードバック構成要素は、前記プローブ内に位置し、前記プローブの前記表面から絶縁される、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 10】**

前記C M U Tが表面に位置する前記プローブを有する、超音波システムをさらに備え、前記フィードバック構成要素は、ケーブルを介して前記プローブに接続される前記超音波システムの基盤ユニット内に位置する、請求項1に記載のシステム。

40

**【請求項 11】**

前記フィードバック構成要素は、所定の動作周波数で、前記C M U Tのインピーダンスと同じ桁数であるインピーダンスを有する、レジスタまたはインダクタである、請求項1に記載のシステム。

**【請求項 12】**

前記フィードバック構成要素は、所定の動作周波数で、前記C M U Tのインピーダンスの50パーセントから300パーセントであるインピーダンスを有する、レジスタまたはインダクタである、請求項1に記載のシステム。

50

## 【請求項 13】

第1の電極と、前記第1の電極から空間によって分離される第2の電極と、を含む容量性マイクロマシン加工超音波変換器( C M U T )を提供するステップであって、前記第1の電極と前記第2の電極との間に、第1のキャパシタンスが存在するようにし、前記第2の電極は、前記第2の電極が前記第1の電極に向かって移動し、元の位置に戻るのを可能にするためのバネ要素によって支持され、前記第1の電極と前記第2の電極との間に第1のキャパシタンスが存在する、ステップと、

フィードバックキャパシタを前記 C M U T と直列に配置するステップであって、前記フィードバックキャパシタは、前記 C M U T の前記第1の電極と前記第2の電極との間の前記第1のキャパシタンスに基づく第2のキャパシタンスを有する、ステップと、

を含み、

前記第2のキャパシタンスは、前記 C M U T の前記第1のキャパシタンスの 10 パーセントから 300 パーセントである、

方法。

## 【請求項 14】

前記 C M U T を作動させるために前記 C M U T および前記フィードバックキャパシタに送電電圧を印加するステップをさらに含み、前記フィードバックキャパシタは、前記 C M U T の前記第1のキャパシタンスが、前記 C M U T の作動の間に増加する時に、前記 C M U T に印加される前記送電電圧が減少するように、前記 C M U T に印加される前記送電電圧にフィードバックを適用する、請求項 13 に記載の方法。

## 【請求項 15】

前記 C M U T の前記第1のキャパシタンス以下である前記第2のキャパシタンスを有するように、前記フィードバックキャパシタを選択するステップをさらに含む、請求項 13 に記載の方法。

## 【請求項 16】

前記 C M U T の前記第1のキャパシタンスの 30 パーセントから 100 パーセントである前記第2のキャパシタンスを有するように、前記フィードバックキャパシタを選択するステップをさらに含む、請求項 13 に記載の方法。

## 【請求項 17】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器( C M U T )であって、

第1の電極と、

間隙によって前記第1の電極から分離される第2の電極であって、前記第2の電極が第1の位置にある時に、第1のキャパシタンスが、前記第1の電極と前記第2の電極との間に存在するようにする、第2の電極と、

前記第2の電極が、電圧が印加される時に、所定の変位のために前記第1の位置から前記第1の電極の方へ移動し、音響エネルギーを生成するために前記第1の位置に戻るのを可能にするための、前記第2の電極を支持する可撓性要素と、

前記 C M U T と直列に接続されるフィードバックキャパシタであって、前記フィードバックキャパシタは、前記第1のキャパシタンスの 10 パーセントから 300 パーセントの第2のキャパシタンスを有し、前記フィードバックキャパシタおよび前記 C M U T は、分圧器を形成し、前記 C M U T の前記第1のキャパシタンスの増加により、前記フィードバックキャパシタが、前記 C M U T に印加される前記電圧に負のフィードバックを提供する時、前記 C M U T に印加される前記電圧が減少するようにする、フィードバックキャパシタと、

を備える、システム。

## 【請求項 18】

前記システムは、前記 C M U T が表面に位置する前記プローブを有する超音波システムであり、

前記フィードバックキャパシタは、前記プローブ内に位置し、前記プローブの前記表面から絶縁されるか、ケーブルを介して前記プローブに接続される前記超音波システムの基

10

20

30

40

50

盤ユニット内に位置する、

請求項 1 7 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0 0 0 1】

【関連出願の相互参照】

本出願は、2007年12月3日に出願された米国仮特許出願第60/992,027号の利益を主張し、その開示全体が、参照することにより本明細書に組み込まれる。

【0 0 0 2】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器（C M U T）は、種々の用途で広く使用されている静電気アクチュエータ／変換器である。超音波変換器は、液体、固体、および気体を含む種々の媒体中で動作することができる。超音波変換器は、診断および療法のための医用撮像、生化学的撮像、材料の非破壊的評価、ソナー、通信、近接センサ、気体流量測定、in-situプロセス監視、超音波顕微鏡法、水中検知、水中撮像、および多くの他の実用的用途に一般的に使用されている。C M U Tの典型的な構造体は、可撓性膜上またはその中に存在する、剛性の底面電極および可動最上部電極を備える平行板キャパシタで、隣接する媒体内で音波を送信（T X）または受信／検出（R X）するために使用される。通常は感度および帯域幅を最大化することを目的として、直流（D C）バイアス電圧を電極間に印加して、C M U T動作に最適の位置に該膜を偏向することができる。送信中、交流（A C）信号が変換器に印加される。最上部電極と底面電極との間の交流静電力により、該膜が、C M U Tを囲む媒体に音響エネルギーを伝えるように作動される。受信中衝突する音波が膜を振動させ、それにより2つの電極の間のキャパシタンスを変化させる。

10

【0 0 0 3】

C M U T内の静電力は非線形であるため、2つの電極の間の分離空間が作動の間に減少すると、電極間の静電力は、典型的には膜の復元力よりも大きな比率で増加する。したがって、可動電極がある位置に変位すると（例えば、典型的には電極間隙の3分の1）、膜の復元力は、静電力の均衡を保つことができない。さらなる電圧の増加は、C M U Tの不安定性または崩壊をもたらし得る、「引き込み」現象を引き起こし得る。よって、特定の用途に十分な変位を達成するためには、2つの電極間の離隔間隙は、実際に必要とされる変位よりはるかに大きくなるように設計されなければならず、これが従来の動作においてC M U Tの性能を根本的に制限し得る。

20

【図面の簡単な説明】

【0 0 0 4】

付随する図面は、説明と併せて、本明細書において企図される最良の形態の原理を示し、説明する役割を果たす。図では、参照番号の最も左の数字は、該参照番号が最初に現れる図を特定する。図面では、類似する数字は、幾つかの図を通して実質的に類似する特徴および構成要素を表す。

30

【0 0 0 5】

【図1A】理論上のC M U Tを含むシステムの例示的な概略モデルを示す図である。

40

【図1B】理論上のC M U Tを含むシステムの例示的な概略モデルを示す図である。

【図2A】フィードバックキャパシタを備えるC M U Tを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図2B】フィードバックキャパシタを備えるC M U Tを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図3】フィードバックキャパシタを備えるC M U Tを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図4】フィードバックキャパシタを備えるC M U Tを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図5A】フィードバック構成要素を備えるC M U Tを含むシステムの、例示的な実装形

50

態を示す図である。

【図5B】フィードバック構成要素を備えるCMUTを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図5C】フィードバック構成要素を備えるCMUTを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図6】フィードバックキャパシタを備えるCMUTのための、例示的な方法のフローチャートを示す図である。

【図7】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図8】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図9】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図10】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図11】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図12】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図13】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図14】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むプローブを備えるシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図15】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むプローブを備えるシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0006】

以下の詳細な説明においては、本開示の一部を成し、制限目的ではなく、説明目的で例示的な実装形態を示す、付随する図面を参照する。さらに、本説明は、以下に説明され、図面で示されるように、種々の例示的な実装形態を提供するが、本開示は、本明細書において説明され、図示の実装形態に制限されず、当業者にとって既知である、または既知となるであろう他の実装形態にまで及び得ることに留意されたい。本明細書における「一実装形態」、「本実装形態」、または「これらの実装形態」への言及は、該実装形態に関連して記載される特定の特徴、構造、または特性が、少なくとも1つの実装形態に含まれることを意味し、本明細書の様々な箇所で見られるこれらの句が、必ずしも全て同一の実装形態を指しているとは限らない。さらに、該説明において、完全な開示を提供するために、多くの具体的な詳細が記載される。しかしながら、当業者には、これらの具体的な詳細の全てが、全ての実装形態において必要であるとは限らないことは明白である。他の状況において、周知の構造、材料、回路、プロセス、およびインターフェースは、不必要に本開示を分かりにくくしないために、詳細に説明されておらず、および／またはブロック図の形態で示されている場合がある。

##### 【0007】

本明細書で開示される実装形態は、CMUT、ならびに構成要素（例えば、キャパシタ、レジスタ、インダクタ等）が、CMUTに印加される電圧にフィードバックを提供するために追加される、CMUTを設計および動作するための方法およびシステムに関する。通常、追加される構成要素の存在により、CMUTのキャパシタンスが増加すると、CMUTに印加される入力電圧の割合が減少する。したがって、追加構成要素は、CMUTに印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供する。追加構成要素の存在は、電極の離隔距離を増加せずにCMUTの変位および出力電力を改善すること、CMUT構造体に印加される絶対電圧を減少させることによって、電気的短絡または破壊に対するデバイス

10

20

30

40

50

の信頼性を改善すること、ならびに CMUT 構造体のキャパシタンスを増加することによって受信感度を改善することを含む、多くの利点を提供する。CMUT に印加される入力電圧の割合に負のフィードバックを効率的に提供するために、追加構成要素の電気的値は、該構成要素が CMUT の動作周波数領域内で CMUT に印加される電圧に所望のフィードバックを提供することができるよう、慎重に選択するべきである。実装形態は、超音波システム、変換器、プローブ等に組み込むことができる。

#### 【0008】

CMUT 動作における課題を解決し、CMUT の性能を改善するために、本明細書で開示される一部の実装形態は、本明細書ではフィードバックキャパシタと称される、構成要素を備える。該フィードバックキャパシタは、CMUT 動作の間、特に送信モードでの（すなわち、超音波エネルギーを生成する）CMUT の動作の間、CMUT に印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供する、CMUT と直列に配置される特別に選択されたキャパシタンスを有するキャパシタである。一部の例示的な実装形態は、CMUT に印加される入力電圧の割合に負のフィードバックを提供する、フィードバックキャパシタの使用に関する。例えば、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタは、CMUT 変換器と直列のキャパシタである。直列キャパシタおよび CMUT は、CMUT のキャパシタンスの増加により、CMUT に印加される入力電圧の割合が減少するように、分圧器を形成し得る。したがって、直列キャパシタは、CMUT に印加される電圧に、予測可能なレベルの負のフィードバックを提供するように選択されるキャパシタンスを有する。該フィードバックキャパシタは、膜の変位、ならびにキャパシタンスが増加すると、CMUT に印加される入力電圧の割合を減少させるため、CMUT は、従来の引き込み現象によって設定される制限を超えて動作することができる。したがって、本明細書で開示される動作方法および実装形態の CMUT の最大変位は（例えば、フィードバックキャパシタと直列の）、従来の動作における同一 CMUT のものより大きくてよく（追加のフィードバックキャパシタなしで）、あるいは電極を分離する空間は、従来の動作における電極のより大きな離隔距離を伴う CMUT と同じ最大変位を達成するために、実質的により小さくなるように設計してもよい。

#### 【0009】

一部の実装形態において、効率的なフィードバックを提供するために、フィードバックキャパシタのキャパシタンスは、入力電圧を CMUT とフィードバックキャパシタとの間で有意義に分配することができるよう、CMUT のキャパシタンスと同等である。一部の実装形態において、フィードバックキャパシタのキャパシタンスは、CMUT のキャパシタンスに基づいて、規定の範囲内である。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタは、CMUT 送信（TX）動作の間のみ機能するように構成することができる。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタを有する CMUT にバイアス電圧を印加することができる。一部の実装形態において、RX 動作時のみ、CMUT にバイアス電圧を印加することができる。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタを有する CMUT と接続されるバイアス回路において、減結合キャパシタを使用することもできる。

#### 【0010】

指定値を伴う他の電子的構成要素（例えば、レジスタ、インダクタ等）を、一部の実装形態において使用されるフィードバックキャパシタの代わりに使用して、CMUT に印加される電圧にフィードバックを提供することができる。しかしながら、フィードバックキャパシタとは異なり、他の電子的構成要素によって提供されるフィードバックは、周波数に依存する場合があり、一部の用途では望ましくない場合がある。したがって、周波数に依存しないフィードバックキャパシタを使用して、本明細書で開示される多くの実装形態を示すが、CMUT 動作におけるフィードバック機能を提供する他の構成要素を使用する実装形態も、本開示の範囲内であることに留意されたい。

#### 【0011】

図 1A は、本明細書で開示される例示的な実装形態の原理を示すために、送信動作中の

10

20

30

40

50

理論上の CMUT 100 の概略モデルを含む、例示的なシステム 101 を示す。CMUT 100 は、固定電極 110 と、可動電極 112 と、等価バネ 114 と、バネアンカー 116 とを備える。最上部電極および底面電極は、本実装形態において送信入力電圧 ( $V_{TX}$ ) を受信する第 1 のポート 120 と、本実装形態において接地 (GND) として機能する第 2 のポート 122 を含む、インターフェース回路に接続することができる。通常第 1 のポート 120 は、CMUT システムのフロント回路 (図示せず) に接続される。CMUT のフロント回路は、CMUT 100 に作動信号 ( $V_{TX}$ ) を印加するか、CMUT 100 からの受信信号を検出するかのいずれかである。CMUT 100 は、電極離隔間隙 ' $g$ ' 130 を伴って設計され、これは、CMUT 100 が送電電圧または外部の音響エネルギーによって作動されない元の位置にある時には、可動電極 112 と固定電極 110 との間に存在する空間である。例えば、CMUT 100 が第 1 のポート 120 に印加される電圧によって作動される時には、可動電極 112 は、可動電極 112 と固定電極 110 との間の静電力によって、特定の変位位置  $x_{132}$  まで固定電極 110 の方へ変位する。電圧が、可動電極 112 を固定電極 110 の方へ変位するように印加される時には、バネ 114 (または等価構造体) が復元力を提供して、可動電極 112 をその元の位置に戻す。  
10

#### 【0012】

しかしながら、CMUT 内の静電力は非線形であるため、該静電力は、2 つの電極間の離隔距離が小さくなると、バネ 114 の復元力より速く増加し得る。結果、特定の最大変位  $x_{m134}$  において、バネ 114 の復元力は、可動電極 112 と固定電極 110 との間の静電力に打ち勝つことができない。この最大変位点  $x_{m134}$  に到達すると、さらなる電圧の増加は、可動電極 112 の固定電極 110 上での崩壊を来たし得る。したがって、可動電極の変位  $x_{132}$  は、通常の CMUT 動作のために、 $x_{m134}$  よりも小さくあるように制御される必要がある。典型的には、最大設計変位  $x_{m134}$  は、電極離隔間隙  $g_{130}$  よりもはるかに小さい。例えば、静的作動中の理想的な平行板 CMUT について、 $x_{m134}$  は、典型的には離隔間隙  $g_{130}$  の約 3 分の 1 であり得る。したがって、従来の設計では、特定の用途にとって十分な変位を達成するために、固定電極と可動電極との間の離隔間隙  $g_{130}$  は、所望の量の音響エネルギーを生成するために実際に必要とされる、変位  $x_{132}$  よりもはるかに大きくなるように、設計される必要がある。  
20

#### 【0013】

図 1B は、図 1A の CMUT 100 の等価回路として、システム 101 を示す。CMUT 100 は、本実装形態では可変キャパシタとして符号で表される。CMUT 100 のキャパシタンスは、 $1/g$  に比例する。図示の実装形態では、入力電圧  $V_{TX}$  の全てを CMUT 100 に印加することができる。  
30

#### 【0014】

可動電極 112 は、通常動作中は、 $x_{m134}$  より小さい変位である  $x_{132}$  を有するため、図 1A の CMUT 100 は、図 1B にも示すように、 $x_{m134}$  に固定される仮想浮動電極 111 を挿入することによって、概念的に 2 つの部分に分離することができる。したがって、可動電極 112 および浮動電極 111 は、別の可変キャパシタ 200 を形成し (図 2A のシステム 201 に示す)、浮動電極 111 および固定キャパシタ 110 は、定数キャパシタ 240 を形成する (図 2A に示す)。本明細書で開示されるように、図 1B および図 2A の回路は、同一の電気および音響特性を有し得る。図 2B は、図 2A のシステム 201 の、例示的な実装形態の概略モデルを示す。キャパシタ 240 を有する CMUT 200 は、直列に接続される。しかしながら、図 2A ~ 2B の CMUT 200 の初期キャパシタンスは、図 1A ~ 1B の CMUT 100 の初期キャパシタンスの  $g/Xm$  倍であり、図 2A ~ 2B のキャパシタ 240 のキャパシタンスは、図 1A ~ 1B の CMUT 100 の初期キャパシタンスの  $g/(g - Xm)$  倍である。したがって、CMUT 200 およびキャパシタ 240 の両方のキャパシタンスは、CMUT 100 のものよりも大きく、図 2A ~ 2B の 2 つの直列キャパシタ (すなわち、CMUT 200 およびキャパシタ 240) の総初期キャパシタンスは、図 1A ~ 1B の CMUT 100 の初期キャパシタンスと同一である。  
40  
50

## 【0015】

図1A～1Bおよび図2A～2Bの回路または概略モデルの音響および機械的特性は同一であるため、図2A～2BのCMUT200では、理想的には、可動電極112は、CMUT200の電極離隔距離 $g_{230}$ 全体と同一である、最大変位 $X_m$ を有することができる。したがって、直列に接続される適切なキャパシタ240を備えるCMUT200の電極離隔距離上の相対変位は、直列のキャパシタを備えない同一CMUTのものよりはるかに大きくなることができる。これは、フィードバックキャパシタ240（以下「 $C_F$ 」と称されるキャパシタンスを有する）が、CMUT200に印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供するためである。図1A～1Bでは、全ての入力電圧 $V_{TX}$ がCMUT100に印加される。しかしながら、図2A～2Bでは、入力電圧（ $V_A$ ）の一部のみがCMUTに印加され、入力電圧（ $V_B$ ）の残りはフィードバックキャパシタに印加される、すなわち、 $V_{TX} = V_A + V_B$ である。キャパシタ240およびCMUT200は、一緒にになって、CMUT200のキャパシタンスならびに変位の増加によりCMUT200に印加される電圧の割合が減少するように、分圧器を形成し、したがって、キャパシタ240は、CMUT200に印加される電圧に負のフィードバックを提供する。したがって、キャパシタ240と直列に接続されると、CMUT200は、通常動作中のCMUT（すなわち、直列フィードバックキャパシタを備えない）内の引き込み現象によって設定される制限をはるかに超えて、安定して動作することができる。10

## 【0016】

さらに、図2A～2Bの実装形態では、CMUT200のCMUTキャパシタンスは、可動電極112の同一変位 $\times 232$ を達成するために、図1の理論上のモデルであるCMUT100のキャパシタンスより実質的に大きい。より大きなCMUTキャパシタンスは、例えば、CMUTが、音響エネルギーの検出／受信のために検出／受信モードで使用される時に、CMUTの性能を改善するために望ましい。20

## 【0017】

本明細書で開示される実装形態において、キャパシタ240は、定数キャパシタンスを有する任意の種類のキャパシタであり得る。例えば、キャパシタ240は、最上部電極および底面電極として金属またはシリコンを使用、ならびに誘電材料として窒化物または酸化物を使用する等により、CMUT基板上に直接製造することができる。代替として、キャパシタ240は、本明細書に記載される原理および技法に従って設計されるCMUT変換器に接続される、個別のキャパシタ構成要素であってもよい。30

## 【0018】

図3は、前述の原理を組み込む、CMUT300およびフィードバックキャパシタ340を含むシステム301の、例示的な実装形態を示す。CMUT300の基本構造体は、可撓性バネ要素314の上、またはその中、またはその一部として存在する、剛性の第1の電極310および第2の電極312を有する、可撓性膜製の容量性マイクロマシン加工変換器であり、該バネ要素は、電圧が印加されると、第2の電極312が第1の電極310の方へ移動し、次いで第2の電極312が元の位置に戻るのを可能にするためのバネとして機能する、可撓性膜または他の構造体であり得る。バネ要素314および第2の電極312は、支持アンカー316によって第1の電極310から分離され、変換離隔間隙 $g_{330}$ を形成する。CMUT300を使用して、可撓性膜314の偏向を介して隣接する媒体中に音波を送信（TX）または検出（RX）することができる。例えば送信中、第1のポート120を介してAC信号がCMUT300に印加される。第1の電極310と第2の電極312との間の交流静電力が、音響エネルギーをCMUT300を囲む媒体に供給するために、膜314を作動する。同様に、受信中、衝突する音波が膜314を振動させ、これにより2つの電極310と312との間の実効キャパシタンスを変化させ、電子回路（図示せず）が、CMUTをセンサとして使用するために、このキャパシタンス変化を検出および測定する。40

## 【0019】

図3の例示的なCMUT300は、電極310または312のうちの1つと直列に接続50

される、フィードバックキャパシタ340を含む。フィードバックキャパシタ340は、好みしくは、後述する範囲内等の、CMUT300の実効キャパシタンス $C_c$ とほぼ同等またはそれ未満であるキャパシタンスを有する。CMUT300と直列のフィードバックキャパシタ340を含むことにより、依然として同様の最大変位を達成しながら、離隔間隙330を、フィードバックキャパシタ340を備えないCMUTにおいて必要とされるであろう大きさの2分の1から3分の1未満であるように、設計することが可能であり得る。フィードバックキャパシタ340は、第1の電極310または第2の電極312のうちの1つと同一CMUT基板上に直接製造してもよく、または代替として、キャパシタ340を、個別のキャパシタ構成要素としてCMUT300に接続してもよい。

【0020】

10

図4は、直列に接続されるフィードバックキャパシタ440を備えるCMUT400を含む、例示的なシステム401の別の実装形態を示す。CMUT400は、第1の電極410および第2の電極412を含む。CMUT400は、内蔵バネ要素414を含み、該内蔵バネ要素は、第2の電極412が第1の電極410の方に移動し、次いで元の位置に跳ね返るのを可能にするためのバネとして機能する、可撓性膜または他の構造体であり得る。さらに、バネ要素414は、導電性であり、第1の電極410の一部であり得る。変換離隔間隙 $g_{430}$ を形成するように、支持体416によってバネ要素414から第2の電極412を浮き上げることができる。CMUT400は、CMUT300について上述したものと同様の様態で動作することができる。

【0021】

20

図4の例示的なCMUT400は、電極410または412のうちの1つと直列に接続されるフィードバックキャパシタ440を含む。フィードバックキャパシタ440は、好みしくは、後述する範囲内等の、CMUT400の実効キャパシタンス $C_c$ とほぼ同等またはそれ未満であるキャパシタンスを有する。CMUT400と直列のキャパシタ440を含むことにより、依然として同様の最大変位を達成しながら、離隔間隙430を、通常動作中にCMUTにおいて必要とされるであろう大きさの2分の1から3分の1未満であるように、設計することができる。キャパシタ440は、第1の電極410または第2の電極412のうちの1つと同一CMUT基板上に直接製造してもよく、または代替として、キャパシタ440を、個別のキャパシタ構成要素としてCMUT400に接続してもよい。

【0022】

30

図5Aは、一部の実装形態に従うCMUT500を含むシステム501の基本構成を描写する略図である。キャパシタンス $C_F$ を有するフィードバックキャパシタ540が、キャパシタンス $C_c$ を有するCMUT500と直列に接続される。第2のポート122は、GNDまたはバイアス源に接続される。第1のポート120は、CMUTシステムのフロント回路(図示せず)に接続される。CMUTのフロント回路は、直列のフィードバックキャパシタ540を備えるCMUT500に作動信号( $V_{IN}$ )を印加するか、またはCMUT500からの受信信号を検出するかのいずれかである。通常、フィードバックキャパシタを使用する実装形態は、CMUTの検出/受信動作よりも、送信動作においてより多くの利点を提供するため、送信動作を使用して、図5Aの実装形態を示す。この場合、入力電圧 $V_{IN}$ は、送信信号 $V_{TX}$ である。送信信号 $V_{TX}$ からCMUT500に印加される電圧 $V_A$ は、 $V_A = V_{TX} - V_B = V_{TX} (1 + (C_c / C_F))^{-1}$ として得ることができる。特定の印加される入力信号 $V_{TX}$ について、CMUTに印加される電圧 $V_A$ は、CMUTのキャパシタンス $C_c$ が増加するにつれて減少する。したがって、直列キャパシタ540は、CMUT500に印加される電圧 $V_A$ に負のフィードバックを提供する。

【0023】

40

フィードバックキャパシタ540によって提供されるフィードバックの効率は、 $C_c / C_F$ の比率に依存する。したがって、直列キャパシタ540のキャパシタンスは、CMUT500に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択される必要がある。適切に選択されたフィードバックキャパシタを備える一部の実装形態

50

では、CMUT 500に印加される入力電圧へのフィードバックは、CMUT動作範囲を、通常のCMUT動作における引き込み現象によって制限されるものを超えて拡大することができる。結果として、キャパシタンス $C_F$ を有するフィードバックキャパシタ540を備えるCMUT 500は、本明細書で開示される実装形態に従う、所定の変換空間内で、通常動作中の同一CMUT（フィードバックキャパシタを備えない）よりも大きな変位を達成することができる。例えば、理想的な平行板キャパシタンス配列を有するCMUTモデルにおいて、フィードバックキャパシタが、CMUTのキャパシタンス $C_c$ の2分の1であるキャパシタンス $C_F$ を有するように選択される場合、引き込み現象はなく、CMUTの最大変位 $X_m$ は、図2Aおよび2Bを参照して前述したように、CMUTの電極離隔距離 $g$ と同一であり得る。これによって、通常のCMUT動作に設計されるものと同一の変位を達成する、実質的により大きなキャパシタンスを有するCMUTか、または通常のCMUT動作に設計されるものと同一キャパシタンスのための、実質的により大きな変位を有するCMUTを設計することが可能になる。

#### 【0024】

前述のように、CMUT 500に印加される電圧 $V_A$ と、フィードバックキャパシタ540に印加される電圧 $V_B$ との合計は、印加される送電電圧 $V_{TX}$ に等しい、すなわち、 $V_T = V_A + V_B$ である。一部の実装形態において、 $V_B$ は、 $V_A$ と同等であるか、または $V_A$ よりもさらに大きい。したがって、本明細書で開示されるCMUT構造体に印加される電圧（ $V_A$ ）は、通常動作におけるCMUT構造体に印加される電圧（ $V_{TX}$ ）よりも小さい。本明細書で開示されるCMUTの実装形態が、超音波プローブ等の超音波システム内に実装される時に、より小さい電圧をCMUTに印加することから達成される幾つかの利点がある。第一に、一部の実装形態において、CMUTのキャパシタンスを、好適なフィードバックキャパシタを備えずに、同等の変位を有するCMUTのものよりも大きくなるように設計することができる。したがって、本明細書におけるCMUTのキャパシタンス $C_c$ を増加させることにより、CMUTの受信性能を改善することができる。また、典型的には、通常動作では（直列フィードバックキャパシタを備えない）、送電電圧 $V_{TX}$ 全体がCMUTに印加される。しかし、本明細書で開示される実装形態では、全電圧の一部のみ（例えば、 $V_A < V_{TX}$ ）がCMUTに印加され、残りの電圧（電圧 $V_B$ ）は、フィードバックキャパシタに印加される。これは、CMUTが、超音波を媒体に放出するか、または媒体から超音波を受信するために、電圧に敏感な位置に配置される必要がある超音波変換器として機能する一部の実装形態に対して、第2の利点を提供する。フィードバックキャパシタ540は、CMUT 500と直列であるいずれの場所にも位置し得るため、CMUT自身に印加される電圧の量を減少することができ、これは、変換器の近傍で高電圧が好ましくない用途にとって有益であり得る。

#### 【0025】

したがって、本明細書で開示されるCMUTに印加される電圧（ $V_A$ ）は、フィードバックキャパシタを組み込まないCMUTに印加される電圧（ $V_{TX}$ ）より、両者が同一超音波力を放出する時には、はるかに低くなり得る。本明細書で開示される実装形態のCMUTに印加される電圧 $V_A$ は、はるかに低いため、これは、前述のCMUTにおける静電破壊の課題に対して有益である。さらに、本明細書で開示されるフィードバックキャパシタを備えるCMUTに印加されるより低い電圧は、2つの電極が崩壊する時に絶縁破壊を防止するための、CMUT内のより薄い絶縁層を可能にする。理想的には、絶縁層は、一部の実装形態では必要でない場合がある。これは、絶縁層における誘電帯電が最小限に抑えられるか、または完全に排除されるため、CMUTの信頼性を改善する。したがって、本明細書で開示されるCMUT（直列フィードバックキャパシタを備える）は、はるかに優れた信頼性を有する。

#### 【0026】

一部の実装形態において、直列キャパシタを使用して、CMUTに印加される電圧への所望のフィードバックを提供するために、フィードバックキャパシタのキャパシタンス $C_F$ は、CMUTのキャパシタンス $C_c$ と同等、例えば、同一桁数内であるべきである。例え

10

20

30

40

50

ば、フィードバックキャパシタのキャパシタンス  $C_F$  を、 $0.1 C_C \sim 3 C_C$  (すなわち、 $C_C$  の 10 ~ 300 パーセントの間) の範囲内となるように設計することができ、 $C_C$  は、CMUT の実効基準キャパシタンス、あるいはより正確には、送電電圧  $V_{TX}$  の入力によってキャパシタンスに変化が生じる前に、CMUT が送信動作に設定される時の、CMUT のキャパシタンスを表す。さらに、一部の例示的な実装形態において、フィードバックキャパシタのキャパシタンス  $C_F$  を、最適動作のために、 $0.3 C_C \sim 1 C_C$  (すなわち、 $C_C$  の 30 ~ 100 パーセントの間) 内となるように設計することができる。さらに、一部の実装形態において、キャパシタンス  $C_C$  は、特定の実際的な装置または CMUT 構造体自体内に存在する寄生キャパシタンスがある場合は、CMUT キャパシタンスおよび任意の寄生キャパシタンスの両方を含み得る。

10

### 【0027】

キャパシタの使用に加えて、他の好適に構成される電子的構成要素、例えば、レジスタ、インダクタ等を、図 5A のフィードバックキャパシタ 540 の代わりに使用して、CMUT 500 に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成することができる。キャパシタ以外の構成要素のフィードバックは周波数に依存するため、電子的構成要素の値は、CMUT 500 の動作周波数で、所望のフィードバックキャパシタンス  $C_F$  のものと類似する電気インピーダンス  $I_F$  を有するように選択することができる。

### 【0028】

図 5B は、CMUT 500 と直列に接続されるフィードバックレジスタ 542 を備える、CMUT 500 を含むシステム 501b を示す。フィードバックレジスタ 542 は、CMUT 500 の 2 つの電極のうちの 1 つと接続され、選択した抵抗  $R_F$  を有する。第 2 のポート 122 は、GND またはバイアス源に接続される。第 1 のポート 120 は、CMUT のフロント回路 (図示せず) に接続される。CMUT のフロント回路は、直列のフィードバックレジスタ 542 を備える CMUT 500 に作動信号 ( $V_{IN}$ ) を印加するか、あるいは CMUT 500 からの受信信号を検出するかのいずれかである。送信信号  $V_{IN}$  から CMUT 500 に印加される電圧  $V_A$  は、

20

$V_A = V_{IN} - V_B = V_{IN} (1 + j_{c} R_F C_C)^{-1}$  として求めることができ、式中、 $j$  は虚数単位であり、 $j_c$  は、CMUT の動作周波数である。特定の印加される入力信号  $V_{IN}$  について、CMUT に印加される電圧  $V_A$  は、CMUT のキャパシタンス  $C_C$  が増加すると、減少する。したがって、適切に選択した抵抗  $R_F$  を有する直列レジスタ 542 は、CMUT 500 に印加される電圧  $V_A$  に負のフィードバックを提供する。

30

### 【0029】

フィードバックレジスタ 542 によって提供されるフィードバックの効率は、 $j_{c} R_F C_C$  のフィードバック係数に依存する。前述のフィードバックキャパシタの使用とは異なり、フィードバックレジスタを使用するフィードバック係数は、CMUT の動作周波数  $c$  の関数である。また、フィードバック係数は虚数であるため、CMUT に印加される電圧 ( $V_A$ ) と入力電圧 ( $V_{IN}$ ) との間に位相差が存在することも注目に値する。この位相差により、CMUT 500 へのレジスタ 542 のフィードバックが、CMUT の変位に対する減衰効果として機能するようになる。したがって、フィードバックレジスタ 542 を備える CMUT は、通常動作中の CMUT より良好な帯域幅を有し得る。故に、本手法は、媒体として空気中で動作する CMUT の帯域幅を広げるために特に有用である。したがって、直列レジスタ 542 の抵抗  $R_F$  は、動作周波数領域内の CMUT において、CMUT 500 に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択する必要がある。例えば、CMUT 500 に印加される電圧 ( $V_A$ ) へのフィードバックキャパシタ 540 と同様の絶対的なフィードバック効果を達成するために、フィードバックレジスタ 542 は、CMUT 500 の所定の動作周波数 ( $c$ ) に基づく、CMUT 500 のインピーダンス  $Z_F = 1 / j_{c} C_C$  と同じ桁数である、インピーダンス  $Z_F = R_F$  を有する。例えば、レジスタ 542 のインピーダンスは、所定の動作周波数での CMUT 500 のインピーダンスの 50 ~ 300 パーセントの間であり得る。

40

### 【0030】

50

さらに、図 5 C は、CMUT 500 と直列に接続されるフィードバックインダクタ 544 を有する CMUT 500 を含む、システム 501c を示す。フィードバックインダクタ 544 は、CMUT 500 の 2 つの電極のうちの 1 つに接続される。第 2 のポート 122 は、GND またはバイアス源に接続される。第 1 のポート 120 は、CMUT のフロント回路（図示せず）に接続される。CMUT のフロント回路は、直列のフィードバックインダクタを備える CMUT 500 へ作動信号（ $V_{IN}$ ）を印加するか、または CMUT 500 からの受信信号を検出するかのいずれかである。送信信号  $V_{IN}$  から CMUT 500 に印加される電圧  $V_A$  は、

$V_A = V_{IN} - V_B = V_{IN} (1 + (-\frac{1}{c^2 L_F C_C}))^{-1}$  として得ることができる。印加される入力信号  $V_{IN}$  について、CMUT に印加される電圧  $V_A$  の割合は、CMUT のキャパシタンス  $C_C$  が増加するにつれて増加する。したがって、直列インダクタ 544 は、CMUT 500 に印加される電圧  $V_A$  に正のフィードバックを提供する。

#### 【0031】

フィードバックインダクタ 544 によって提供されるフィードバックの効率は、 $-\frac{1}{c^2 L_F C_C}$  のフィードバック係数に依存する。前述のフィードバックキャパシタの使用とは異なり、フィードバックインダクタ 544 を使用するフィードバック係数は、周波数  $c$  の強関数である。また、フィードバック係数が負であるために、インダクタが正のフィードバックを提供することも、注目に値する。したがって、CMUT に印加される電圧（ $V_A$ ）は、入力電圧（ $V_{IN}$ ）よりも大きくなり得る。直列インダクタを備える CMUT は、より狭い帯域幅を有し得る。そのためこれは、複数のパルスを有する信号が必要とされる用途、例えば、高密度焦点式超音波療法（HIFU）に有用であり得る。直列インダクタ 544 のインダクタンス  $L_F$  は、動作周波数領域内の CMUT において、CMUT 500 に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択する必要がある。例えば、CMUT 500 に印加される電圧（ $V_A$ ）への、インダクタンス  $L_F$  を有するフィードバックインダクタ 544 のように効果的なフィードバック効果を達成するためには、フィードバックインダクタ 544 は、CMUT 500 の所定の動作周波数（ $c$ ）に基づき、CMUT 500 のインピーダンス  $Z_F = 1 / j c C_C$  と同じ桁数である、インピーダンス  $Z_F = 1 / j c L_F$  を有する。例えば、インダクタ 544 のインピーダンス  $Z_F$  は、所定の動作周波数での CMUT 500 のインピーダンスの 50 ~ 300 パーセントの間であり得る。

#### 【0032】

以下の説明および関連する図面では、フィードバックキャパシタを使用して、本明細書で開示される種々の実装形態を示すが、前述の考察を考慮に入れて、同一実装形態において、前述のフィードバックレジスタおよびフィードバックインダクタ等の他のフィードバック構成要素を使用することができる。

#### 【0033】

図 6 は、本明細書において記載される実装形態に従う、フィードバックキャパシタを含む CMUT のための例示的な方法の、フローチャート 600 を示す。さらに、本方法は完全に例示的であり、本発明は、いずれの特定の方法にも限定されないことに留意されたい。

#### 【0034】

プロック 601：一部の実装形態において、指定の電圧が CMUT に印加される時に所定の量の音響エネルギーを生成するように、第 1 の電極に向かう第 2 の電極の所望の設計変位  $x$  を最初に決定する必要がある。

#### 【0035】

プロック 602：所望の変位  $x$  が決定されると、前述のように、指定の送電電圧に基づいて、CMUT の第 1 の電極と第 2 の電極との間に存在するキャパシタンス  $C_C$  を決定することができる。

#### 【0036】

プロック 603：CMUT のキャパシタンス  $C_C$  が決定された後、CMUT のキャパシ

10

20

30

40

50

タンス  $C_c$  に基づいて、フィードバックキャパシタを選択することができる。前述したように、一部の実装形態では、フィードバックキャパシタは、CMUTのキャパシタンス  $C_c$  未満、またはそれとほぼ同等であるキャパシタンス  $C_F$  を有する。他の実装形態において、フィードバックキャパシタは、上で挙げた特定の範囲内、すなわち、キャパシタンス  $C_c$  の 30 ~ 100 パーセントの間、またはキャパシタンス  $C_c$  の 10 ~ 300 パーセントの間で選択される。

【0037】

ブロック 604：フィードバックキャパシタは、CMUT と直列に配置される。

【0038】

ブロック 605：送電電圧が CMUT およびフィードバックキャパシタに印加され、CMUT を作動する。送電電圧は、第 2 の電極を、第 1 の電極の方へ移動させ、および第 1 の電極から離れるように移動させて、超音波エネルギーを生成する。フィードバックキャパシタは、CMUT のキャパシタンス  $C_c$  が CMUT の作動中に増加すると、CMUT に印加される送電電圧の割合が減少するように、およびその逆であり得るように、CMUT に印加される電圧にフィードバックを適用する。

10

【0039】

図 7 ~ 13 は、図 5 に示す基本構成の、CMUT の異なる動作方法および構成でのより詳細な実装形態を示す。図 7 は、フィードバックキャパシタ 740 と直列に接続される CMUT 700 を含むシステム 701 の、実装形態を示す。第 2 のポート 122 は、GND またはバイアス源に接続される。第 1 のポート 120 は、CMUT システムのフロント回路（図示せず）に接続される。CMUT のフロント回路は、CMUT 700 に作動信号を印加するか、CMUT 700 からの受信信号を検出するかのいずれかである。スイッチ 760 を使用して、CMUT 700 の動作の特定の期間中等に、フィードバックキャパシタ 740 を短絡させることができる。例えば、スイッチ 760 は、送信 (TX) 動作中に開放し、受信 (RX) 動作中に閉鎖して回路を短絡させ、それにより、フィードバックキャパシタ 740 を、超音波エネルギーの送信中は作動状態にし、超音波エネルギーの受信中は非作動状態にすることができる。受信動作中、検出信号を駆動するためにより大きな CMUT キャパシタンスが所望されるため、フィードバックキャパシタンスは、全体のキャパシタンスを増加させるために、短絡されることが所望される。さらに、前述および後述の他の例示的な構成において、スイッチ 760 が図示されていなくても、所望の場合は、かかるスイッチを、それらの実装形態のうちのいずれにおいても追加することができる。図 7 に示すスイッチは、実際のスイッチまたはスイッチ回路であってよく、CMUT 700 の特定の動作（例えば TX または RX 動作）において、フィードバックキャパシタ 740 を含むか、または除外するためにスイッチのように機能する、任意の回路または機能ボックスであってもよい。

20

【0040】

図 8 は、フィードバックキャパシタ 840 と直列に接続される CMUT 800 を含むシステム 801 の、実装形態を示す。本実装形態では、CMUT 800 が、抵抗  $R_{Bias}$  を有するバイアスレジスタ 826 を含むバイアス回路 850 を介して、第 3 のポート 824 でバイアス用電圧  $V_{Bias}$  を受信することを前提とする。通常、バイアスレジスタの抵抗は、CMUT のインピーダンスよりはるかに大きい。そのため、バイアスレジスタ、ならびに後で取り入れる減結合キャパシタの存在は、CMUT の動作周波数での CMUT 動作に最小限の影響しか及ぼさない。しばしば、電気的浮動動作点 / ポートは、音響信号を受信するための検出 / 受信モードにある時等に、安定した動作を達成するために、所望の信号源へバイアスされるべきである。図 8 の実装形態では、CMUT 800 とフィードバックキャパシタ 840 との間に電気的浮動点があり、そのため、CMUT 800 は、第 3 のポート 824 でバイアス源  $V_{Bias}$  によってバイアスされ得る。一部の実装形態において、バイアス源は、DC 電圧源、接地、または任意の他の信号源であり得る。図 8 の実装形態では、TX / RX スイッチ 860 は、送信モードと受信 / 検出モードを切り替えるための第 1 のポート 120 に含まれる。したがって、スイッチ 860 が TX 入力端子 827 に切り替

30

40

50

わる時には、送電電圧  $V_{TX}$  を CMUT 800 に送ることができる。代替として、スイッチ 860 が RX 出力端子 828 に切り替わる時には、超音波エネルギーを受信または検出した結果、CMUT 800 によって生成される出力電流を、測定回路等（図示せず）に送ることができる。

#### 【0041】

本明細書で開示される一部の実装形態に使用され得る、種々のバイアス方法が存在する。本明細書で開示される実装形態および構成における TX / RX スイッチ 860 は、送信（TX）動作と受信（RX）動作との間でスイッチのように機能する、任意の回路または機能ボックスであり得る。例えば、TX / RX スイッチ 860 は、実際の物理的なスイッチであってよく、送信動作中の受信の前置増幅のための保護回路、または同一機能を行う何らかの他の配列であってもよい。

#### 【0042】

図 8 は、CMUT 800 およびフィードバックキャパシタ 840 にバイアスをかけるための例示的な方法を示す。CMUT 800 に印加されるバイアス電圧  $V_{Bias}$  は、バイアスレジスタ 826 を介して伝えることができる。フィードバックキャパシタ 840 は、前述のフィードバック機能を行うことができ、フィードバックキャパシタ 840 に加えて DC 減結合キャパシタが必要とされないように、一部の実装形態において DC 減結合機能を実行することもできる。さらに、本明細書に記載される全ての構成について、適切なバイアスを印加するために使用される、 $R_{Bias}$  を有するバイアスレジスタを、スイッチと置き換えることができる。

10

#### 【0043】

図 8 の実装形態では、フィードバックキャパシタ 840 およびバイアス電圧  $V_{Bias}$  の両方が、CMUT 800 と TX / RX スイッチ 860 との間に配置される。しかし、図 9 はシステム 901 の代替実装形態を示し、ここでは、CMUT 900 は、第 3 のポート 824 およびバイアス回路 850 を介してバイアス電圧  $V_{Bias}$  を受信し、フィードバックキャパシタ 940 は、TX 動作中、フィードバックキャパシタ 940 のみが機能するように、入力端子 827 で TX / RX スイッチ 860 の反対側に位置する。

20

#### 【0044】

図 10 は、CMUT 1000 を含むシステム 1001 の別の実装形態を示し、ここでは  $V_{Bias}$  を提供するバイアス回路 850 が、出力端子 828 でやはり TX / RX スイッチ 860 の反対側に位置し、その結果、 $V_{Bias}$  824 は RX 動作モード中のみ機能し、フィードバックキャパシタ 1040 は送信モード中のみ機能する。

30

#### 【0045】

さらに、図 8 の実装形態では、フィードバックキャパシタ 840 は、CMUT 800 と TX / RX スイッチ 860 との間に配置される。この構成では、CMUT の動作点は、バイアス電圧のみによって決定される。しかし、他の実装形態では、図 11 に示すように、フィードバックキャパシタを CMUT の反対側に配置することができる。図 11 では、フィードバックキャパシタ 1140 およびバイアス回路 850 を含むシステム 1101 は、CMUT 1100 と、本実装形態において接地としても機能する第 2 のポート 122 との間に位置する。図 11 の CMUT 1100 の動作点は、バイアス電圧  $V_{Bias}$  のみによって、あるいは、スイッチ 860 が TX 入力端子 827 と接触する時には、バイアス電圧  $V_{Bias}$  および送信（TX）入力信号電圧  $V_{TX}$  の両方によって決定することができる。

40

#### 【0046】

また、図 9 の実装形態では、バイアス回路 850 は、CMUT 900 と TX / RX スイッチ 860 との間に配置される。しかし、図 12 に示すように、バイアス電圧  $V_{Bias}$  も、CMUT の反対側に配置することができる。図 12 は、CMUT 1200 が第 2 のポート 122 を介してバイアス電圧源に直接接続され、送信モード中、フィードバックキャパシタ 1240 のみが接続される、システム 1201 の実装形態を示す。

#### 【0047】

図 13 は、2 つのバイアス回路 1350、1351 が、それぞれ、CMUT 1300 の

50

両側に配置される、システム 1301 の実装形態を示す。電圧  $V_{Bias_1}$  を有する第 1 のバイアス回路 1350 は、第 3 のポート 1324 に設けられ、CMUT 1300 とフィードバックキャパシタ 1340 との間に印加される抵抗  $R_{Bias_1}$  を有する第 1 のバイアスレジスタ 1326 を介して印加される。電圧  $V_{Bias_2}$  を有する第 2 のバイアス回路 1351 は、第 4 のポート 1325 に設けられ、CMUT 1300 の反対側に印加される抵抗  $R_{Bias_2}$  を有する第 2 のバイアスレジスタ 1327 を介して印加される。さらに、減結合キャパシタ 1390 を、CMUT 1300 と第 2 のポート 122との間の CMUT 1300 のこの側に含むことができる。したがって、図 13 の実装形態は、フィードバックキャパシタ 1340 に加えて、CMUT 1300 と直列の減結合キャパシタ 1390 を含む。例えば、減結合キャパシタ 1390 は、典型的には CMUT 1300 のキャパシタンス  $C_c$  よりはるかに大きくなるように（すなわち、 $C_D > > C_c$  となるように一桁を超えて）選択される、キャパシタンス  $C_D$  を有する減結合キャパシタであり、したがって、キャパシタンス  $C_D$  も、フィードバックキャパシタ 1340 のキャパシタンス  $C_F$  よりはるかに大きくなる。その結果、CMUT 1300 による送信動作中、減結合キャパシタ 1390 上の電圧降下はごくわずかであり、送信入力電圧  $V_{TX}$  のほとんど全部が、CMUT 1300 およびフィードバックキャパシタ 1340 に印加される。さらに、図 13 の変形例において、フィードバックキャパシタ 1340 および第 1 のバイアス回路 1350 を、図 10 に示す実装形態と同様、TX / RX スイッチ 860 の反対側に配置することができ、その結果、フィードバックキャパシタ 1340 は、TX 動作中のみ機能し、第 1 のバイアス回路 1350 は、RX 動作中にのみ機能する。

10

20

#### 【0048】

図 1 ~ 13 を参照して前述したフィードバックキャパシタを備える CMUT を、種々の異なるシステム、デバイス等に組み込むことができる。例えば、図 14 は、一部の実装形態に従う超音波システム 1401 において使用される、例示的なプローブ 1402 を示す。プローブは、ケーブル 1404 等を介して残りの超音波システムに接続される。図 14 の実装形態は、上記で開示された実装形態に従う、直列に接続されるフィードバックキャパシタ 1440 を有する CMUT 1400 を含む。図 14 の実装形態では、CMUT 1400 およびフィードバックキャパシタ 1440 の両方が、超音波システムのプローブ 1402 内に位置する。

30

#### 【0049】

典型的には、CMUT は、超音波エネルギーを効率的に放出および受信するために、プローブ表面の近傍のいずれかの場所に配置される必要がある。しかし、安全上の配慮から、プローブ表面近傍のいずれかの場所に高電圧を存在させるのは、望ましくない。したがって、図 14 の実装形態では、CMUT 1400 は、プローブ前面 1403 に位置する。しかし、フィードバックキャパシタ 1440 は、比較的高い電圧を維持するのに安全である、プローブ内の任意の場所に配置することができる。通常、フィードバックキャパシタ 1440 は、プローブの表面から遠くに配置することが好ましい。これらを考慮し、CMUT 1400 およびフィードバックキャパシタ 1440 を、別個の位置に配置することができ、CMUT 1400 は、プローブ 1402 の前面 1403 に配置し、フィードバックキャパシタ 1440 は、プローブ 1402 の内部等の、表面から絶縁される、高電圧に対して安全であるプローブ 1402 内の位置に配置することができる。この場合、前述のように、本明細書で開示される実装形態における、プローブ表面近傍にさらされる電圧 ( $V_A$ ) は、CMUT が通常動作において使用されるときには、全送電電圧 ( $V_{TX}$ ) よりもはるかに低い。

40

#### 【0050】

さらに、超音波システム 1501 の他の実装形態において、図 15 の例示的な実装形態に示すように、フィードバックキャパシタ 1540 は、CMUT 1500 から遠隔に位置することができ、かつ、高電圧に対して安全である超音波システム内のいずれかの場所に配置することができる。図 15 の実装形態では、本明細書で開示される実装形態に従う CMUT 1500 は、超音波プローブ 1502 内に位置する。フィードバックキャパシタ 1

50

540は、基盤ユニット1508等内の離れた位置に位置し、ケーブル1504等を介してCMUT1500と直列に接続される。本構成は、例えば、カテーテル、他のプローブ型デバイス、または類似の機器に組み込むために有用であり得る。図1～13を参照して説明した実装形態のうちのいずれも、図14および15のシステムに実装することができる。

#### 【0051】

前述のことから、本明細書で開示される実装形態は、同一変位を達成するために、通常動作中にCMUTによって必要とされるものよりも低い電圧で機能することができる、CMUTを提供することが明白になる。これは、超音波システムの一実装形態において、大きな電圧を利用することができないか、あるいは望ましくない時に有用である。例えば、人体に付着または挿入されたデバイスに対して使用できる高い電圧については、制限がある。さらに、本明細書で開示されるCMUTの実装形態は、2つの電極間に、はるかに小さい分離空間または離隔間隙を有することができる。また、より小さい電極間隙およびより低い所要電圧は、送信モードおよび受信モードの両方の間、CMUTの効率を高めることができる。

10

#### 【0052】

また、実装形態は、本明細書に記載されるCMUTを作製および使用するための、方法、システム、および装置にも関する。さらに、図14および15に示すシステム構成は、実装形態が提供され得る、純粹に例示的なシステムであり、実装形態が特定のハードウェア構成に限定されるものではないことに留意されたい。説明の中では、本開示の完全な理解を提供するために、説明目的で、多くの詳細について記載した。しかしながら、当業者には、これらの具体的な詳細の全てが必要とされるわけではないことが、明白となるであろう。

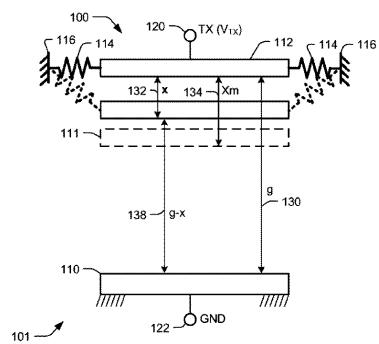
20

#### 【0053】

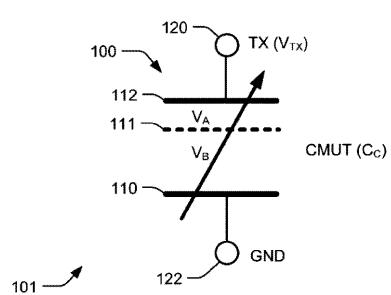
構造的特徴および/または方法論的行為に特定の文言で、主題について記載したが、添付の特許請求の範囲において定義される主題は、上記の特定の特徴または行為に限定されるものではないことを理解されたい。むしろ、上述の特定の特徴および行為は、特許請求の範囲を実装する例示的形態として開示される。さらに、当業者は、同一目的を達成すると算定されるいずれの配置も、開示される特定の実装形態と置き換え得ることを認識する。本開示は、開示される実装形態の全ての適合および変形を網羅することを意図し、以下の特許請求の範囲で使用される条件が、本明細書において開示される特定の実装形態に本特許を限定するものと解釈されるべきではないことを理解されたい。むしろ、本特許の範囲は、以下の特許請求の範囲が権利を付与されるあらゆる同等物とともに、かかる特許請求の範囲によってその全体が決定される。

30

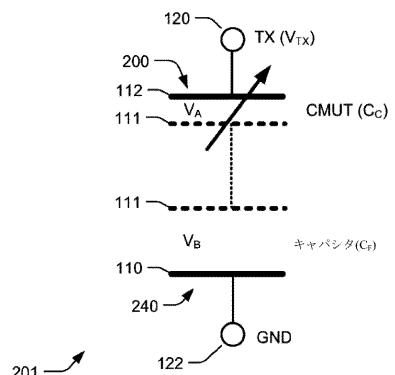
【図1A】



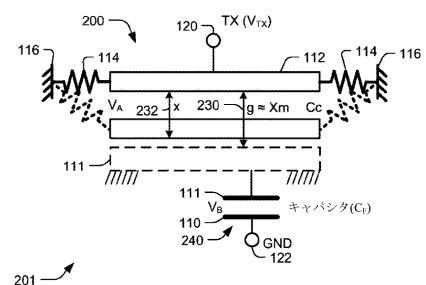
【図1B】



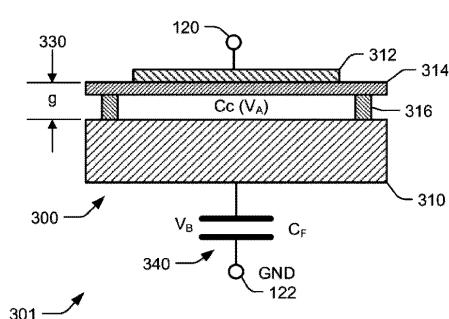
【図2A】



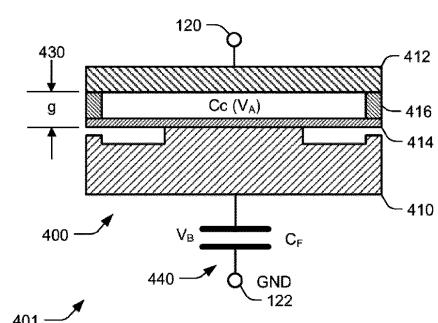
【図2B】



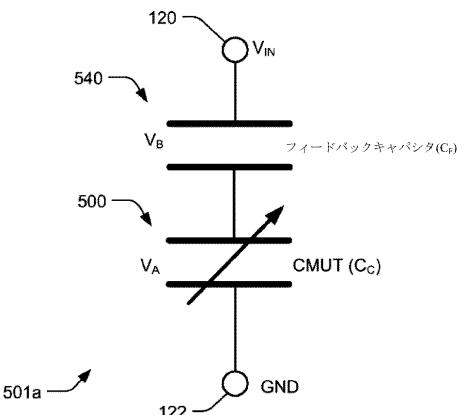
【図3】



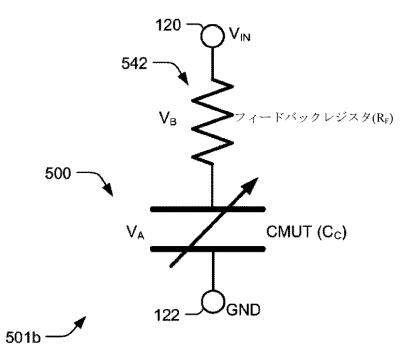
【図4】



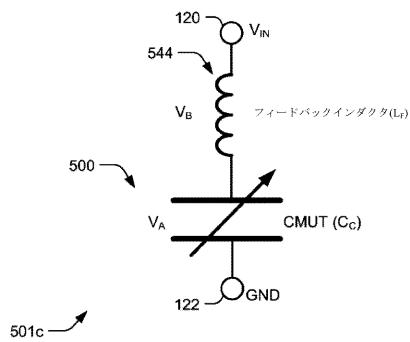
【図5A】



【図5B】

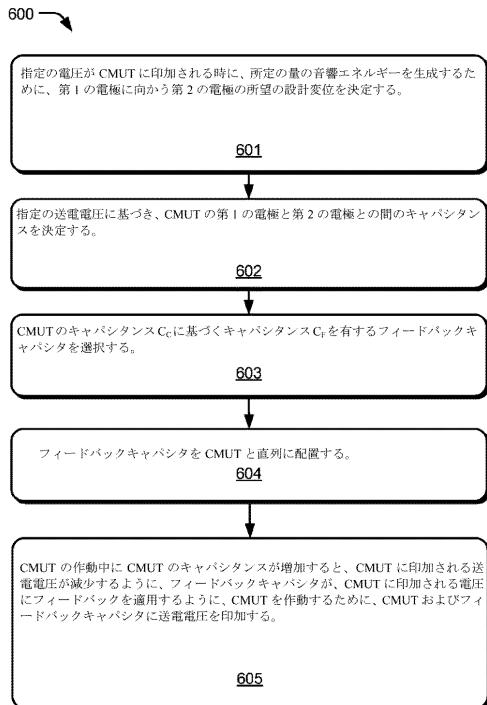


【図 5 C】

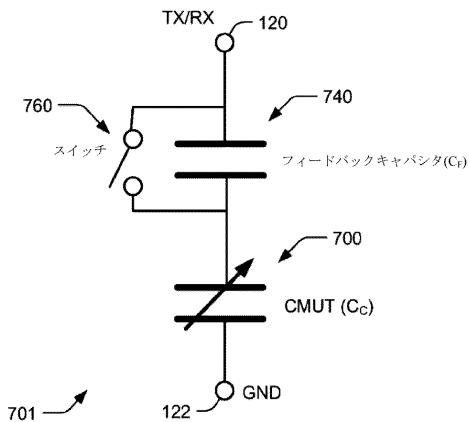


501c

【図 6】

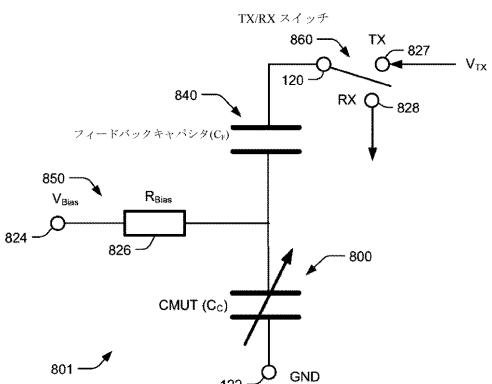


【図 7】



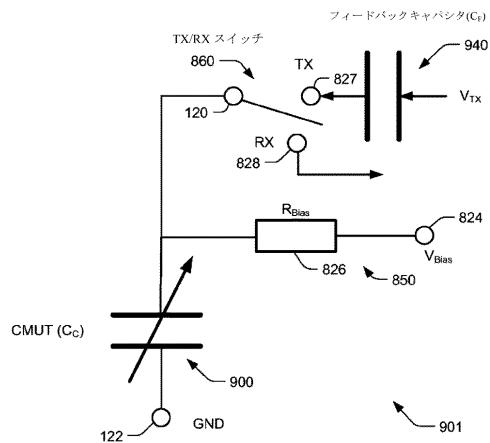
701

【図 8】

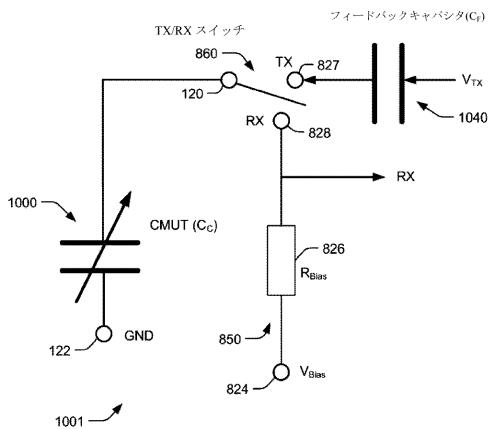


801

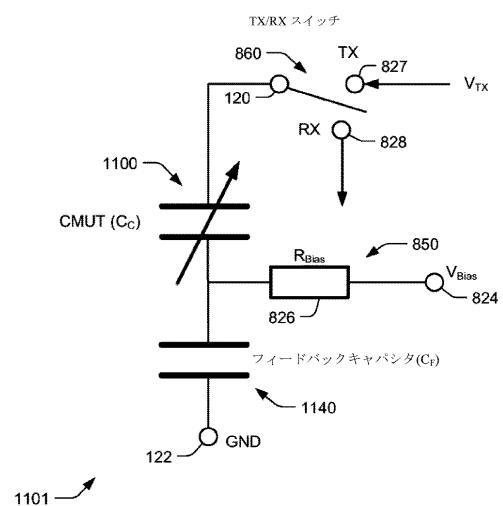
【図9】



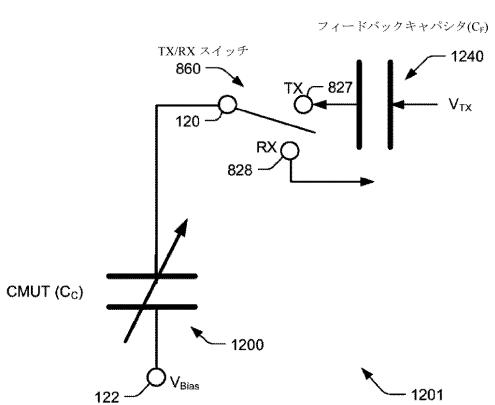
【図10】



【図11】

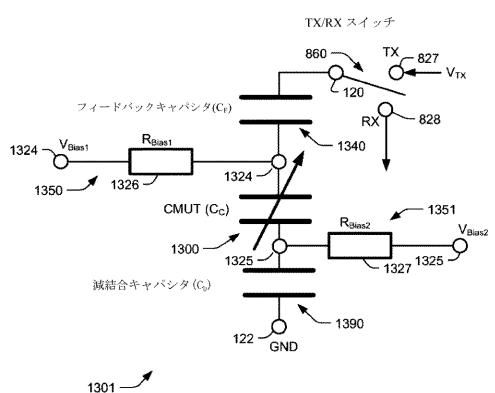


【図12】

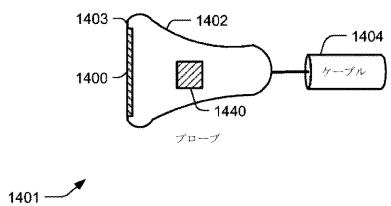


1101 →

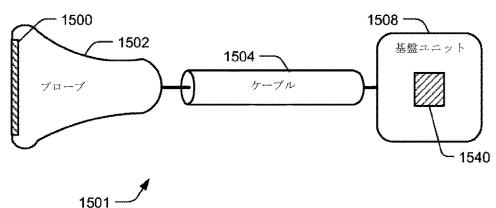
【図13】



【図14】



【図15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ヨンリ ファン  
アメリカ合衆国 95135 カリフォルニア州 サン ノゼ ブリタニー コート 3300

審査官 大野 弘

(56)参考文献 特開平10-186021(JP, A)  
特開昭62-149299(JP, A)  
特開2006-020313(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

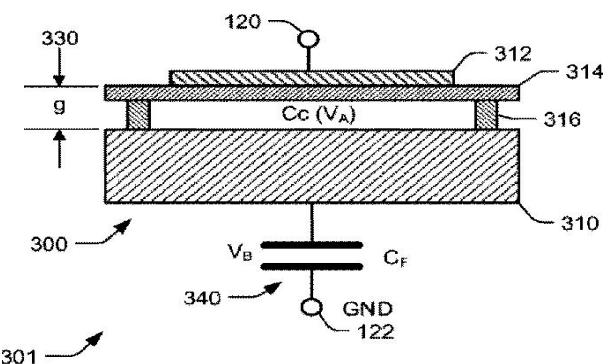
H04R 19/00  
A61B 8/00

专利名称(译)	具有电压反馈的电容微机械超声换能器		
公开(公告)号	<a href="#">JP5341909B2</a>	公开(公告)日	2013-11-13
申请号	JP2010536238	申请日	2008-12-03
[标]申请(专利权)人(译)	科隆科技公司		
申请(专利权)人(译)	辊技术公司		
当前申请(专利权)人(译)	辊技术公司		
[标]发明人	ヨンリファン		
发明人	ヨンリファン		
IPC分类号	H04R19/00 A61B8/00		
CPC分类号	B06B1/0207		
FI分类号	H04R19/00.330 A61B8/00		
代理人(译)	谷义 滨笃 安倍晋三和夫		
审查员(译)	大野 弘		
优先权	60/992027 2007-12-03 US		
其他公开文献	JP2011505766A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

## 摘要(译)

电容微机械超声换能器 ( CMUT ) 的实现包括与CMUT串联连接的反馈组件。反馈组件对施加在CMUT上的电压施加反馈，以在CMUT的致动期间随着CMUT的电容改变而影响施加在CMUT上的电压。

## 【図3】



## 【図4】