

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5525674号
(P5525674)

(45) 発行日 平成26年6月18日 (2014. 6. 18)

(24) 登録日 平成26年4月18日 (2014. 4. 18)

(51) Int. Cl.

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 8/00

請求項の数 3 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2005-302672 (P2005-302672)
 (22) 出願日 平成17年10月18日 (2005. 10. 18)
 (65) 公開番号 特開2006-175208 (P2006-175208A)
 (43) 公開日 平成18年7月6日 (2006. 7. 6)
 審査請求日 平成20年10月16日 (2008. 10. 16)
 (31) 優先権主張番号 11/018, 238
 (32) 優先日 平成16年12月21日 (2004. 12. 21)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

前置審査

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100113974
 弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 チャネル数を低減するための再構成可能なリニアセンサアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の焦点ゾーンに超音波ビームを送信し、調査対象からの反射ビームを受信する超音波トランスデューササブエレメント (3 2) のリニアアレイと、
 選択的にオンにされたときに、超音波トランスデューササブエレメント同士を選択的に電気的に結合して、それぞれがアパーチャに対応する複数の超音波トランスデューサエレメントを形成するように配置された、多数のマトリックススイッチ (3 6) と、
 実質的に前記リニアアレイと平行に伸びている、多数の導電性アクセス線 (3 4) と、
 選択的にオンにされたときに、超音波トランスデューササブエレメントとアクセス線とを選択的に電気的に結合するように配置された、多数のアクセススイッチ (3 0) と、
 多数のシステムチャネル (5 8) と、
 マルチプレクサ (2 8) であって、前記各アクセス線が前記マルチプレクサを介して、それぞれの、前記システムチャネルの 1 つに電気的に結合される状態を有するマルチプレクサ (2 8) と、
 前記アクセススイッチの 1 つの状態と、それぞれの、前記マトリックススイッチの 1 つの状態とを制御して、前記複数の超音波トランスデューサエレメントのサイズおよび隣接する超音波トランスデューサエレメントの間隔を前記複数の焦点ゾーンの焦点深度の関数として動的に変化させる手段と、
 を備え、
 前記動的な変化は、各チャネルの最大遅延誤差が等しくなるようにアパーチャを分割する

10

20

ことを含み、

前記各超音波トランスデューササブエレメント（３２）が、それぞれの多数の電氣的に接続された、スイッチによる接続解除ができないＣＭＵＴセルを含むシステム。

【請求項２】

多数のスイッチ状態制御回路であって、前記各スイッチ状態制御回路が、それぞれの、前記アクセススイッチの１つの状態と、それぞれの、前記マトリックススイッチの１つの状態とを制御する、多数のスイッチ状態制御回路と

選択されたスイッチ構成に従って前記スイッチ状態制御回路をプログラムするために電氣的に接続されたプログラミング回路とを含む、請求項１記載のシステム。

【請求項３】

第１の時間間隔の間に、センササブエレメントがアクセス線に結合されて、第１の受信アパーチャを構成する、センサエレメントの第１のセットが形成され、前記第１の時間間隔に続く第２の時間間隔の間に、センササブエレメントがアクセス線に結合されて、前記第１の受信アパーチャと異なる第２の受信アパーチャを構成する、センサエレメントの第２のセットが形成されるように、前記プログラミング回路が前記スイッチ状態制御回路をプログラミングする、請求項２記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、主に、センサ（たとえば、光センサ、温度センサ、圧力センサ、超音波センサ）の再構成可能なアレイに関する。特に、本発明は、再構成可能な、マイクロマシニング加工を施された超音波トランスデューサ（micromachined ultrasonic transducer）（ＭＵＴ）アレイに関する。ＭＵＴならではの応用の１つが、医療診断用超音波撮像システムである。他の適した応用例として、鋳造物、鍛造物、管路などの材料の被破壊評価（ＮＤＥ）がある。

【背景技術】

【０００２】

従来の超音波撮像システムは、超音波ビームを送信し、調査対象からの反射ビームを受信するために用いられる超音波トランスデューサのアレイを備える。そのような走査は一連の測定からなり、そこでは、合焦された超音波が送信され、短い時間間隔の後にシステムが受信モードに切り替わり、反射された超音波が受信され、ビーム形成され、表示のために処理される。通常は、各測定の間、送信と受信とが同じ方向に合焦され、それによって、音響ビームまたは走査線に沿う一連のポイントからデータが得られる。受信機は、反射された超音波が受信される際に、走査線に沿って連続的に再合焦される。

【０００３】

超音波撮像の場合、通常、アレイは多数のトランスデューサを有し、それらのトランスデューサは、１つまたは複数の列に並べられ、送信時に別々の電圧で駆動される。印加される電圧の時間遅延（または位相）と振幅とを選択して、所与の列の個々のトランスデューサを制御することによって、それぞれから超音波を発生させ、それらをまとめて最終的な１つの超音波を形成し、それを好ましいベクトル方向に伝搬させ、そのビームに沿う選択されたゾーンに合焦させることが可能である。

【０００４】

受信モードで、トランスデューサプローブを用いて反射音を受信する場合にも、同じ原理が当てはまる。受信トランスデューサで発生した電圧が合算され、対象の単一焦点ゾーンから反射された超音波を表す最終的な信号になる。送信モードの場合と同様に、この、超音波エネルギーの合焦された受信は、各受信トランスデューサからの信号に別々の時間遅延（および／または位相シフト）および利得を与えることによって達成される。この時間遅延は、返信信号の深度を増やして受信時の動的合焦（dynamic focusing）が可能になるように調整される。

【 0 0 0 5 】

形成される画像の画質あるいは分解能は、部分的には、それぞれがトランスデューサアレイの送信アパーチャおよび受信アパーチャに寄与するトランスデューサの個数の関数である。したがって、二次元および三次元の撮像用途において高画質を達成するには、多数のトランスデューサが必要である。超音波トランスデューサは、一般に、柔軟なケーブルで電子回路ユニットと接続されたハンドヘルドトランスデューサプローブに内蔵され、この電子回路ユニットがトランスデューサ信号を処理して超音波画像を生成する。トランスデューサプローブは、超音波送信回路と超音波受信回路の両方を有することが可能である。

【 0 0 0 6 】

10

再構成可能な超音波アレイは、サブエレメントのグループを動的に相互接続して、波面形状と一致するエレメント形状が得られるようにすることが可能な超音波アレイである。これは、性能の向上および/またはチャネル数の低減につながる可能性がある。再構成可能性は、スイッチングネットワークを用いて達成可能である。

【 0 0 0 7 】

MUTの1つの利点は、「マイクロマシニング」という表題の下に分類されるマイクロファブリケーションプロセスなどの半導体ファブリケーションプロセスを用いて製造できることである。米国特許第6,359,367号で説明されているように、

【 0 0 0 8 】

マイクロマシニングは、(A)パターン形成ツール(一般にはプロジェクションアライナやウェハステッパなどのリソグラフィ)と、(B)PVD(物理気相成長法)、CVD(化学気相成長法)、LPCVD(減圧化学気相成長法)、PECVD(プラズマ化学気相成長法)などの成長ツールと、(C)ウェット化学エッチング、プラズマエッチング、イオンミリング、スパッタエッチング、レーザエッチングなどのエッチングツールとの組み合わせまたは一部を用いて微細構造を形成することである。一般にマイクロマシニングは、シリコン、ガラス、サファイア、またはセラミックでできた基板またはウェハの上で実施される。そのような基板またはウェハは、一般に、非常に平坦かつなめらかであり、インチ単位の横方向寸法(lateral dimensions)を有する。それらの基板またはウェハは、プロセスツール間を移動する際に、グループとしてカセット単位で処理されるのが普通である。各基板には、多数の製品が(必須ではないが)有利に組み込まれる。マイクロマシニングには2つの一般的なタイプがある。1)ウェハまたは基板の厚みの、大きな部分が彫刻されるバルクマイクロマシニングと、2)彫刻が一般に表面(特に表面上の成長薄膜: thin

20

30

deposited films)に限定されるサーフェスマイクロマシニングである。本明細書で用いられるマイクロマシニングの定義は、従来または既知のマイクロマシニング加工可能な材料を使用することを含み、そのような材料として、シリコン、サファイア、すべてのタイプのガラス材料、ポリマ(ポリイミドなど)、ポリシリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、アルミニウム合金、銅合金、タングステンなどの薄膜金属、スピノングラス(SOG)、埋込型ドーパントまたは拡散ドーパント、シリコン酸化物やシリコン窒化物などの成長膜などがある。

40

【 0 0 0 9 】

本明細書でも、マイクロマシニングの同じ定義を採用する。そのようなマイクロマシニングプロセスから得られるシステムは、一般に「マイクロマシニング加工を施された電気機械的システム(micromachined electro-mechanical systems)(MEMS)」と呼ばれる。

【 0 0 1 0 】

通常、cMUTは、その全体にわたって引き伸ばされたメンブレンを有する六角形構造を有する。このメンブレンは、印加されたバイアス電圧によって基板表面のそばで保持される。既にバイアスされているcMUTに振動信号を加えることによって、メンブレンを振動させ、それによって、音響エネルギーを放射させることが可能である。同様に、メン

50

ブレンで音響波が発生した場合は、結果として得られる振動が c M U T で電圧変化として検出されることが可能である。c M U T セルは、これらの六角形の「ドラム」構造物の 1 つを表すために用いられる用語である。c M U T セルは、非常に小さな構造物であることが可能である。代表的なセルのサイズは、六角形における平坦エッジから平坦エッジまでが 25 ~ 50 ミクロンである。セルのサイズは、意図された音響応答によって、様々に決定される。必要な周波数応答および感度の点で良好に動作する、より大きなセルを作成するのは不可能なことがある。

【 0 0 1 1 】

そのような小さなセルの個別制御を可能にする電子回路を作成するのは困難である。アレイ全体の音響性能の点では、セルのサイズが小さいことは有利であり、高い柔軟性につながるが、制御はより大きな構造物に限定される。複数のセルをグループにまとめ、それらのセルを電氣的に接続することにより、所望の音響応答を確保しながら個別制御が可能で、より大きなサブエレメントを作成することが可能になる。したがって、サブエレメントは、再構成が不可能な、電氣的に接続されたセルのグループである。本開示の目的の場合、このサブエレメントは、単独で制御される最小音響単位である。サブエレメントをスイッチングネットワークで相互接続することによってエレメントを形成できる。このエレメントは、スイッチングネットワークの状態を変化させることによって再構成可能である。しかしながら、サブエレメントに含まれる接続されたセルは、スイッチングによる接続解除ができず、したがって再構成が不可能である。

【 0 0 1 2 】

超音波システムの昨今の動向は、より小さく、より可搬性にすぐれた装置に向いている。おそらく、いつかは、手のひらサイズの小型超音波システムが、医師の標準装備として、聴診器に取って代わるであろう。そのような小型超音波システムを実現するためには、ビーム形成チャンネルの数を減らすことが必須である。基本的な課題は、システムチャンネルの数を減らしながらも適切なビーム形成性能（分解能およびコントラスト）を確保することである。分解能を確保するためには、アパーチャを小さくすることはできない。これは、標準的なアレイでは、チャンネル数を増やしてアパーチャのサイズを大きくするか、チャンネル間隔を広げることが必要であることを意味する。標準的なアレイの場合、チャンネル間隔を粗いステップ（おおよそ 1 波長）でしか広げることができない。アレイ全体にわたってステップサイズを均一に大きくすると、グレーティングローブが生じ、これは好ましくない。

【 0 0 1 3 】

現在の超音波リニアアレイブローブはすべて、ピッチが一定である。チャンネル数を減らすことは、アパーチャを断念するか、グレーティングローブを容認することになる。グレーティングローブを発生させずにチャンネル数を減らす 1 つの方法は、ビームフォーマフォルディング (beamformer folding) である。リニアアレイの場合は、ビーム中心の両側の遅延が対称的である。これは、それらの対称的なエレメントを同じシステムチャンネルに接続する多重化方式が可能であれば、チャンネル数を約半分に減らせることを意味する。しかしながら、このような多重化方式は、システムチャンネルの数が多い場合には非常に複雑になる可能性がある。また、現在ある多重化方式は、位置が固定されている比較的大きなサイズのエレメントに限定されているので、完全な再構成可能性を提供することができない。チャンネル数を増やすために用いることのできる別の方法は、合成アパーチャ方式を用いることである。この場合は、複数回の送信にわたって、より大きなアパーチャが形成される。これは、チャンネル数の大幅な低減につながるが、複数回の放射が必要であることから、信号対雑音比が悪化し、フレームレートが低下する。さらに、振動が合成アパーチャイメージに歪みをもたらす可能性がある。

【 0 0 1 4 】

アパーチャサイズを確保し、グレーティングローブを発生させずに、チャンネル数を減らしたシステムが必要である。

【特許文献 1】米国特許第 6, 359, 367 号

10

20

30

40

50

【特許文献2】米国特許第6,571,445号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

本発明は、マイクロマシニング加工が施されたセンサ（たとえば、光センサ、温度センサ、圧力センサ、超音波センサ）の再構成可能なりニアレイを提供することを目的とする。この再構成可能性により、センサエレメントのサイズおよび間隔を、ビーム中心からの距離の関数にすることが可能になる。この特徴により、チャンネル数が限定された撮像システムの性能が向上する。この性能の向上は、複数の送信焦点ゾーンが用いられる用途では、特定の深度に対してアパーチャを調整できることによってもたらされる。

10

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の一態様は装置であって、この装置は、列を形成する線に沿って隣り合って配置された多数のセンササブエレメント（各センササブエレメントはそれぞれ、ほぼ長方形の領域を占める、マイクロマシニング加工が施された電気機械デバイスを多数含み、マイクロマシニング加工が施された電気機械デバイスのそれぞれは、それぞれの電極を含み、任意の特定のセンササブエレメントを構成する、マイクロマシニング加工が施された電気機械デバイスの電極は、電氣的に相互接続されていて、スイッチングによる接続解除ができない）と、多数の導電性アクセス線と、多数のアクセススイッチ（各アクセススイッチは、オンにされたときに、それぞれの、センササブエレメントの1つと、アクセス線の1つとを電氣的に接続する）と、多数のマトリックススイッチ（各マトリックススイッチは、オンにされたときに、それぞれの、センササブエレメントの1つと、それぞれの隣接する、センササブエレメントの1つとを電氣的に接続する）と、多数のスイッチ状態制御回路（各スイッチ状態制御回路は、それぞれの、アクセススイッチの1つの状態と、それぞれの、マトリックススイッチの1つの状態とを制御する）と、それぞれのアパーチャに対応する、選択されたスイッチ構成に従ってスイッチ状態制御回路をプログラミングするために電氣的に接続されたプログラミング回路とを備える。

20

【0017】

本発明の別の態様はデバイスであって、このデバイスは、第1の層において、列を形成する線に沿って隣り合って配置された多数の、ほぼ長方形の、マイクロマシニング加工を施されたセンササブエレメントと、第1の層に対して固定され、第1の層の基盤をなす第2の層において、列を形成する線に沿って隣り合って配置された多数のインターフェース電子回路セル（各インターフェース電子回路セルは、それぞれのセンササブエレメントの基盤をなす）と多数の電氣的接続（各電氣的接続は、それぞれの、インターフェース電子回路セルの1つと、それぞれの、センササブエレメントの1つとを電氣的に接続する）と多数の導電性アクセス線とを含み、各単位電子回路セルは、オンにされたときに、それぞれの、センササブエレメントの1つと、アクセス線の1つとを電氣的に接続するアクセススイッチと、オンにされたときに、それぞれのセンササブエレメントと、それぞれの隣接する、センササブエレメントの1つとを電氣的に接続するマトリックススイッチと、アクセススイッチの状態とマトリックススイッチの状態とを制御するスイッチ状態制御回路とを含む。

30

40

【0018】

本発明のさらなる態様はシステムであって、このシステムは、それぞれがほぼ長方形のアクティブ領域を有する超音波トランスデューササブエレメントのリニアアレイと、選択的にオンにされたときに、超音波トランスデューササブエレメント同士を選択的に電氣的に結合して超音波トランスデューサエレメントを形成するように配置された、多数のマトリックススイッチと、実質的にリニアアレイと平行に伸びている、多数の導電性アクセス線と、選択的にオンにされたときに、超音波トランスデューササブエレメントとアクセス線とを選択的に電氣的に結合するように配置された、多数のアクセススイッチと、多数のシステムチャンネルと、各アクセス線がマルチプレクサを介して、それぞれの、システムチ

50

チャンネルの１つに電氣的に結合される状態を有するマルチプレクサとを備え、各超音波トランスデューササブエレメントは、それぞれの多数の電氣的に接続された、スイッチによる接続解除ができないcMUTセルを含む。

【0019】

本発明のさらに別の態様はシステムであって、このシステムは、それぞれがほぼ長方形のアクティブ領域を有する超音波トランスデューササブエレメントのリニアアレイと、多数のアクセス線と、スイッチングネットワークとを備え、このスイッチングネットワークは、選択された超音波トランスデューササブエレメント同士を電氣的に接続して超音波トランスデューサエレメントを形成する、第１のスイッチセットと、その超音波トランスデューサエレメントを、選択されたアクセス線と電氣的に結合する、第２のスイッチセットとを含み、第１および第２のスイッチセットは、アパーチャを形成するスイッチング構成に従って設定され、アパーチャを構成する超音波トランスデューサエレメントのピッチおよび幅は、リニアアレイ全体にわたって一様でない。

【0020】

本発明の他の態様は、明細書のこの後の部分で開示され、添付の特許請求項に記載される。

【0021】

以下、添付図面を参照していくが、異なる図面において類似する要素には同じ参照符号が付されている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明は、センサが連結されたリニアアレイのサイズおよび間隔を、ビーム中心からの距離の関数として変化させるために利用できる、再構成可能なスイッチングマトリックスを提供することを目的とする。ここでは、例示のために、この再構成可能なリニアアレイを、マイクロマシニング加工が施された容量性超音波トランスデューサ(capacitive micromachined ultrasonic transducers)(cMUT)を参照して説明する。しかしながら、本明細書で開示される発明の態様は、cMUTを用いるプローブだけに用途が限定されるのではなく、pMUTを用いるプローブにも適用可能であることを理解されたい。本発明の同じ態様は、マイクロマシニング加工が施された光センサ、温度センサ、または圧力センサの再構成可能なアレイにも当てはまる。

【0023】

図１は、代表的なcMUTトランスデューサセル２の断面図である。そのようなcMUTトランスデューサセルのアレイは、一般に、高濃度にドーピングされたシリコン(ゆえに半導性)ウェハなどの基板４の上で組み立てられる。各cMUTトランスデューサセルにおいて、シリコン窒化物で作成可能な薄いメンブレンまたはダイアフラム８が、基板４の上方につり下げられる。メンブレン８は、その周辺部が、シリコン窒化物またはシリコン窒化物によって作成可能な絶縁支持体６によって支持される。メンブレン８と基板４との間のキャビティ１４は、空気またはガスで満たされていても、全体的または部分的に真空であってもよい。一般に、cMUTは、プロセスで可能な限り真空にされている。アルミニウム合金または他の好適な導電性材料の薄膜で電極１２がメンブレン８の上に形成され、導電性材料で作成された別の薄膜で電極１０が基板４の上に形成される。あるいは、下側の電極は、半導性基板４を適切にドーピングすることによって形成されることも可能である。

【0024】

２つの電極１０および１２は、キャビティ１４によって隔てられ、静電容量を形成する。メンブレン８に音響信号が当たってメンブレン８が振動すると、関連付けられた電子回路(図１に図示せず)によって静電容量の変動が検出され、それによって、音響信号が電気信号に変換されることが可能である。逆に、一方の電極にＡＣ信号が印加されると、電極の電荷が変調され、それによって電極間の静電力が変調され、それによってダイアフラムが動き、それによって音響信号が送信される。

【 0 0 2 5 】

個々のセルの周辺部の形状は、円形でも、長方形でも、六角形でも、それ以外でもよい。形状を六角形にすると、トランスデューササブエレメントのc M U Tセルを高密度に詰め込むことが可能である。これらのc M U Tセルを様々な寸法にして、トランスデューサのサブエレメントが様々なセルサイズの合成特性を有し、トランスデューサの特性が広帯域になるようにすることが可能である。

【 0 0 2 6 】

しかしながら、そのような小さなセルの個別制御を可能にする電子回路を作成するのは困難である。アレイ全体の音響性能の点では、セルのサイズが小さいことは有利であり、高い柔軟性につながるが、制御はより大きな構造物に限定される。複数のセルをグループにまとめ、それらのセルを電氣的に接続することにより、所望の音響応答を確保しながら個別制御が可能な、より大きなサブエレメントを作成することが可能になる。サブエレメントをスイッチングネットワークで相互接続することによってリングまたはエレメントを形成できる。このエレメントは、スイッチングネットワークの状態を変化させることによって再構成可能である。しかしながら、個々のサブエレメントを再構成して別のサブエレメントを形成することはできない。

【 0 0 2 7 】

米国特許第 6 , 5 7 1 , 4 4 5 号で開示されている製造方法を用いて、M U Tセルをマイクロマシニングプロセスにおいて相互接続し、サブエレメントを形成することが可能である。したがって、M U Tセルは、スイッチングを介在させずに接続される（すなわち、M U Tセルは相互接続をスイッチングによって解除することができない）。以下では、そのようなかたまりを「音響サブエレメント」という用語で表す。これらの音響サブエレメントは超小型電子スイッチによって相互接続され、そのようなスイッチをシリコン膜内またはトランスデューサアレイのすぐ隣りに位置する別の基板上に配置することによって、より大きなエレメントが形成される。

【 0 0 2 8 】

本明細書で用いられているように、「音響サブエレメント」という用語は、再構成が不可能な単一セルまたは電氣的に接続されたセルのグループを意味する。すなわち、このサブエレメントは、単独で制御される最小音響単位である。「サブエレメント」という用語は、音響サブエレメントと、それに関連付けられた組み込み電子回路とを意味する。「エレメント」は、サブエレメントをスイッチングネットワークで相互接続することによって形成される。このエレメントは、スイッチングネットワークの状態を変化させることによって再構成可能である。スイッチングネットワークに含まれるスイッチの少なくともいくつかは、後で詳述するように、「関連付けられた組み込み電子回路」の一部である。

【 0 0 2 9 】

米国特許出願第 1 0 / 3 8 3 , 9 9 0 号で開示されているように、トランスデューササブエレメントは、六角形のc M U Tセルのグループを相互接続することによって形成可能である。サブエレメントの各c M U Tセルの上側の電極同士は、スイッチングによる接続解除ができない接続で電氣的に相互結合されている。六角形のアレイの場合は、上側の電極から外側に6個の導体が放射状に広がり（図示せず）、それぞれが隣のc M U Tセルの上側の電極と接続されている（周辺部のセルは例外であって、それらは、6個ではなく3個の他のセルと接続されている）。同様に、サブエレメントの各セルの上側の電極同士は、スイッチングによる接続解除ができない接続で電氣的に相互結合されている。図2は、5列のセル2を有する1つのサブエレメント16の一部を示している。この列は、そのサブエレメントのサイズを埋め尽くすまで広がっている。これ以外に、5列より多い列または少ない列のc M U Tセルを含むサブエレメントを有するリニアアレイも構成可能である。

【 0 0 3 0 】

図3は、c M U Tセルで構成されたエレメントのリニアアレイの構造を大まかに示したものである。この例では、マイクロマシニング技術により、多数のc M U TセルがC M O

10

20

30

40

50

Sウェハ18上に作成されている。cMUTセルは、方位角方向に並べられた超音波トランスデューサエレメント20の1つの列を形成するように並べられ、各エレメント20はほぼ長方形の領域を占め、それらのエレメントが隣り合って並べられている。各エレメント20のcMUTセルは、平行に接続されている。各エレメント20は、100~1000個の(すなわち、所与のサブエレメントのサイズを埋めるのに必要な任意の数の)cMUTセルを含むことができる。たとえば、サブエレメントは、各列が約100個のセルを有し、ほぼ高さ方向に並ぶように、6列に並べられた多数の六角形セルを含むことができる。サブエレメントのcMUTセルは、すべてが一緒に共振して、超音波を発生する。これらのサブエレメントが、サイズおよび間隔が変化するトランスデューサエレメントを形成するように、スイッチングによって接続されることが可能である。

10

【0031】

1.5次元のトランスデューサアレイを実現するために、図3に破線で示されるように、ほぼ長方形の各領域を、ほぼ長方形の3つのサブ領域22、24、および26に分割することが可能である。サブ領域22および26の長さはほぼ同じであり、これらは中央のサブ領域24より(必須ではないが)一般に短い。この代替実施形態によれば、サブ領域22内のcMUTセルは相互接続されていて、スイッチングによる接続解除が不可能であり、サブ領域24内のcMUTセルは相互接続されていて、スイッチングによる接続解除が不可能であり、サブ領域26内のcMUTセルは相互接続されていて、スイッチングによる接続解除が不可能であるため、各列に3つのサブエレメントが形成される。この場合、サブ領域22および26のcMUTセルは、送信中は同時にアクティブ化されることが

20

【0032】

当然ながら、先述の考え方は、4列以上のトランスデューサエレメントを有するプローブを作成する場合にも当てはまる。

【0033】

本明細書で開示される発明は、再構成可能性を、チャネル数を低減する手段として活用しようとするものである。再構成可能性は、様々な意味を持ちうる。完全に再構成可能なアレイは、2次元アレイの任意のサブエレメントを任意のシステムチャネルに接続できる。基になる2次元アレイは、現在のトランスデューサアレイと等価な全次元を有するか、現在のアレイより大きな高さ次元を有することが可能である。また、再構成可能であることは、この、サブエレメントからシステムチャネルへのマッピングが動的に変更可能であることも意味する。たとえば、アレイを、画像内でビームごとに、または焦点深度ごとに再構成することが可能である。あるいは、送信と受信とで異なる構成にすることが可能である。この技術をさらに拡張すれば、構成を、受信中の深度の関数として連続的に変化させることも可能であろう。実際には、再構成可能性を実現することは困難な場合があり、そのような受信中の動的な再起動可能性の実現は特にそうである。したがって、再構成可能性がより制限される場合を取り扱うのが好ましいであろう。

30

【0034】

図4は、リニアトランスデューサアレイの深度の増加に対してアパーチャの端から端までの遅延プロファイルが変化する様子を示している。近距離場では(すなわち、浅い深度では)、アパーチャの中心から外側に(エッジに向かって)動くときに遅延が急激に変化する。深度が増えるにつれ、遅延プロファイルは平坦になり、アパーチャの中心からエッジまでの変化がよりゆるやかになる(すなわち、変化が小さくなる)。

40

【0035】

図5は、増加する深度の関数として、完全に動的な再構成可能アパーチャが大きくなる様子を示している。ここでは、再構成可能性が、方位角方向だけに制限されている。中央の2本の線は、中央エレメントの境界を表している。エレメントは5個ごとに示されている。このタイプの再構成可能性は最も有利である。近距離場では、アパーチャがより小さいにもかかわらず、すべてのチャネルが使用可能であり、対称的に、遅延誤差が大きいチャネルが単純にオフになるからである。エレメントは、深度が増えるほど広がる。再構成

50

可能性は、深度が増えるにつれて遅延プロファイルが平坦になるという事実を利用する。これは、深度が大きいくほど、エレメント全体の遅延誤差が増えることなく、個々のエレメントのサイズを大きくできることを意味する。再構成可能性がない場合、エレメントのサイズは、最も浅い撮像深度に対して必要な、アパーチャの外側エッジでのサンプリングによって決まる。これは、エレメント全体の遅延誤差を同じにするために、はるかに多くのチャンネルが必要になることを意味する。ただし、アレイがエレメントのサイズおよびピッチを動的に変化させることができれば、深度に依存する遅延の曲線を利用するように、アレイを構成することが可能である。

【0036】

リニアアレイの再構成可能性を理想的に実現できれば、深度の関数として動的に変化する構成が可能になる。この再構成可能性は、多くの不連続なステップで実現される。このタイプの再構成可能性は、ほとんどノイズのない、構成間の非常に高速な切り替えを必要とする。特殊化された、アナログとデジタルの混成回路が必要であろう。

【0037】

スイッチ状態の高速、低電力、低雑音の再構成を可能にするために、列に対してすべての深度の構成のローカルバッファリングを行うことができよう。たとえば、各列に対して最大10個の異なる深度ゾーンが必要な、再構成可能な一体型のリニアスイッチングアレイの場合は、アレイ内のスイッチごとに、10個のローカルバッファが同じチップに組み込まれる。所与の列が撮像される前に、そのスイッチの10個のバッファのすべてがロードされる。そして、列の撮像中に、深度の移行のたびに、それぞれのバッファからのデータが当該スイッチに対して選択される。

【0038】

共用基板と入力パッドとを經由して、敏感なアナログ回路にデジタルノイズがカブリングされる。データをローカルに保管すると、この作用によるノイズカブリングが低減される。さらに、この手法は、ローカルにバッファリングされたデータが、プローブを制御する電子回路や、ましてやシステムの電子回路からの距離ではなく、チップ上の短い距離を伝送されるだけなので、電力の節約と移行の高速化につながる。深度によって構成が変わるごとに、変化するスイッチだけを再プログラミングすることにより、さらなる節約が実現できる。

【0039】

低電力システムで用いられる再構成可能なリニアアレイの場合は、あるアパーチャから次のアパーチャに移るときに変化するスイッチの数が最小限であることが好ましい。このスイッチの変化の数は、エレメントごとに、それぞれの制御回路の中にローカルメモリを保持することによって、最小限にすることが可能である。撮像シーケンスの開始時には、初期パターンがエレメントに書き込まれる。図6は、深度の増加とともに、大きくなり、再構成されるアパーチャを示している。陰影をつけた領域は、それぞれのアクセススイッチを介してシステムチャンネルに接続されているアレイエレメントを表す。図6に示されたパターンが大きくなるにつれ、チャンネルマッピングが中央から外側にシフトし、送信状態になるたびにやや大きくなる。このパターン変化は、既存のパターンを外側に（アレイの左半分は左に、右半分は右に）シフトし、同時に、パターンが大きくなるにつれてパターンを調整するために再プログラミングが必要になるアクセススイッチおよびマトリックススイッチだけを再プログラミングすることによって、効率的に達成されることが可能である。ノイズ性能を高めるために、スイッチ状態をバッファリングすることが可能であり、それによって、次の状態の調整が、使用可能なプログラミング時間いっぱいまで広がる。

【0040】

代替実施態様は、受信時の再構成可能性を可能にしないが、その代わりに、場の深度を複数の焦点ゾーンに分割する。この実施態様は、ゾーンごとに異なる送信および受信のサイクルが必要になるので、フレームレートが問題にならないケースか、撮像深度が大きいケースに限定されよう。ゾーンごとに、その特定の焦点ゾーンに対してエレメントのサイズおよび分布を最適化しようとする新しい構成が生成される。この複数ゾーン方式は

10

20

30

40

50

、単一受信の深度に沿って再構成を可能にする方法で再構成可能性を実装しなくても近距離場内のすべてのチャンネルを用いることができる点で有利である。図6は、特定のゾーンに対して、または、より動的な方法で、深度に対してエレメントが再編成される様子を示している。

【0041】

図7に示すように、エレメントの幅は、(図7に示されていない)マトリックススイッチで相互接続されている、隣接する音響サブエレメントの数で決まる。エレメントの位置は、どの隣接する音響サブエレメントが相互接続されているかで決まる。図7に示されたアパーチャは、隣接する3つの音響サブエレメントを相互接続して形成されたエレメント40と、接続解除された2つの音響サブエレメントによってエレメント40から分離され、隣接する2つの音響サブエレメントを相互接続して形成されたエレメント42と、接続解除された1つの音響サブエレメント48によってエレメント42から分離され、隣接する2つの音響サブエレメント44を相互接続して形成されたエレメント46と、その他を含む。

【0042】

1次元アレイの場合は、任意またはいくつかのシステムチャンネルと選択的に接続されることが可能なMUTセルの非常に薄い列を有する場合に、サイズおよび形状の再構成可能性を有することが可能である。各列は、それぞれの音響サブエレメントを形成する、それぞれ多数の相互接続された(相互接続をスイッチングによって解除することができない)MUTセルを含む。(特定のシステムチャンネルに接続されている1つまたは複数の音響サブエレメントとして定義される)各エレメントは、適切な音響サブエレメント(すなわち、MUTセルの列)を相互接続し、システムチャンネルをその、接続されている音響サブエレメントのグループに接続することによって形成される。

【0043】

本発明の一実施形態によるリニアアレイのトランスデューサエレメントの列の一部を図8に示す。アレイの各エレメントは、それぞれの音響サブエレメントとそれぞれのスイッチングネットワークとを含む。そのスイッチングネットワークは、関連付けられた音響サブエレメントをアクセス線に接続するアクセススイッチと、関連付けられた音響サブエレメントを、隣接する音響サブエレメントに接続するマトリックススイッチとを含む。図8は、3つの音響サブエレメント32a、32b、および32c(それぞれはそれぞれの相互接続されたMUTセルの列を含む)を示す。これらはそれぞれに、選択されたシステムチャンネル58に、(それぞれのアクセススイッチ30a、30b、および30cと、それぞれのアクセス線34a、34b、および34cと、マルチプレクサ28とによる)スイッチングによって接続可能である。図8はさらに、選択された音響サブエレメント同士を電氣的に結合する、3つのマトリックススイッチ36a、36b、および36cを示している。これによって、任意の数の音響サブエレメントを結合して1つのエレメントを形成することが可能になる。たとえば、マトリックススイッチ36aを閉じて音響サブエレメント32aおよび32bを相互接続することが可能である。同様に、マトリックススイッチ36bを閉じて音響サブエレメント32bおよび32cを相互接続することが可能である。マトリックススイッチ36aおよび36bを同時に閉じて、音響サブエレメント32a、32b、および32cを相互接続することが可能である。同様に、マトリックススイッチ36cを閉じて、(図8に示されていない)次の音響サブエレメントと音響サブエレメント32cとを接続することが可能である。結果として得られたエレメントは、それぞれのアクセススイッチを介してマルチプレクサ28に接続される。厳密には、どのアクセススイッチが用いられるかは、個々のスイッチ構成に依存する。たとえば、閉じられたマトリックススイッチ36aによって音響サブエレメント32aおよび32bが相互接続されている場合、結果として得られるエレメントは、アクセススイッチ30aまたはアクセススイッチ30bを介してマルチプレクサ28に接続されることが可能である。この考え方を推し進めると、閉じられたマトリックススイッチ36aおよび36bによって音響サブエレメント32a、32b、および32cが相互接続されている場合は、結果として得

られるエレメントは、アクセススイッチ 30 a、30 b、および 30 c のいずれか 1 つを介してマルチプレクサ 28 に接続されることが可能である。マルチプレクサ 28 の状態によって、それぞれのエレメントがシステムチャネル 58 のいずれに接続されることが決まる。マルチプレクサは、音響サブエレメントの 1 つまたは複数の列の置き場所の外側の周辺領域に配置されることが可能である（図 7 を参照）。システムチャネル 58 は、取得した音響データを超音波撮像システムのビームフォーマ 38 に伝達する。典型的な超音波撮像システムの他のよく知られたコンポーネント（オペレータインターフェース、ホストコンピュータ、画像処理装置、走査制御装置、ビデオプロセッサ、ディスプレイモニタなど）は、図 8 に示されていない。

【0044】

図 8 に示されるように、音響サブエレメントの列ごとに複数のアクセス線を用いることが可能である。図 8 に示されるように、アクセススイッチは、所与の数のアクセス線に対して必要な数を低減するために、互い違いに配置されている。パターンの繰り返しによるアーティファクトを低減するために、バス線（図示せず）に対してアクセススイッチをランダムに順序付けることも可能である。アレイの柔軟性を高めるために、各サブエレメントに複数のアクセススイッチを設けることも可能である。そのような構造において、アクセススイッチの数がなおも、アクセス線およびシステムチャネルの数よりかなり少ない場合は、柔軟性と、サブエレメント当たりのアクセススイッチの数とのトレードオフが行われる。また、各エレメントにおいてアクセス線ごとに複数のアクセススイッチを用いることも可能である。これによって、動作しないアクセススイッチを冗長なアクセススイッチでバイパスすることが可能になるため、デバイスの歩留まりが向上する。

【0045】

音響サブエレメントの列を構成する MUT セルの列の厚さは、柔軟な再構成を可能にするために、小さく保たなければならない。しかしながら、スイッチング電子回路を音響サブエレメントのすぐ下に配置する場合は、スイッチング電子回路が列全体の領域を使うことができる。これは、2 次元再構成可能性方式において両方の次元を小さく保たなければならない場合に許可されるであろう面積より、非常に大きな面積である。この再構成可能性方式は、1.25 D、1.5 D、および 1.75 D のアレイの場合に複数の列が可能であるようにも拡張可能である。

【0046】

高さ制限の下での 1 次元アレイの性能を改善するために、いわゆる「1.25 D」、「1.5 D」、「1.75 D」アレイなど、様々なタイプの複数列トランスデューサアレイが開発されている。本明細書で用いているように、これらの用語の意味は次のとおりである。1.25 D）高さアパーチャが可変であるが、合焦は静的のままである。1.5 D）高さアパーチャ、シェーディング、および合焦が動的に可変であるが、アレイの中心線に関して対称である。1.75 D）高さのジオメトリと制御は 1.5 D と同等であるが、対称の拘束がない。1.25 D プローブの高さアパーチャは、範囲とともに大きくなるが、そのアパーチャの高さ合焦（elevation focusing）は静的であり、主に、1 つ（または複数）の固定焦点のメカニカルレンズによって決まる。1.25 D プローブは、近距離場および遠距離場のスライス厚性能が実質的に 1 D プローブより良好であることが可能であり、追加のシステムビームフォーマチャネルを必要としない。1.5 D プローブは、追加のビームフォーマチャネルを用いて動的な高さ合焦および高さのアポディゼーションを可能にする。1.5 D プローブは、細部分解能が 1.25 D プローブに匹敵し、コントラスト分解能が 1.25 D プローブより実質的に良好であることが、特に中距離場および遠距離場において可能である。1.75 D プローブは、アパーチャ内のすべてのエレメントのビーム形成時間遅延の単独制御により、ビームフォーマがボディ内の伝搬速度の不均一（または、撮像システム内またはトランスデューサ内の不均一）が適応的に補償することを可能にする。そのような、ビーム形成または位相収差の適応制御に加えて、1.75 D プローブは、高さ方向の、制限されたビームステアリングをサポートすることも可能である。

【0047】

高電圧スイッチは、既に実用化されているCMOS（相補型金属酸化膜半導体）技術である。この技術は、特に、高密度デジタル制御回路を被制御スイッチに隣接させて組み込むことが考慮されている点で特に魅力的である。既に述べたように、この機能は、ある構成から次の構成への、非常に高速で、低雑音で低電力の移行を見込んでいる。マイクロマシニング加工を施された電気機械的システム（micromachined electro-mechanical systems）（MEMS）のスイッチのような他の技術も用いることが可能であり、この技術はCMOSに限定されない。

【0048】

高電圧CMOSスイッチは、MOSFET（金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ）で構成される。そのようなデバイスは、ドレイン、ソース、ゲートの各接続点を有し、ゲート電圧がドレイン・ソース間チャンネルの電流の流れを制御する。チャンネルが広いほど、スイッチオン抵抗が小さくなるが、これは、受信信号への熱雑音の重畳が少なくなること

10

【0049】

2次元アレイでは、2次元アレイエレメントの下にうまく収まる長方形のデバイスを作成するために、非常に広いデバイスが「フィンガー」と呼ばれるセクションに分割される。しかしながら、リニアアレイでは、より長いフィンガーが用いられる。一般には、非常に高さがあり、非常に薄いデバイスがアレイエレメントの下に収まるように、スイッチングエレメントを慎重にレイアウトすることが可能である。さらに、アレイの垂直方向（短軸）のトランスデューサエレメントの組み込みが制限されているので、アレイの中心からスイッチング電子回路までの信号の経路を、アレイの上部と下部に設けることが可能である。これによって、より複雑な制御構造を用いることや、スイッチオン抵抗のさらなる低減が可能になる。

20

【0050】

アポディゼーションは、アレイのエレメントで送受信される信号に一組の重み係数を適用することを必要とする。たとえば、アレイに沿っての振幅分布を、二乗余弦などの関数を用いて平滑化して、エレメント間の移行を最小化することが可能である。再構成可能アパーチャを扱うには、動的アポディゼーションが必要である。これは、相互接続された（すなわち、結合された）サブエレメントから受信された信号にシステムチャンネルアポディゼーションを行うことによって部分的に達成可能である。さらに、サブエレメントレベルにアポディゼーションを適用してフィンガー制御を与えることが可能である。

30

【0051】

エレメントのサイズおよび位置が動的に構成可能なアレイの場合は、どのような構成を用いるかを決定しなければならない。用いることが可能なアルゴリズムの1つは、ある意味で、遅延誤差を最小限にしようと試みるアルゴリズムである。特定の焦点に関して、列ごとの遅延を計算することが可能である。これらの理想的な遅延が与えられた場合は、アパーチャを、それぞれが同じ遅延範囲を有するN個のチャンネルに分割することが可能である。これは、あるチャンネルの最大遅延から、あるチャンネルの最小遅延を差し引いたものが、すべてのチャンネルで同じになることを意味する。したがって、遅延が同等である列に同じチャンネルが割り当てられるように列がグループ分けされる。特定のチャンネルに割り当てられる列の数は、許容可能な遅延範囲によって決まる。これは、実際には、すべての列に理想的な遅延を与えて、それらをソートすることを意味する。すべての列の全遅延範囲は、最大遅延から最小遅延を差し引くことによって計算される。この全遅延範囲が、チャンネルの数に分割される。これは、所与のチャンネルの遅延範囲を与える。図9～11は、このプロセスの一例である。図9は、トランスデューサアレイに垂直で、アレイのアクティブ部分の中央に位置決めされたビームのポイントで合焦する、典型的な遅延プロファイルを示す。図10は、このアパーチャを10個のチャンネルに分割した例を示す。これらの時間遅延はソートされている。時間遅延範囲は、10個の等しい区間に分割されている。これによって、プロットのドメインが10個のセクションに分割されている。ソート情報を用

40

50

いると、この10個のドメインセクションが、再構成可能なリニアアレイの実際の列またはサブエレメントにマッピングされることが可能であり、それによって、エレメントのサイズおよび形状が決まる。図11は、結果として得られた、等しい範囲に基づく、量子化された遅延パターンを示している。

【0052】

このアルゴリズムと異なる形態では、各チャネルの、最大遅延誤差ではなく、平均遅延誤差が等しくなるようにアパーチャを分割する。所与のアレイジオメトリの性能を最適化アルゴリズムに用いて構成を決定することも可能である。本明細書で開示された、再構成可能なリニアアレイは、これらのアルゴリズムで決定されるものに限定されない。どちらかと言えば、これらのアルゴリズムは、例を示し、再構成可能性がどのように動作可能か

10

【0053】

再構成可能なリニアアレイの実現可能な有利点を示すために、放射パターンのシミュレーション計算を実施した。図12～14は、それらのシミュレーションの結果の一部を示す。アパーチャの全体サイズは、方位各方向が26mm、高さ方向が6mmである。高さ合焦およびレンズは用いられていない。シミュレーションには、7.5MHz、60%の部分的帯域幅パルスを用いた。送信焦点深度は、すべてのケースで30mmであった。3つのケースのすべてに動的受信合焦(dynamic receive focusing)を用いた。受信合焦の深度は、図12、13、14に示されたシミュレーション結果のそれぞれに対して25mm、30mm、35mmであった。アレイは、すべてのケースにおいて、30mmでのポイントに基づいて構成された。各グラフには、4本のカーブが示されている。カーブAは、等ピッチを有する128エレメントリニアアレイ(標準的な撮像構成)を表している。カーブB、C、およびDは、それぞれ60チャネル、32チャネル、および20チャネルに基づくアレイを表している。アレイは、前述の等遅延範囲アルゴリズムを用いて構成された。わずか32チャネルの場合の性能は、それらの深度での、128エレメントリニア固定ピッチアレイの性能と同等であった。20チャネルの場合の性能はそれより見劣りし、場の深度は非常に小さかった。

20

【0054】

図8に示された、再構成可能なリニアアレイは、音響サブエレメントをシステムチャネルにマッピングする。このマッピングは、性能の改善を意図している。このマッピングは、スイッチングネットワーク(すなわち、アクセススイッチおよびマトリックススイッチ)を介して行われ、このスイッチングネットワークは、理想的には、cMUTセルが作成されている基板に直接配置されるが、トランスデューサ基板に隣接して組み込まれた別の基板に配置される可能性もある。cMUTアレイは、シリコン基板の上に直接作成されるので、スイッチング電子回路をその基板に組み込むことが可能である。

30

【0055】

ASICからcMUTへの接続がどのように行われるかを示すために、cMUTとASICアレイとが一体化されたものの断面図を図15に示す。図のように、各cMUT音響サブエレメント32をその相手のCMOS電子回路サブエレメント(以下、「インターフェース電子回路セル」)50と接続するために、単一バイア56が用いられている。信号電極のパッド65を、スイッチASIC上に形成されたそれぞれの導電パッド66に接続するバイア56は、音響裏打ち層(acoustic backing layer)62に埋め込まれることが可能である。

40

【0056】

図8に示された実施形態に適用されているように、各インターフェース電子回路セル50は、アクセススイッチとマトリックススイッチとを含む。しかしながら、他の実施形態では、各インターフェース電子回路セルに追加回路を含めることが可能である。たとえば、追加のアクセス線との接続を可能にする追加のアクセススイッチや、ある列の音響サブエレメントを別の列の隣接する音響サブエレメントに接続する追加のマトリックススイッチのような、追加のアクセススイッチおよびマトリックススイッチを含めることが可能で

50

ある。また、各インターフェース電子回路セルは、それぞれのパルサと、それぞれの送信／受信スイッチとを含むことが可能である。

また、図16に示されるように、独立した基板（たとえば、ウェハ）にcMUTを作成し、それらを個別にASICスイッチマトリックスに接続することも可能である。ここでは、たとえば、はんだバンプ64と導電パッド65、66とを用いて、個々のcMUT音響サブエレメント32をそれらのインターフェース電子回路50に接続している。ACF（異方性導電フィルム）やフレキシブルインターコネクトなど、他のパッケージング手法も用いることが可能である。

【0057】

アクセススイッチおよびマトリックススイッチは、別々にパッケージされたコンポーネントであることが可能であるが、MUTアレイが組み立てられる同じ半導体基板の中でこれらのスイッチを組み立てることも可能である。これらのスイッチは、米国特許出願第10/248,968号（表題「Integrated High-Voltage Switching Circuit for Ultrasound Transducer Array」）で開示されているタイプの高電圧スイッチング回路を含むことも可能である。各スイッチは、バイポーラ動作を考慮して背中合わせに接続された（ソースノード同士が短絡された）2つのDMOS FETを含む。図17は、例示的なアクセススイッチ30を示す。このマトリックススイッチは同じ回路を含むことが可能である。スイッチ30の両方のFETがオンになると必ず、スイッチ端子に電流が流れる。各スイッチの状態は、それぞれのスイッチ制御回路52によって制御される。そのうちの1つだけを図17に示した。スイッチ制御回路の状態は、プログラミング回路54の出力によって決まる。プログラミング回路54は、本明細書で開示されているアルゴリズムの1つを用いて導出された、最適化されたスイッチング構成に従ってスイッチ制御回路をプログラムする。最適化されたスイッチング構成は、（図17に示されていない）走査制御装置によってプログラミング回路54にロードされる。CMOS高電圧スイッチを用いることは好ましい実施形態であるが、本明細書に記載の発明は、他のスイッチング技術（低電圧スイッチ、MEMSスイッチ、および他の、開発中の将来のスイッチ技術など）に直接適用できる。スイッチ電子回路は、CMOSまたはBiCMOS、またはSOI、またはMEMS、または未だ認識されていない他のスイッチング技術を用いて作成可能である。

これまで説明した、本発明の各種実施形態は、マイクロマシニング加工によって作成されたセンサエレメントのリニアアレイについて、必要なチャネル数を低減するために再構成可能性を用いる。1つの方法は、アレイを、受信時の深度に応じて動的に再構成させる方法である。送信波面が放射されると、しばらくの間（通常は200ミリ秒未満）、エコーデータが受信される。この受信の間に、伝搬する送信波面の位置に対してビーム形成を最適化するために、アパーチャの次元を変更するのが有利である。このケースは、場の深度の全体で分解能が均一になるように、アパーチャのサイズを大きくすることが可能である。これには複雑な電子回路が必要だが、再構成可能性の最大級の便益が得られる。これによって、より少ないチャネルで、遅延誤差を、標準的な固定ピッチリニアアレイと同等にすることが可能になる。

【0058】

別の方法は、受信中にアレイを変更せずに（すなわち、受信動作の間はアパーチャを固定して）、個々の焦点ゾーンに対してアレイを再構成する方法である。すべての深度に対して受信アパーチャを最適化する必要がある場合は、個々の送信について、送信を複数回行い、受信アパーチャか、送信アパーチャおよび受信アパーチャを変更しなければならない。これには長い時間がかかり、撮像フレームレートが低下する。このケースは、電子的な実装はより容易であるが、フレームレートが重要でない場合か、撮像深度が非常に浅い場合に用途が限定される。このケースでも、焦点ゾーンの最端部のビーム品質の低下を最小にして、必要なチャネル数を軽減できる。

【0059】

本発明の主な有利点は、グレーティングローブや顕著な画像アーティファクトを発生さ

10

20

30

40

50

せることなく、必要なチャネル数を低減できることである。再構成可能性はまた、極端な近距離場でも、ビーム形成に用いられるチャネルの数を増やすことから便益を得ることを可能にする。

【 0 0 6 0 】

好ましい実施形態を参照しながら本発明を説明してきたが、当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく、実施形態の様々な変更が可能であり、実施形態の要素を等価物で置き換えることが可能であることが理解されよう。さらに、本発明の本質的な範囲から逸脱することなく、特定の状況を本発明の教示に適應させるために様々な修正を行うことが可能である。したがって、本発明は、本発明を実行するために企図される最良の態様として開示された特定の実施形態に限定されるものではなく、添付の特許請求項の範囲に当てはまるすべての実施形態を包含するものである。

10

【 0 0 6 1 】

特許請求項で用いられているように、「ピッチ」という用語は、サブエレメントの列における、連続する2つのエレメントの中心線の間の距離を意味する。また、図面の符号に対応する特許請求の範囲中の符号は、単に本願発明の理解をより容易にするために用いられているものであり、本願発明の範囲を狭める意図で用いられたものではない。そして、本願の特許請求の範囲に記載した事項は、明細書に組み込まれ、明細書の記載事項の一部となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 2 】

20

【図 1】典型的な c M U T セルの断面図である。

【図 2】本発明の一実施形態によるリニアトランスデューサアレイのサブエレメントの六角形の M U T セルを示す図である。

【図 3】c M U T セルから作られたトランスデューサエレメントの1次元または1．5次元のアレイを含む、マイクロマシニング加工が施された構造物の等角図である。

【図 4】リニアトランスデューサアレイの深度の増加に対してアパーチャの端から端までの遅延プロファイル（すなわち、横方向の距離）が変化する様子を示すグラフである。

【図 5】リニアトランスデューサアレイにおいて増加する深度の関数として、完全に動的な再構成可能アパーチャが大きくなる様子を示すグラフである。

【図 6】深度の増加に対して大きくなり再構成される、リニアトランスデューサアレイのアパーチャを示す図である。陰影をつけた領域は、それぞれのシステムチャネルに接続されているアレイエレメントを表す。

30

【図 7】幅およびピッチが変化するエレメントを有するリニアトランスデューサアレイのアパーチャを示す図である。ハッチングをつけた領域は、それぞれのシステムチャネルに接続されているアレイエレメントを表す。

【図 8】本発明の一実施形態による、音響サブエレメントを相互接続し、かつ、システムチャネルに接続する各種スイッチを示す図である。

【図 9】トランスデューサアレイに垂直で、アレイのアクティブ部分の中央に位置決めされたビームのポイントで合焦する、典型的な遅延プロファイルを示すグラフである。

【図 10】図 9 に示された遅延プロファイルを有するトランスデューサアレイのアパーチャを10個のチャネルに分割する例を示すグラフである。

40

【図 11】図 10 の例と同じ範囲に基づいて得られた量子化遅延パターンを示すグラフである。

【図 12】放射パターンのシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 13】放射パターンのシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 14】放射パターンのシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 15】c M U T と特定用途向け集積回路（A S I C）アレイとが一体化されたものの断面図である。

【図 16】A S I C スイッチマトリックスと接続された c M U T ウェハの断面図である。

【図 17】米国特許出願第 10 / 2 4 8 , 9 6 8 号で既に開示されている、アクセスイ

50

ッチと、そのアクセススイッチの状態を制御する回路とを示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 3 】

2	c M U T トランスデューサセル	
4	基板	
6	絶縁支持体	
8	メンブレン	
1 0	電極	
1 2	電極	
1 4	キャピティ	10
1 6	サブエレメント	
1 8	C M O S ウェハ	
2 0	超音波トランスデューサエレメント	
2 2	サブ領域	
2 4	サブ領域	
2 6	サブ領域	
2 8	マルチプレクサ	
3 0	アクセススイッチ	
3 0 a	アクセススイッチ	
3 0 b	アクセススイッチ	20
3 0 c	アクセススイッチ	
3 2	音響サブエレメント	
3 2 a	音響サブエレメント	
3 2 b	音響サブエレメント	
3 2 c	音響サブエレメント	
3 4 a	アクセス線	
3 4 b	アクセス線	
3 4 c	アクセス線	
3 6 a	マトリックススイッチ	
3 6 b	マトリックススイッチ	30
3 6 c	マトリックススイッチ	
4 0	エレメント	
4 2	エレメント	
4 4	音響サブエレメント	
4 6	エレメント	
4 8	音響サブエレメント	
5 0	インターフェース電子回路セル	
5 2	スイッチ制御回路	
5 4	プログラミング回路	
5 6	単一バイア	40
5 8	システムチャネル	
6 2	音響裏打ち層	
6 4	はんだバンプ	
6 5	導電パッド	
6 6	導電パッド	

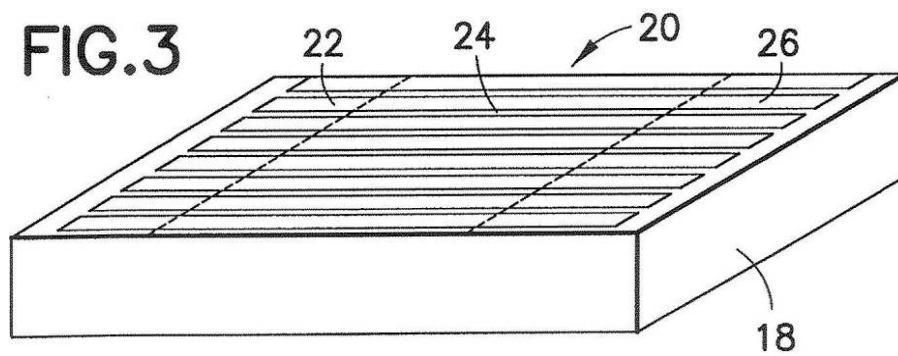
2



-16



FIG.3



【図 4】

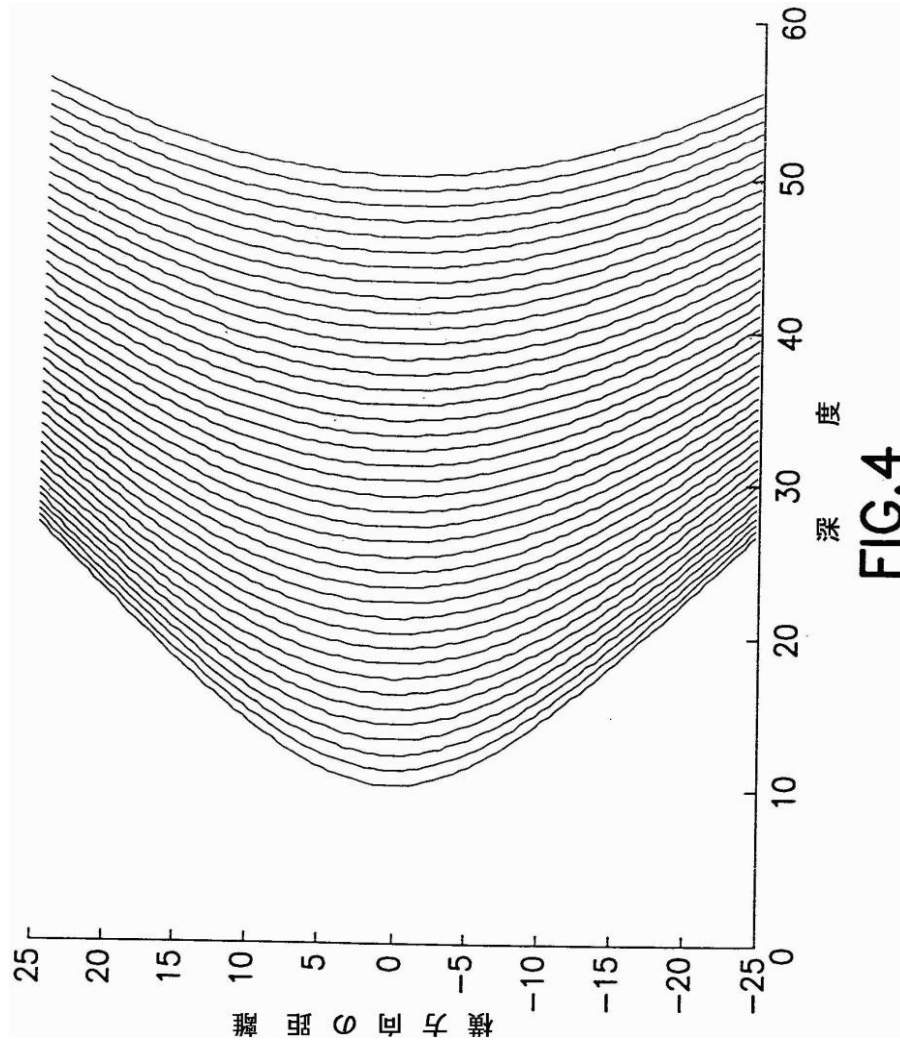
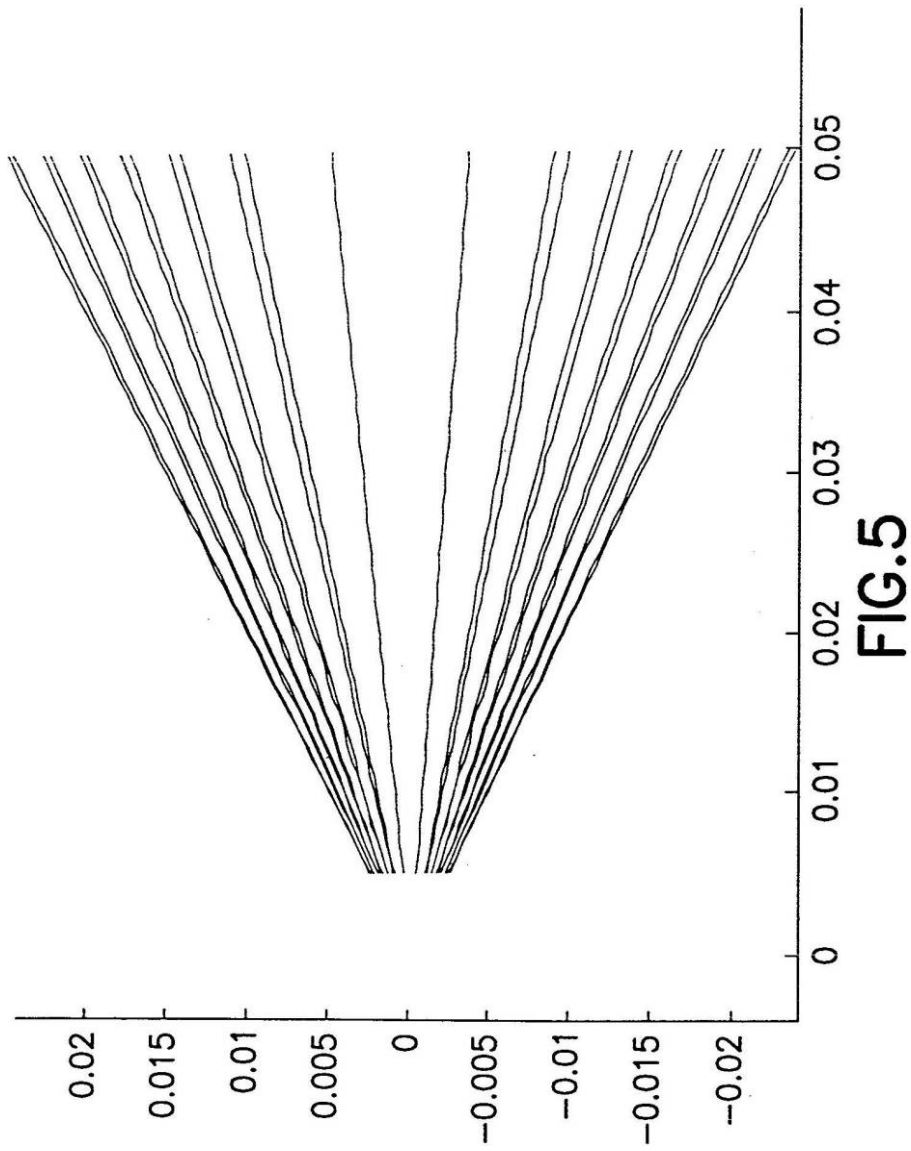


FIG.4

【図 5】



【図 6】

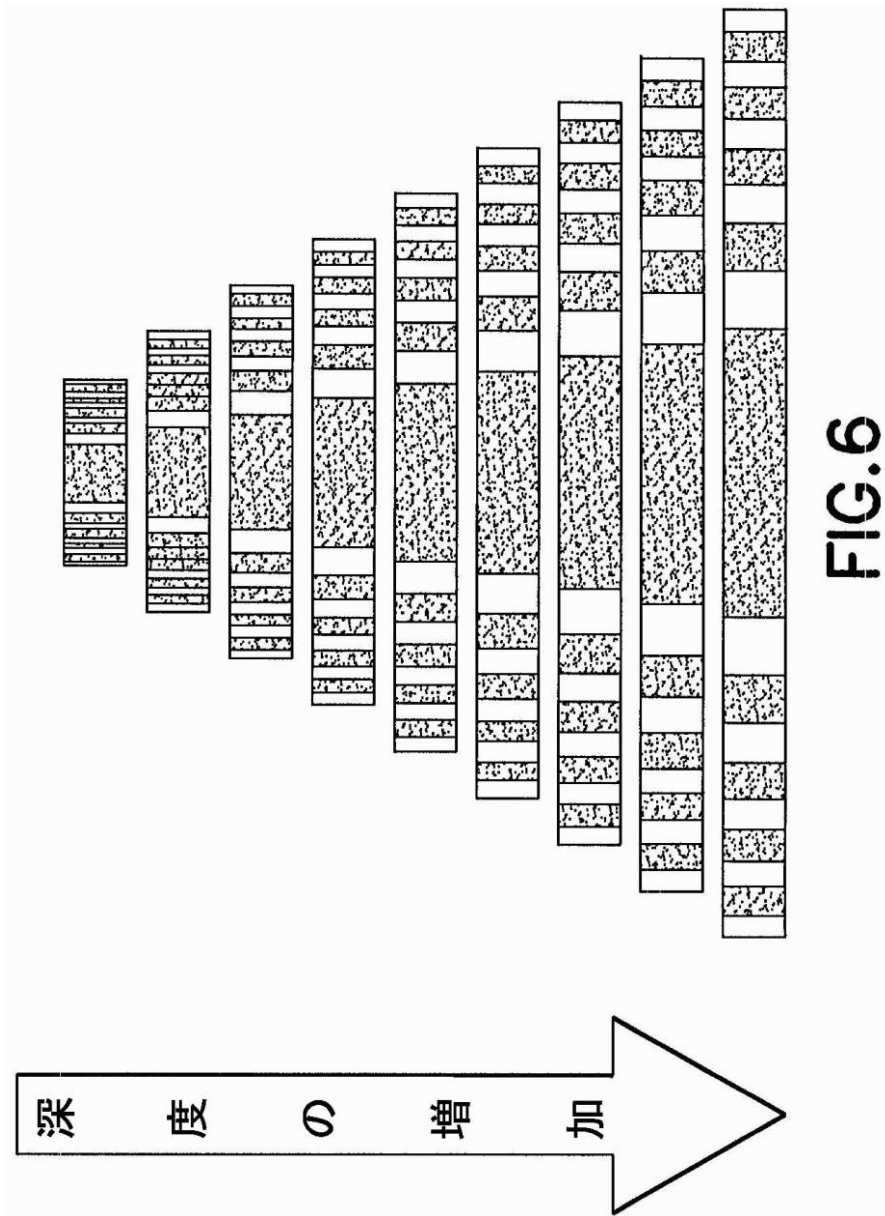


FIG.6

【図 7】

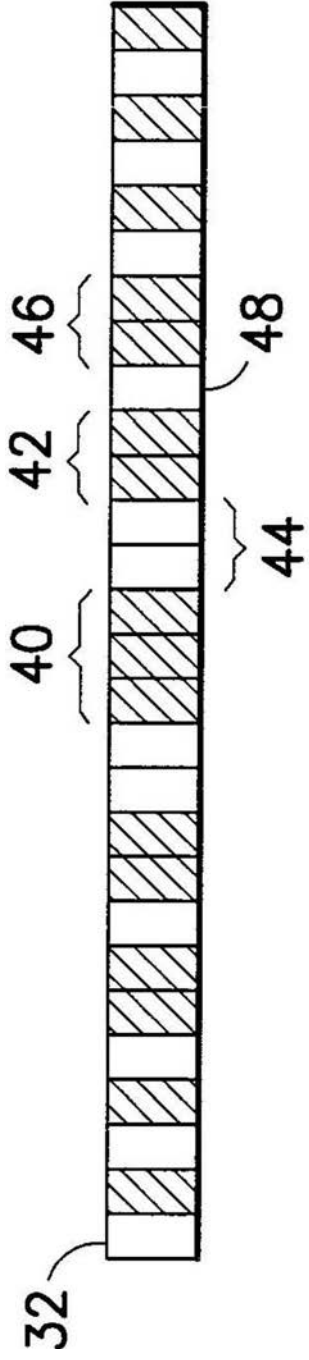


FIG.7

【図 8】

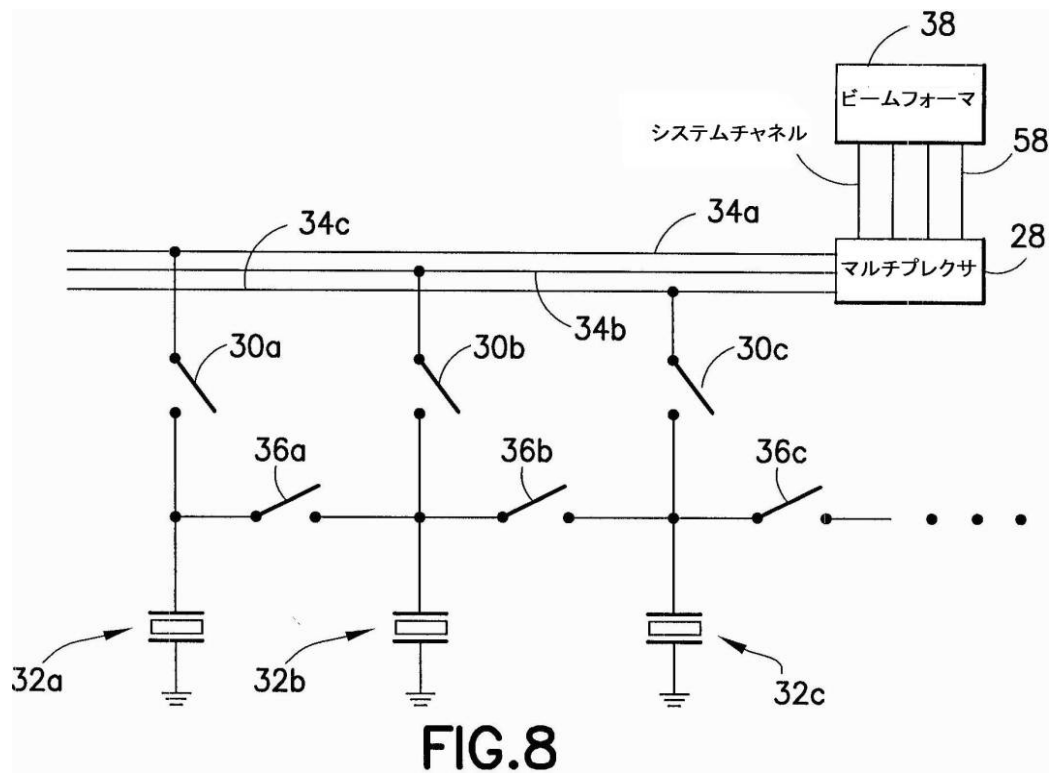


FIG.8

【図 9】

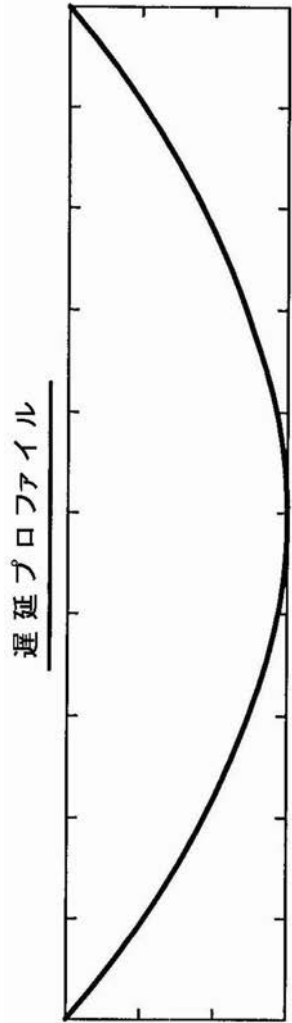


FIG.9

【図 10】

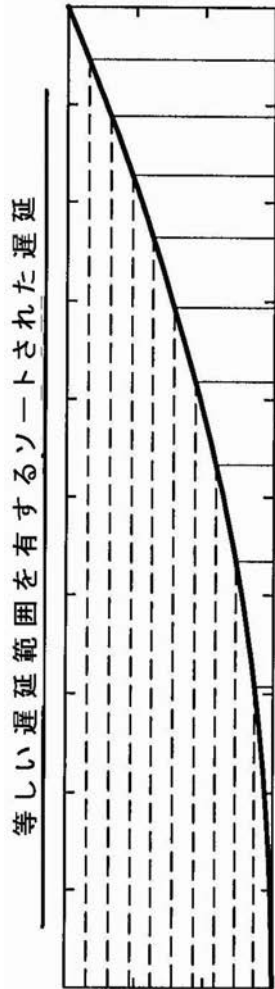


FIG.10

【図 11】

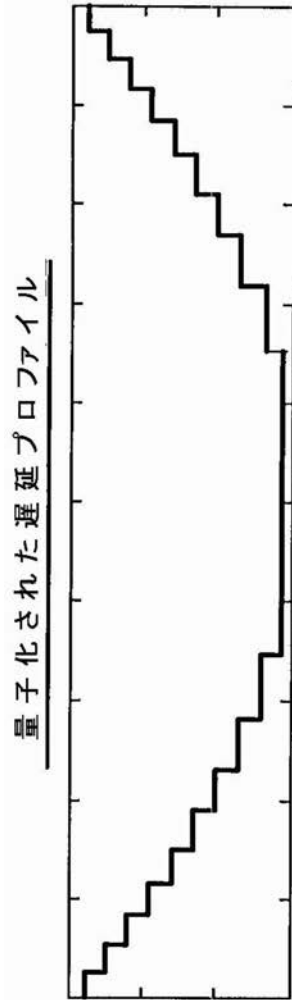


FIG.11

【図 12】

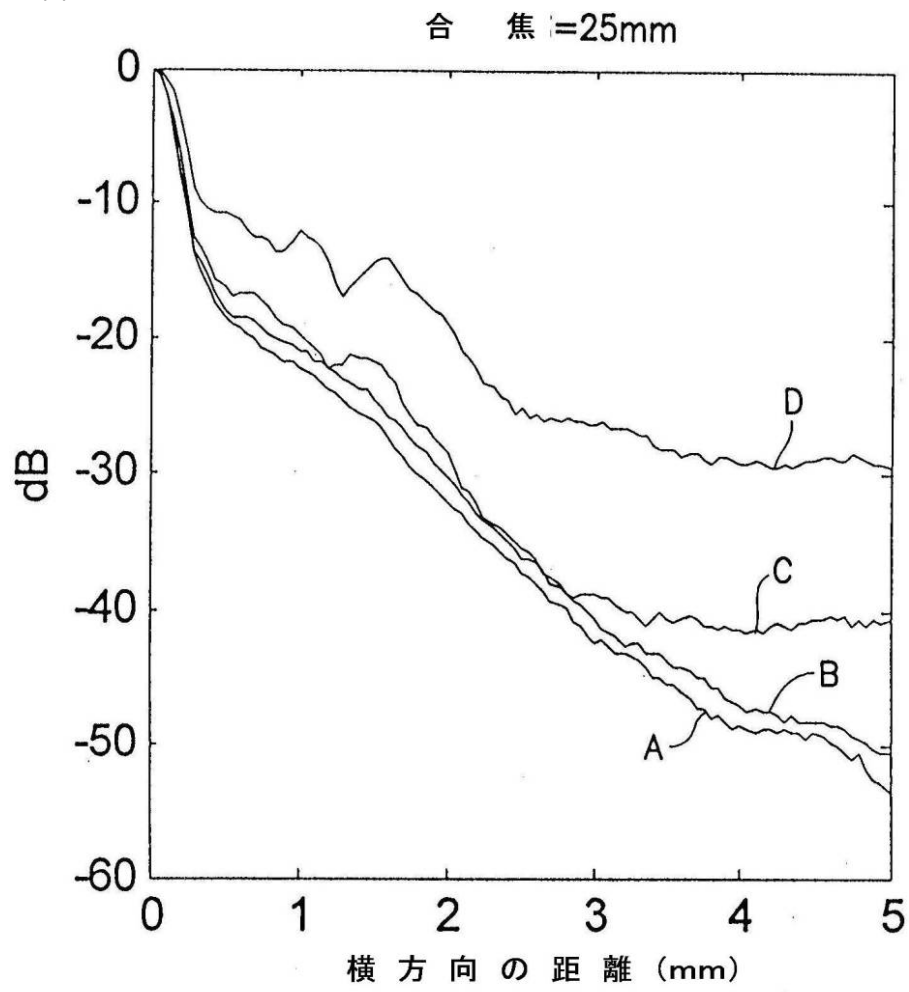
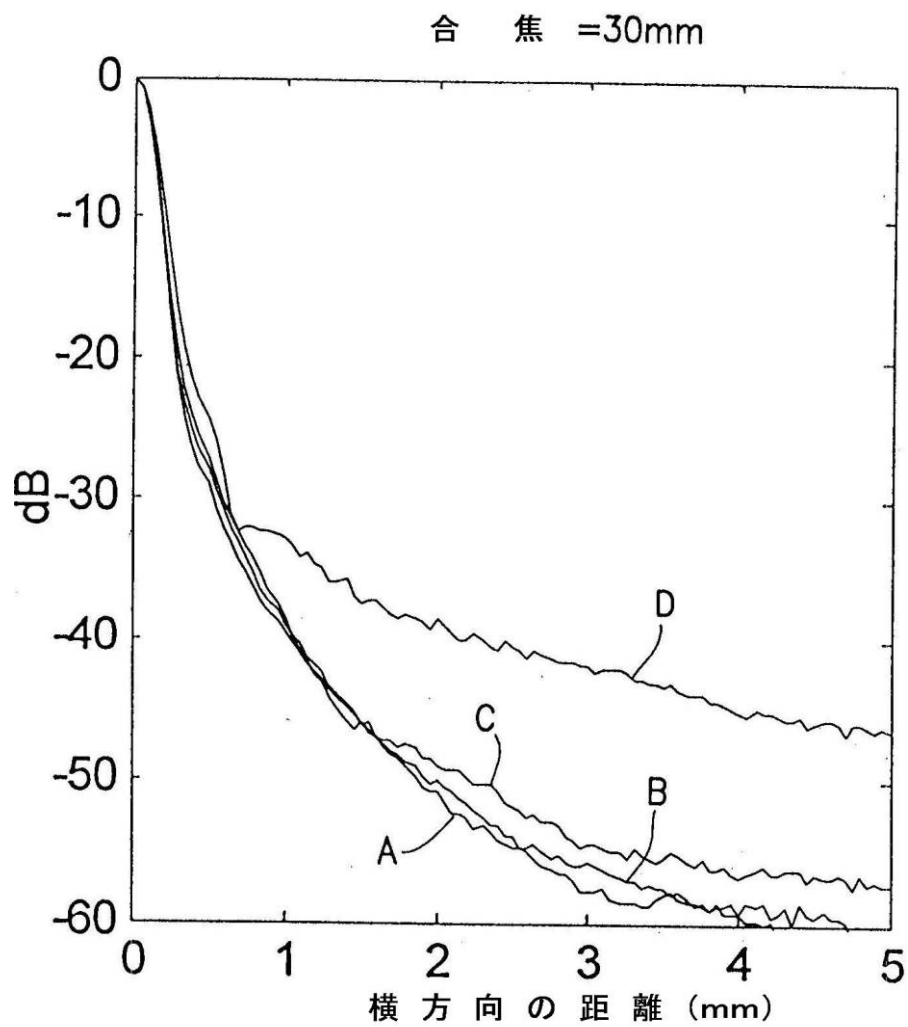


FIG.12

【図13】

FIG.13



【図14】

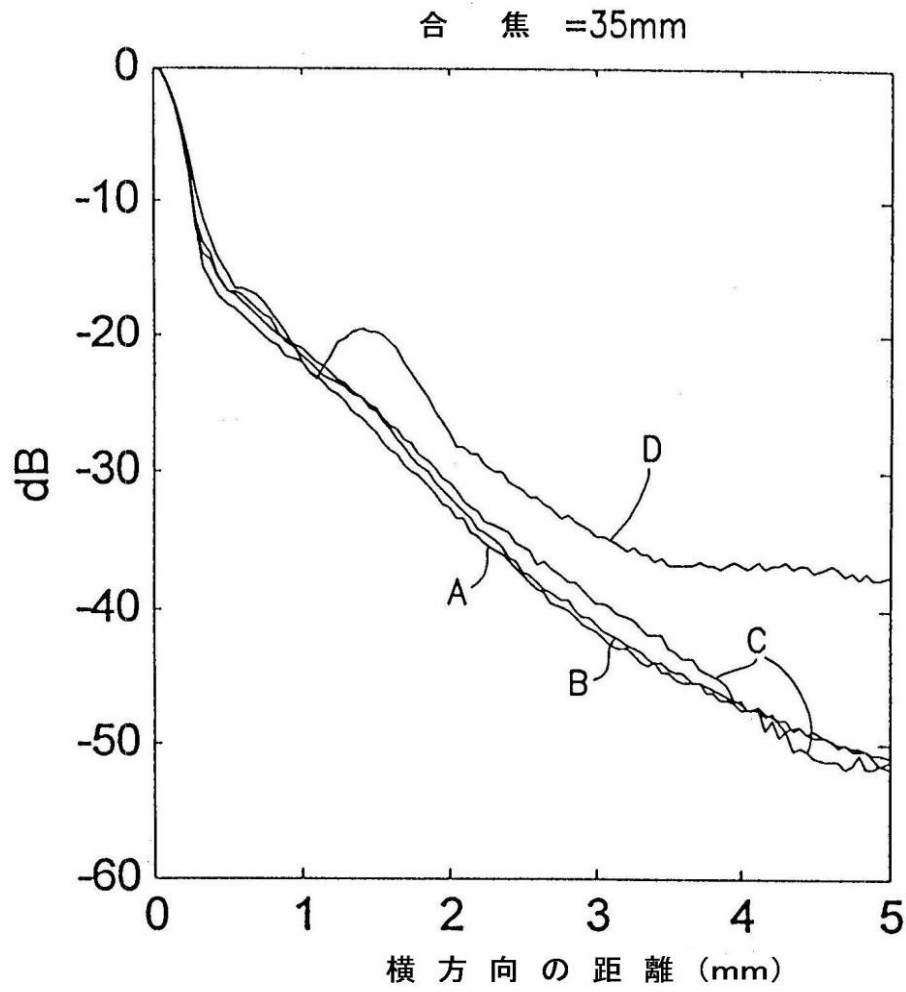
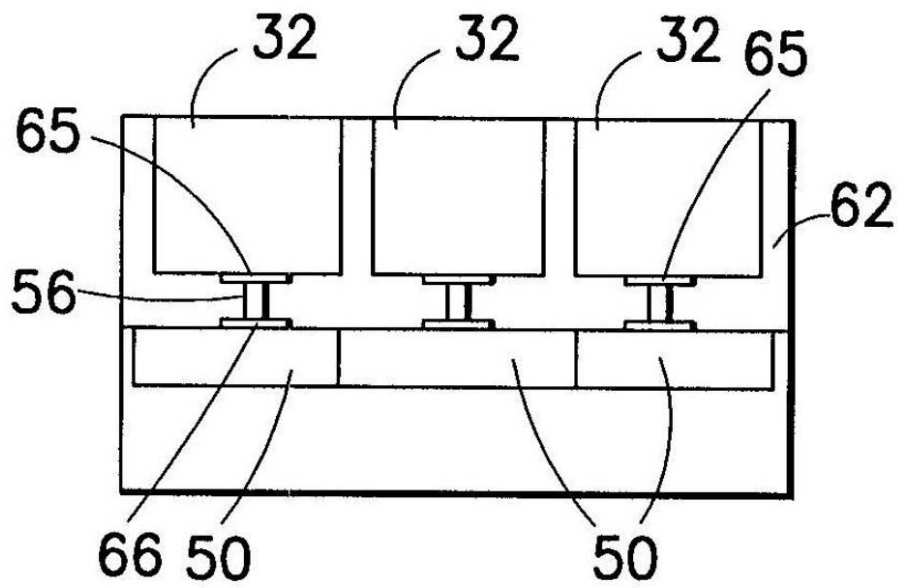
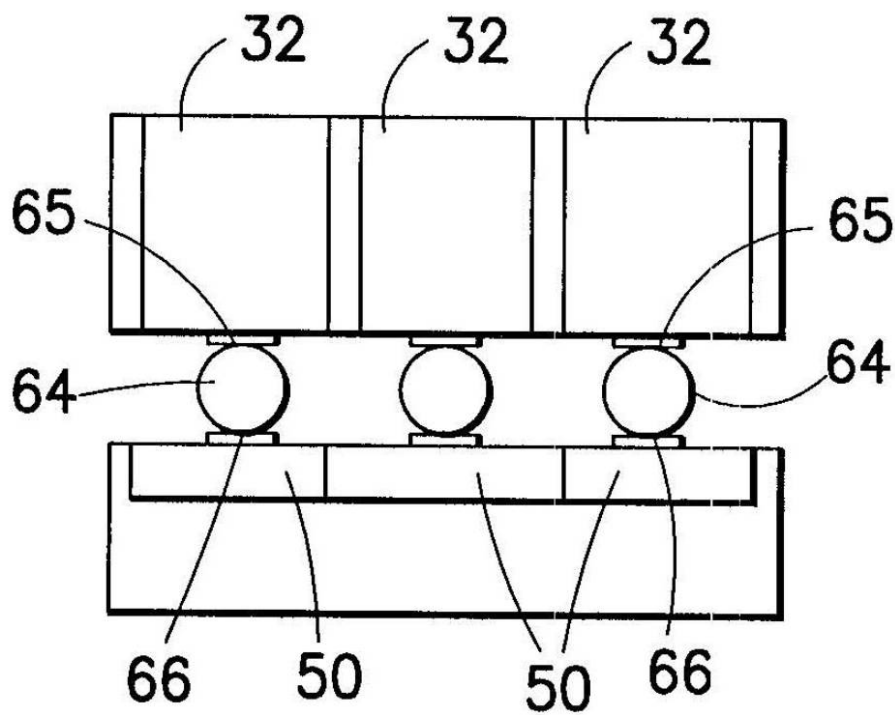


FIG.14

【図15】

**FIG.15**

【図16】

**FIG.16**

【図 17】

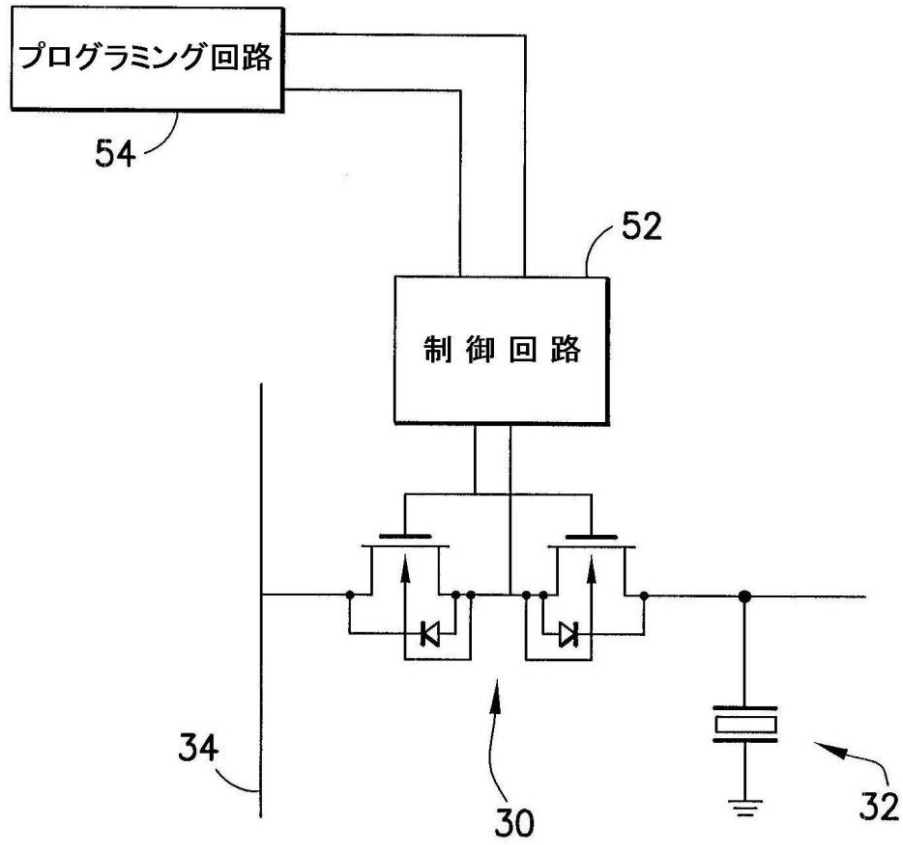


FIG.17

フロントページの続き

- (72)発明者 カイ・エリック・トメニウス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ヴァン・ヴランケン・ロード、74番
- (72)発明者 レイエット・アン・フィッシャー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、パークリー・アベニュー、2305番
- (72)発明者 ロバート・ギデオンのウッドニッキ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ドアウォルツ・ブルヴァード、1509番
- (72)発明者 クリストファー・ロバート・ハザード
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、グランド・ブルヴァード、2121番
- (72)発明者 ローウェル・スコット・スミス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、チェシャー・ブレイス、24番
- (72)発明者 ブルーノ・ハンス・ハイダー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストン・レイク、ウエストサイド・ドライブ、64番
- (72)発明者 ケネス・ウェイン・リグビー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、レッド・メイプル・レーン、4エイ番

審査官 右 高 孝幸

- (56)参考文献 特開平04-084943(JP,A)
特開2004-350701(JP,A)
特開2004-274756(JP,A)
特開昭62-083656(JP,A)
特開平11-221215(JP,A)
特開平06-237930(JP,A)
国際公開第2004/075165(WO,A1)
国際公開第01/021072(WO,A1)
A. S. Ergun et al, Fabrication and characterization of 1-dimensional and 2-dimensional Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer (CMUT) arrays for 2-dimensional and volumetric ultrasonic imaging, Oceans 2002 MTS/IEEE Conference Proceedings, 2002年10月, vol.4, pp.2361-2367

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 8/00

专利名称(译)	可重新配置的线性传感器阵列，用于减少通道数量		
公开(公告)号	JP5525674B2	公开(公告)日	2014-06-18
申请号	JP2005302672	申请日	2005-10-18
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	カイエリックトメニウス レイエットアンフィッシャー ロバートギデオンウッドニッキ クリストファーロバートハザード ローウェルスコットスミス ブルーノハンスハイダー ケネスウェインリグビー		
发明人	カイ・エリック・トメニウス レイエット・アン・フィッシャー ロバート・ギデオン・ウッドニッキ クリストファー・ロバート・ハザード ローウェルスコット・スミス ブルーノ・ハンス・ハイダー ケネス・ウェイン・リグビー		
IPC分类号	A61B8/00 B06B1/02 B06B1/06 H04R17/00		
CPC分类号	B06B1/0292 A61B2562/028 G01N29/0609 G01N29/069 G01N29/245 G01N2291/0423 G01N2291/106		
FI分类号	A61B8/00 G01N29/24.502		
F-TERM分类号	2G047/AA07 2G047/AA12 2G047/AB01 2G047/AC13 2G047/CA01 2G047/DB02 2G047/EA17 2G047/GF18 2G047/GF20 4C601/EE01 4C601/EE15 4C601/GB02 4C601/GB04 4C601/GB06 4C601/GB41 4C601/HH22		
代理人(译)	小仓 博 田中 拓人		
优先权	11/018238 2004-12-21 US		
其他公开文献	JP2006175208A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

阵列具有声学子单元 (32a-32c)，每个子单元具有一列微机械超声换能器互连单元，其中子单元是可重新配置的。接入开关和矩阵开关电耦合到子单元。子单元通过接入交换机和接入线路可切换地连接到选定的系统信道 (58)。开关状态控制电路控制两个开关的状态。

【図1】

2

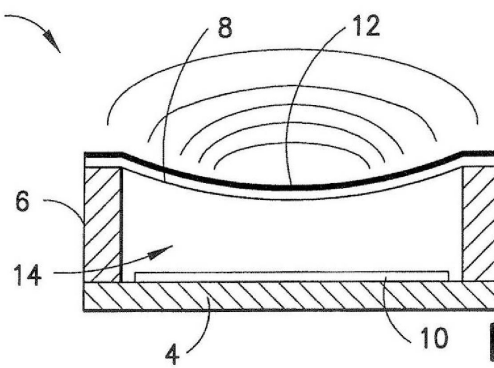


FIG.

【図2】