

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4795683号
(P4795683)

(45) 発行日 平成23年10月19日 (2011.10.19)

(24) 登録日 平成23年8月5日 (2011.8.5)

(51) Int.Cl.	F I
HO 4 R 19/00 (2006.01)	HO 4 R 19/00 3 3 0
HO 4 R 17/00 (2006.01)	HO 4 R 17/00 3 3 2 A

請求項の数 6 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-380329 (P2004-380329)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成16年12月28日 (2004.12.28)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開2005-210710 (P2005-210710A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、リバーロード、1 番
(43) 公開日	平成17年8月4日 (2005.8.4)	(74) 代理人	100137545
審査請求日	平成19年12月26日 (2007.12.26)		弁理士 荒川 聡志
(31) 優先権主張番号	10/749, 645	(74) 代理人	100105588
(32) 優先日	平成15年12月31日 (2003.12.31)		弁理士 小倉 博
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100106541
			弁理士 伊藤 信和
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロマシン加工した湾曲超音波トランスジューサ・アレイ並びに関連する製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

概して湾曲したプロフィールを有するように形成されたスパイン形状形成部と前記湾曲したスパイン形状形成部の一方の側から延びる多数の歯部とを備えた支持構造 (22、26) であって、前記多数の歯部の隣接した歯部同士の間には空隙が形成されている、前記支持構造 (22、26) と、

前記支持構造 (22、26) の前記多数の歯部が設けられた側と反対側の多数位置にマイクロマシン加工されたセンサ (24) と、を具備することにより、湾曲したセンサ開口が設けられることを特徴とするセンサ・デバイス。

【請求項 2】

前記センサは M U T セルを備えている、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 3】

前記 M U T セルは前記スパイン形状形成部上に構築されており、かつ前記支持構造 (22、26) は、前記多数の歯部の、前記スパイン形状形成部と反対側の端部が取り付けられる支持部材 (30) を備えている、請求項 2 に記載のデバイス。

【請求項 4】

前記多数の歯部は非周期的な間隔を有している、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 5】

前面及び後方向に突き出している多数の離間したプラトー形状部を備えた連続した基板 (22) と、

10

20

前記基板（２２）上または基板（２２）内でその前面の位置に製作された多数のマイクロマシン加工したセンサ（２４）と、

その各々がそれぞれのプラトーの背面に取り付けられている多数の裏当て体（２６）と、前面を有する支持部材（３０）であって、前記裏当て体（２６）のそれぞれの背面が該支持部材の該前面に取り付けられている支持部材（３０）と、を備えるセンサ・デバイスであって、

前記多数のセンサは同一面内に位置していない、センサ・デバイス。

【請求項６】

前記センサはＭＵＴセルを備えている、請求項５に記載のデバイス。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、全般的には、マイクロマシン加工した超音波トランスジューサ（ＭＵＴ）（ただし、これに限らない）を含むマイクロマシン加工したセンサのアレイに関する。ＭＵＴに対する具体的な用途の１つは、医学診断用超音波イメージング・システムの分野である。具体例の別の１つは、鋳造物、鍛造物、管路などの材料に対する非破壊検査（non-destructive evaluation：NDE）向けである。しかし、本明細書に開示した湾曲したセンサアレイは、トランスジューサに限定されることなく、例えば、温度センサ、圧力センサまたは光学センサをなすことができる。

20

【背景技術】

【０００２】

従来の超音波イメージング・システムは、超音波ビームを送信し次いで検査対象から反射したビームを受信するために使用される超音波トランスジューサからなるアレイを備えている。こうした走査は一連の計測からなり、この計測では、集束させた超音波が送信され、システムがある短い時間間隔の後に受信モードに切り替わり、さらに反射された超音波が受信され、ビーム形成されかつ表示のために処理されている。典型的には、各計測中において送信及び受信は、音響ビームまたは走査線に沿った一連の点からデータが収集されるように同じ方向に集束させている。受信器は、反射された超音波を受信するのに連れて、走査線に沿った連続するレンジに動的に集束させている。

30

【０００３】

超音波イメージングでは、そのアレイは、１つまたは複数の横列の形に配列されかつ別々の電圧によって駆動を受ける多数のトランスジューサを有するのが一般的である。印加する電圧の時間遅延（または、位相）及び振幅を選択することにより、所与の横列内にある個々のトランスジューサを制御して超音波を生成させ、これを合成して好ましいベクトル方向に沿って伝播しかつそのビームに沿って選択したゾーンに集束させた正味の超音波を形成することができる。

【０００４】

同じ原理は、受信モードにおいてトランスジューサ探触子を利用し、反射された音波を受信する場合にも適用される。受信しているトランスジューサの位置に発生した電圧は足し合わされ、その正味の信号が被検体内の単一の焦点ゾーンから反射された超音波を示すようにさせている。送信モードの場合と同様に、超音波エネルギーに関するこの集束させた受信も、受信している各トランスジューサからの信号に対して別々の時間遅延（及び／または、位相シフト）及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、受信時に動的な集束が提供されるように、戻される信号の深度を増加させることによって調整される。

40

【０００５】

形成させた画像の品質または分解能は、その一端において、それぞれがトランスジューサ・アレイの送信及び受信開口を成しているトランスジューサの数の関数である。したがって、高画質を達成するには、２次元撮像と３次元撮像のいずれの用途に関してもトラン

50

スジューサ（本明細書では、素子と呼ぶ）の数が多いことが望ましい。超音波素子は、トランスジューサ信号を処理しかつ超音波画像を作成している電子回路ユニットに柔軟なケーブルによって接続されたハンドヘルド型トランスジューサ探触子内に配置されるのが一般的である。このトランスジューサ探触子は、超音波送信回路と超音波受信回路の両方を含むことがある。

【 0 0 0 6 】

凸状に湾曲した超音波探触子は、腹部撮像に関して支配的な選択肢である。これらによれば、比較的単純なシステムのビーム形成器を用いて達成される優れた分解能を有する大型の撮像域が提供される。大部分の超音波探触子は圧電セラミックまたは単一結晶から製作されている。各圧電素子は、半波共振子として厚さモードで振動する。技術者は、追加的なインピーダンス整合層、裏当て、及び電氣的チューニング技法を広範に集積させることによって、これらの振動子のバンド幅を広げるように努めてきた。

【 0 0 0 7 】

湾曲した探触子は一般に、圧電セラミック、整合層、及び裏当てを1つの平坦な音響スタックとして積層させることによって製作されている。このスタックは引き続いて、湾曲した形状に一致させてスタックを容易に曲げることができるように、非常に細かなピッチで方形切断される（多くの場合、後面から裏当て、セラミック及び整合層の一部を貫通させる）。次いで、得られた構造は、適当に成形した裏当てブロックのプリフォームに付着される。典型的な一例が米国特許第5,637,800号に開示されている。

【 0 0 0 8 】

2つの直交する曲率半径 r_1 及び r_2 によって任意の表面を1つの点の位置に記述することが可能であることは当技術分野でよく知られている。その表面が連続したままであるという要件は、これら2つの曲率半径の逆数の積が定数となることを要求することと等価である。

【 0 0 0 9 】

$$1 / (r_1 r_2) = \text{定数} \quad (\text{式 1})$$

平坦なプレートに関してはこの2つの曲率半径は共に無限大であり、この定数は0である。したがって、一方の半径の逆数が0のままである場合、方位 (a z i m u t h a l) 方向と上下 (e l e v a t i o n a l) 方向のいずれかにおいてアレイを湾曲させることは容易である。しかし、この両方向での湾曲は厳しい制限を受ける。

【 0 0 1 0 】

最近では、マイクロマシン加工した超音波トランスジューサ (M U T) として知られるタイプ (容量性の場合 (c M U T) や圧電性の場合 (p M U T)) がある) の超音波トランスジューサを製造するために、半導体処理法が使用されている。c M U T は、受信した超音波信号の音波振動を変調されたキャパシタンスに変換する電極を備えた微小な隔壁様のデバイスである。送信に関しては、デバイスの隔壁を振動させこれによって音波を送信するように容量性電荷が変調を受けている。その隔壁が圧電性材料と窒化シリコンやシリコンなどの不活性材料とからなるバイモルフ状 (b i m o r p h i c) であることを除けば、p M U T も同様である。このバイモルフ状の隔壁は、有する感度はより大きい、有するバンド幅特性はより低いことが一般的である。

【 0 0 1 1 】

M U T の利点の1つは、これらが「マイクロマシン加工 (m i c r o m a c h i n i n g) 」の項目に分類される微細製作処理法などの半導体製作処理法を用いて製作可能なことである。米国特許第6,359,367号では以下のように説明されている。

【 0 0 1 2 】

『マイクロマシン加工とは、(A) パターン形成ツール (一般的には、投影アライナやウェハ・ステッパなどのリソグラフィ) と、(B) P V D (物理気相成長法) 、C V D (化学気相成長法) 、L P C V D (減圧化学気相成長法) 、P E C V D (プラズマ化学気相成長法) などの被着ツールと、(C) 湿式化学エッチング、プラズマ・エッチング、イオン・ミリング、スパッタ・エッチングまたはレーザ・エッチングなどのエッチング・ツ

10

20

30

40

50

ルと、からなる組み合わせまたは部分組を用いた微視的構造の形成である。マイクロマシン加工は、典型的には、シリコン、ガラス、サファイアまたはセラミックから製作された基板またはウェハ上で実施される。こうした基板やウェハは、全般的に非常に平坦かつ平滑であると共に、インチ単位の横方向寸法を有している。これらは通常、各処理ツールを移動させる際にカセットに入れたグループとして処理される。各基板はその生成物の複製を多数組み込むことができると（必須ではないが）有利である。マイクロマシン加工には大まかに2つのタイプがあり、1）ウェハまたは基板がその厚さの大部分で塑造を受けるバルク式マイクロマシン加工と、2）その塑造が概してその表面、特にその表面上に薄く被着させたフィルムに限定されている表面マイクロマシン加工と、...。この明細書で使用するマイクロマシン加工の定義には、シリコン、サファイア、すべてのタイプのガラス材料、ポリマー（ポリイミドなど）、ポリシリコン、窒化シリコン、シリコンの酸窒化物、アルミニウム合金、銅合金及びタングステンなどの薄膜金属、スピン・オン・ガラス（SOG）、シリコンの酸化物や窒化物など植え込み可能または拡散させたドーパント及び成長させた薄膜、を含めた従来のまたは周知のマイクロマシン加工可能材料の使用を含む。』

10

本明細書でも、マイクロマシン加工に関して同じ定義を採用することにする。こうしたマイクロマシン加工処理法から得られるシステムは、典型的には、「マイクロマシン加工電子機械システム（micromachined electro-mechanical system：MEMS）」と呼ばれる。

【0013】

20

従来のcMUTは、静電的に「叩かれている（beat）」微小なドラム（窒化シリコンやシリコンなどの別の同様の材料から製作される）に類似している。ドラムヘッドは、超音波の送出及び受け取りの両方のために振動する。cMUT探触子は、その各々が互いにハード配線されたそれぞれの複数の個々のcMUTセルを備えているアレイ状をした多数の素子からなる。

【0014】

典型的なcMUTセルは、シリコン基板上に形成させた空隙を覆うように垂設させた電極を有するシリコンまたは窒化シリコンの薄い膜を備えている。底部電極を、このシリコン基板内または基板上に形成させる、あるいはその基板が導電性となるように基板に対してドーブ処理して形成させている。1つの素子内のすべてのcMUTセルは、上部電極と底部電極を用いて電気的に接続されている。膜は超音波の送出及び受け取りの両方のために振動する。送信の間に膜を撓ませるための駆動力は、上部電極と底部電極の間に電圧が印加されたときのこれらの間の静電気引力である。その膜を交流電圧によって駆動すると、かなりの超音波発生が得られる。逆に、その膜が適当にバイアスされて到来する超音波を受けると、かなりの検出電流が発生する。この膜の典型的な厚さは、1～3マイクロメートルの範囲にあり、また空隙ギャップは概ね0.1～0.3マイクロメートルである。cMUTセルの横方向寸法は、cMUTアレイの動作周波数が2～15MHzの場合に10～100マイクロメートルの範囲にある。

30

【0015】

マイクロマシン加工した容量性超音波トランスジューサは、平坦な結晶シリコン基板上に製作されると共に、超音波変換（transduction）に関する新規方式の代表例の1つである。マイクロマシン加工した膜は、典型的には探触子の動作周波数から遙か上の周波数で発振しており、また上部表面に付加された材料（音響レンズなど）によって減衰を受けるため、これらのデバイスは本来的にブロードバンドである。これらのcMUTは、同等の圧電トランスジューサと比べてより広い周波数範囲にわたり動作するため、Bモード、カラーフロー及び高調波イメージングを改善させることになる。しかし、cMUTの超音波探触子は、曲げに対して非常に剛性で曲がりにくい基板上に構築されるのが普通である。

40

【特許文献1】米国特許第5,637,800号

【特許文献2】米国特許第6,359,367号

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

その音響動作性能の利点を損なうことなく湾曲したcMUT（または、pMUT）基板を製作する方法に対する要求が存在する。詳細には、凸状に湾曲したcMUT基板を製作し、これによって腹部撮像で使用される凸状湾曲の圧電アレイにおいて多くの臨床医が魅力的と感じている広い撮像域を達成する方法に対する要求が存在する。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は、MUTなどのマイクロマシン加工したセンサからなるアレイを備えた湾曲したセンサ・デバイスを目的とする。MUTの場合では、こうした構造によって、MUTに関する性能上の恩恵、並びに湾曲した開口に関するシステム構築上の恩恵が提供される。このデバイスの前面は、凸状であるか凹状であるかのいずれかである。

【0018】

本発明の態様の1つは、概して湾曲したプロフィールを有するスパイン及び該湾曲したスパインの一方の側から延びる多数の歯を備えた支持構造と、この支持構造上に構築されかつ湾曲した開口が設けられるような位置に支持された多数のセンサと、を備えるセンサ・デバイスである。

【0019】

本発明の別の態様は、前面及び後方向に突き出している多数の離間したプラトーを備えた連続した基板と、この基板の前面上に構築された多数のセンサと、その各々がそれぞれのプラトーの背面に取り付けられている多数の裏当て体と、前面を有する支持部材であって該裏当て体のそれぞれの背面が該支持部材の該前面に取り付けられている支持部材と、を備えるセンサ・デバイスであって、これら多数のセンサは同一面内に位置していないセンサ・デバイスである。

【0020】

本発明の別の態様は、前面を有する支持部材と、この支持部材の前面に取り付けられた背面を備えた裏当て材料からなる連続した層と、この裏当て材料からなる連続層に接続されておりかつ該連続層の前方に延びている多数の裏当て体と、その各々がそれぞれの裏当て体の前面に取り付けられた背面を備えている多数の基板セクションであって、該基板セクションの隣接するセクション同士は音響的隔絶用のそれぞれのギャップまたは充満空間によって互いに分離されている基板セクションと、これら基板セクションの前面を覆うように分散させたセンサの多数のグループであって、その各グループは基板セクションのそれぞれの1つの前面上に構築されているセンサ・グループと、を備えるセンサ・デバイスであって、これらのセンサは同一面内に位置していないセンサ・デバイスである。

【0021】

本発明の別の態様は、(a)基板の前面上に多数のセンサをマイクロマシン加工する工程と、(b)該基板の背面を裏当てプレートに取り付け1つの積層を形成させる工程と、(c)該裏当てプレートを貫通しさらに該基板をある部分的な厚さだけ貫通するが、該センサが存在するレベルまでは貫通しないように該積層を背側から方形切断し、切り溝によって分離された多数の歯を形成させかつ該センサは元のままに残す工程であって、該歯は該切り溝の根元の位置で該基板の薄いウェッジによって接続されている方形切断工程と、(d)該基板の該薄いウェッジを同じ方向に曲げ、該方形切断した積層をある方向またはもう一方の方向に屈曲させる工程と、(e)該曲げられた積層の背面を凹状または凸状をしたプロフィールを有する支持部材の前面に取り付ける工程と、を含むセンサ・デバイスの製造方法である。

【0022】

本発明の別の態様は、(a)方形切断を受けない領域にある基板の前面上に多数のセンサをマイクロマシン加工する工程と、(b)該基板の背面を裏当て材料からなるプレートに取り付け1つの積層を形成させる工程と、(c)センサが全く存在しない領域内の該基

10

20

30

40

50

板を貫通しさらに該裏当てプレートにある部分的な厚さだけ貫通するように該積層を前側から方形切断し、これにより切り溝によって分離された多数の歯を形成させる工程であって、該歯は該切り溝の根元の位置で該裏当て材料の薄いウェッジによって接続されている方形切断工程と、(d)該裏当て材料の該薄いウェッジを同じ方向に曲げ、該方形切断した積層をある方向またはもう一方の方向に屈曲させる工程と、(e)該屈曲させた裏当て材料の背面を凹状または凸状をしたプロファイルを有する支持部材の前面に取りつける工程と、を含むセンサ・デバイスの製造方法である。

【0023】

本発明のその他の態様については以下で開示しかつ特許請求する。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0024】

ここで、様々な図において同じ要素が同じ参照番号を有するようにした図面を参照することにする。

【0025】

本明細書で開示している改良内容は、湾曲したMUTアレイを製作する特有の方法である。例証を目的として、マイクロマシン加工した容量性超音波トランスジューサ(cMUT)を利用した本発明の様々な実施形態について記載することにする。しかし、本明細書に開示した本発明の態様はcMUTの使用に限定されるものではなく、pMUTを利用することもあることを理解すべきである。

【0026】

20

マイクロマシン加工した容量性超音波トランスジューサは、超音波エネルギーの送信及び受信が可能な小型の(例えば、 $50\mu\text{m}$ の)容量性「ドラムヘッド」またはセルを備えたシリコンベースのデバイスである。図1を参照すると、典型的なcMUTセル2を断面図で表している。こうしたcMUTトランスジューサ・セルからなるアレイは、典型的には、シリコン・ウェハなどの基板4上に製作されている。各MUTトランスジューサ・セルでは、薄い柔軟な膜または隔壁8(シリコン、窒化シリコン、または適当なその他の材料から製作されることがある)が基板4の上側に垂設されている。膜8は、酸化シリコンまたは窒化シリコンから製作されることがあるような隔絶性支持体(insulating support)6によってその周辺部上に支持されている。この隔絶性支持体は、典型的には、膜8の下有空隙20を囲繞する比較的剛性の高い垂直壁を備えている。1つのcMUTセルは、典型的には、その近傍のセルとで壁のセクションを共有している。膜8と基板4の間の空隙20は、空気や気体で満たされることがある、あるいは全体的や部分的に真空状態にさせることがある。アルミニウム合金、金または適当な別の導体材料などの導体材料からなるフィルムまたは層が膜8上に1つの電極12を形成しており、また導体材料から製作された別のフィルムまたは層が基板4上に1つの電極10を形成している。別法として、その電極10は基板4内に埋め込むことが可能であり、あるいは基板または膜内の大量注入を受けたシリコンによって電極が形成されることがある。さらに、電極12は、図1に示すような底部上ではなく膜8の最上部上とすることも可能であり、あるいは膜内に埋め込むことも可能である。

30

【0027】

40

空隙20によって分離させたこの2つの電極10及び12によって1つのキャパシタンスが形成される。入射する音響信号が膜8を振動させると、キャパシタンスの変動を付随する電子回路(図1では図示せず)を用いて検出し、これによって音響信号を電気信号に変換することができる。逆に、この電極のうちの一方に印加するAC信号はこの電極上の電荷を変調させ、これが次いでこれら電極間での容量性の力に変調を生じさせ、この力が隔壁を動かして音響信号を送信させることになる。

【0028】

動作時においてcMUTセルは、典型的には、これらの電極間に印加した時間変動する電圧 $v(t)$ と比べてかなり大きなdcバイアス電圧 V_{bias} を有している。このバイアスは、クーロン力によって上部電極を底部に向かって引き寄せる。このバイアスが大き

50

い場合では、c M U T のドラムヘッドは次式によって与えられる膜変位 u を受ける。

【 0 0 2 9 】

$$u(t) = (\varepsilon / d^2) * V_{bias} * v(t) \quad (\text{式 } 2)$$

上式において、 d はコンデンサの電極すなわちプレート間の距離であり、また ε はセルの実効誘電率である。c M U T セルの感度は、バイアス電圧が高くかつ電極が互いに接近している場合に最大となることが分かっている。

【 0 0 3 0 】

典型的な M U T はマイクロメートル・サイズの寸法であるため、単一のトランスジューサ素子を形成させるように多くの M U T セルがごく接近させて製作されるのが典型的である。個々のセルは、円形、長方形、六角形、または別の周囲形状を有することができる。六角形の形状によれば、1つのトランスジューサ素子の M U T セルの高密度充填が提供される。これらの M U T セルは、そのトランスジューサ素子に様々なセル・サイズの合成特性を有させるように様々な寸法を備えることが可能であり、これによってトランスジューサにブロードバンド特性を与えることができる。c M U T セルは、マイクロマシン加工処理において互いに電氣的に接続させ、素子を形成させることができる。

【 0 0 3 1 】

c M U T 及び p M U T は、M E M S 基板の表面上に薄い層の形に形成されるのが普通である。シリコンは群を抜いて最もよく用いられる基板であるが、特定の用途向けにはガリウムヒ化物、半導体ヘテロ接合、さらにはセラミックやポリマーなどの別の材料も利用可能である。従来の半導体製作処理法によって概ねマイクロメートルのオーダーの層が被着されると共に、リソグラフィ技法を使用して特定のパターンが生成される。表面マイクロマシン加工した c M U T に関する詳細な製作については幾つかの出版物に記載されている。例えば、Ladabaumらによる「Surface Micromachined Capacitive Ultrasonic Transducers」(IEEE Trans. UFFC, Vol. 45, No. 3, 678~690頁(1998)); Jinらによる「Micromachined Capacitive Transducer Arrays for Medical Ultrasound Imaging」(Proc. IEEE Ultrason. Symp., Sendai, Japan (1998), 1877~1880頁); 並びに Jinらによる「The Microfabrication of Capacitive Ultrasonic Transducers」(IEEE/ASME J. Microelectromech. Syst., Vol. 7, 295~302頁, Sept. (1998)) を参照されたい。さらに最近の研究によって、ウェハ結合によって M U T 膜を形成させるためにバルク式マイクロマシン加工も使用できるようにした方法が示されている。

【 0 0 3 2 】

M U T は、従来では平坦なシリコン・ウェハ上に製作されている。典型的な M U T 製作には個々の多くのプロセスが必要であるため、これら個々の工程に対するプロセス制御が不可欠である。平坦な基板によればより広い面積にわたってより均一な被着が得られる、というのは機器が平坦基板を受け入れるように設計されているためである。装置の残りの部分が同心円状の湾曲した表面を有するように作られているならば、これらのプロセスの多くを湾曲した基板上で実施することも原理的には可能である。これには、装置の構成要素をそれぞれ異なる半径向けに修正することが必要となる。したがって、ここ当分の間、平坦な基板以外の箇所上に M U T が製作される見込みはない。

【 0 0 3 3 】

本明細書に開示した発明の幾つかの実施形態では、平坦なウェハ上に c M U T アレイが製作され、引き続いてこれらのウェハを曲げ(すなわち、屈曲させ)、湾曲した開口を凸状または凹状に形成させている。圧電アレイを曲げるために使用される方法との大きな違いは、シリコンの弾性係数及び破壊靱性が整合層のプラスチックや圧電セラミックのそれと比べて非常に異なることに由来する。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

圧電セラミックの場合の一例では、セラミックの上部表面上に２つの音響整合層が積み重ねられている。デバイスと一緒に保持するための外側整合層材料の薄いウェッジが残されるようにして、セラミック及び内側整合層が後面から方形切断される。次いで、この薄弱な構造は堅固なパッキング・プレートの上まで慎重に曲げられ、ここに接着性に結合させて定着される。アレイ内の応力は外側整合層に限定される。

【 0 0 3 5 】

曲げ応力及び破壊靱性に関する検査によれば、湾曲した圧電性アレイとシリコンベースの c M U T アレイとの間の製作の違いが強調される。曲げられているプレート内の応力 σ_z は、次式のように、その引張及び圧縮の弾性係数（ヤング率、E）に比例しかつその曲率半径 R に反比例する。

【 0 0 3 6 】

$$\sigma_z = E \times / R \quad (\text{式 3})$$

上式において、x はプレートの中心を原点とするプレート厚の寸法方向における距離である。したがって、低い弾性係数を有する材料は曲げるのがより容易である。表 1 は、超音波トランスジューサの製作に使用される幾つかの材料の弾性係数及び破壊靱性を表している。シリコンと圧電セラミックはいずれも他のトランスジューサ材料と比べてかなり堅固であり、またシリコンは弾性係数が最も大きい。破壊靱性は、現存する亀裂から材料を破損させるのに要する力に比例する。材料はすべて、本質的にさらに亀裂に進む可能性があるような微視的な欠陥（f l a w）を有するものと仮定することができる。

【 0 0 3 7 】

【表 1】

材料	弾性係数(E)－引張／圧縮 (10^{10} N/m^2)	弾性係数－せん断 (10^{10} N/m^2)	破壊靱性(K) ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
圧電セラミック (PZT)	14	2	3～5
整合層 (Rexolite)	0.9	0.1	1.0
けい素	17	8	0.9

【 0 0 3 8 】

破断の可能性を評価するためには、加えられた引張応力と垂直方向に広がる亀裂の近傍で応力を検査することができる。

【 0 0 3 9 】

$$\sigma = K / (2 \pi x)^{1/2} \quad (\text{式 4})$$

上式において、K は破壊靱性であり、また x は亀裂の先端からの距離である。x が最大の場合にプレートの縁の位置に生じる最大応力を用い、かつ応力を等しくさせることによって、亀裂に関する次の関係式が得られる。

【 0 0 4 0 】

$$(E / 2 R) (t^3 \pi)^{1/2} > K \quad (\text{式 5})$$

上式において、t はプレートの厚さである。このため、一定の半径において破損を生じずに曲げるための性能指数は次式となる。

【 0 0 4 1 】

$$K / (E t^3)^{1/2} \quad (\text{式 6})$$

別の表現をすると、ある一定の半径において破断に抗する同じマージンを維持するため

には、シリコンは、圧電セラミック用の典型的な外側整合層である R e x o l i t e (商標) と比べて約 7 倍薄くしなければならない。

【 0 0 4 2 】

圧電式の場合では、後ろ側から方形切断すると、P Z T 構造は比較的従順な材料である整合層にその応力を限定させる。同様に、前側からの方形切断によれば、その応力は受当な伸縮性をもつ音響裏当てに限定される。M U T 場合では、シリコンの前面には応力を受け入れるものは何も存在しておらず、別の方策が必要となる。同じ構造では、x (すなわち、残留するシリコン・ウェット) を曲げの前に最小限にすることによって、その応力を最小化することが可能である。さらに、M U T の方形切断が望ましくないことには重大な理由が存在する。M U T テクノロジーの主要な利点の 1 つは、個々の素子に対して細かな注意を払うことを要することなく、シリコン処理を用いてトランスジューサ素子のアレイ全体に対する処理ができるという容易さにある。方形切断では、下に位置する電子回路のサイズや後続の半導体処理法の種類が限定される。

10

【 0 0 4 3 】

シリコンは、十分に薄ければ、ウェハ内の残留応力に応答してカーブする。このことは、ウェハの一方の側に引張り強さの大きい層が付加され、これによりその構造全体を歪ませる場合に特に顕著となる。多くの c M U T 構造では、膜表面がすでにこの役割をしており、これにより、広い撮像域が望まれる用途において、そのカーブが患者から離れる方向に向くのではなく本来的に誤った方向となる。本来の性向に打ち克つようにウェハの後面上に層を付加することはさらに困難となる。

20

【 0 0 4 4 】

さらに、亀裂が鋭利なエッジを有する場合には破断がより起こりやすくなることは当技術分野でよく知られている。したがって、隔絶用の切り溝は非常に平滑な表面及び丸みのある角を有することが望ましい。このことは、幾つかの方法によって達成することができる。ダイヤモンド鋸を用いると、比較的丸みのある角を有するようにそのブレードを仕上げるができる。レーザー処理を用いると、そのビームの回折はこうした比較的緩やかなプロファイルを生成させる傾向がある。最後に、すでに作成されたスロット内に比較的等方性のエッチングを用い、通常はぎざぎざした領域となるような領域をなだらかにさせることができる。こうした等方性のエッチングは、M . G a d - e l - H a k によって編集された T h e M E M S H a n d b o o k (C R C P r e s s , 2 0 0 2) のセクション 1 6 . 5 の「W e t I s o t r o p i c a n d A n i s o t r o p i c E t c h i n g 」において M . J . M a d o u により開示されている。これに開示されているように、等方性エッチング剤は通常は、H F / H N O ₃ / C H ₃ C O O H (H N A) など酸性であり、また単一結晶のシリコン内に丸みのある等方性のフィーチャを作成する。

30

【 0 0 4 5 】

ここで、本発明の様々な実施形態について記載することにする。開示した各実施形態は、支持構造と、この支持構造上に構築されかつ湾曲した開口が設けられるような位置に支持された多数の M U T セルと、を備えた超音波探触子である。さらにこの支持構造は、概して湾曲したプロファイルを有するスパインと、この湾曲したスパインの一方の側から延びる多数の歯と、を備えている。探触子の作用面は、凹状または凸状のプロファイルを有することがある。このスパインは、c M U T をその上に構築させるシリコン基板のうちの方形切断されていない部分によって形成されることや、音響減衰性の材料から製作された裏当て層の方形切断されていない部分によって形成されることがある。後者の場合には、c M U T は歯の端部面上に配置されている。しかし、超音波探触子以外のセンサ・デバイスも本発明の範囲に属することを理解すべきである。例えば、マイクロマシン加工した温度、圧力または光学センサのアレイを備えた湾曲センサ・デバイスを製造することができる。

40

【 0 0 4 6 】

図 2 から 4 は、本発明の一実施形態に従った湾曲した超音波探触子の製造に関する 3 つの段階を表している。製造段階の 1 つでは、シリコン基板 2 2 上に構築された c M U T セ

50

ル 2 4 を備えた平坦な c M U T ウェハが、例えば、音響的に透明となるような薄いエポキシの層（図示せず）によって、音響減衰性の材料から製作された平坦な裏当てプレート 2 6 に積層される。この音響裏当て材料は、音響エネルギー反射がデバイス内に戻るのを防止するために、c M U T 基板 2 2 と音響的に整合させた組成を有している。適当な裏当て材料の一例は、「Back ing Material for Micromachined Ultrasonic Transducer Devices」と題する米国特許出願第 1 0 / 2 4 8 , 0 2 2 号（US 2 0 0 4 0 1 1 3 5 2 4 A 1）に開示されているように、互いに混合させると共にダイ内で熱間圧縮させたタングステンとポリ塩化ビニル（PVC）の粉末からなる混合物を備えている。この裏当て 2 6 は、両方の表面を清浄しこれらに接着促進剤を塗布した後で、低粘性のエポキシを用いてシリコン基板 2 2 の背側に結合させることがある。

10

【 0 0 4 7 】

破線によって区画された層 2 4 は、シリコン基板 2 2 上に作成した多数の c M U T セルを表している。c M U T 層 2 4 の上部表面は探触子の前面を形成している。上で記載したように、各グループの c M U T セルは一緒にして、形成させたトランスジューサ探触子のそれぞれの素子にハード配線させている。

【 0 0 4 8 】

図 3 に示した次の製造段階では、裏当てプレート 2 6 の背面からこの積層を方形切断し、これによって多数の概して相互に平行なスロットまたは切り溝 2 8 が形成される。各切り溝は、裏当てプレート 2 6 の厚さ全体を貫通し、かつシリコン基板 2 2 の厚さを部分的に貫通している。この切り溝は、c M U T セルが存在するレベル 2 4 までは到達しておらず、このため方形切断操作によっても c M U T セルは元のままである。方形切断操作の結果、従順性のスパインによって接続された多数の歯を備えた構造が形成される。各歯は、シリコンの層と裏当て材料の層とを備えている。切り溝 2 8 の根元の位置にあり、c M U T セルがその上に構築されるシリコンから製作されている薄いウェッブ 2 5 は従順性であると共に、前方向と後方向のいずれかに積層を曲げることを可能にしている、ただし、切り溝がその遠位端（すなわち、根元から遠い側）において狭められる積層の後方向への曲げは、各切り溝の反対側面上の隣接する歯の接触によって制約を受ける。この方式では、これと反対方向の曲げは制約を受けない。

20

【 0 0 4 9 】

曲げの応力を逃がすために使用される切り溝またはスロットの方形切断は、素子 1 つあたり切り溝 1 つの割合で規則正しい間隔で実施することがあり、この場合にその切り溝は隣接する素子同士の境界の位置に配置させることが好ましい。典型的には、素子は概ね 1 0 分の数ミリメートルのピッチで出現し、一方曲げのための切り溝またはスロットは概ね 1 ミリメートルのピッチを有するだけで十分なことがある。最も単純な解決法では、例えば素子 5 個ごとに、または素子 1 0 個ごとになど、方形切断スロットからなる周期性のアレイを使用することになる。これによって、チップに対する均一な曲げが得られる。

30

【 0 0 5 0 】

図 4 は、図 3 に示した方形切断された積層が後方向に曲げられて湾曲した支持部材 3 0 に取り付けられる製造プロセスの別の段階を表した図である。より具体的には、ウェッブ 2 5 はすべて、屈曲した方形切断積層が形成されるように同じ方向に曲げられており、c M U T セルが存在しているこの積層の作用前面は概して湾曲した状態となる。この場合、切り溝 2 8 の根元の幅は実質的に変わらないが、切り溝の反対側の端部（隣接する歯の先端間）における幅は若干狭められる。歯の端面は支持部材 3 0 の湾曲した前面 3 6 に取り付けられている。支持部材 3 0 のこの湾曲前面は、この例では、最終的な探触子の上下方向で一定な湾曲プロフィールを有している。積層は主に薄いウェッブ 2 5 の位置で曲っているため、c M U T セルは、多角形の一部に近い凸状プロフィールを有する切り子面の各セグメントに沿って概ね配置されることになる。最終的な探触子は、c M U T アレイの凸状性のために有する撮像域が広がる。

40

【 0 0 5 1 】

50

別法として図3に示した積層は、前方向に曲げ次いでそのプロファイルが上下方向で一定な凹状に湾曲した前面を有する支持部材に取り付けることも可能である。これによれば、この場合も多角形の一部に近い凹状プロファイルを有する切り子面の各セグメントに沿ってそのcMUTセルが概ね配置されている集束式の超音波探触子が提供される。

【0052】

積層の歯を接続しているシリコン・ウェッブが十分に薄ければ、上下方向と方位方向の両方向にカーブしたcMUTアレイを用いて探触子を形成させることができる。これには、複数の切り溝を2つの方向（例えば、互いに直交する方向）で方形切断する必要がある。この場合、そのウェッブは十分に伸縮性がある、すなわち変形可能とさせるべきである。得られる皿状のアレイは、凸状と凹状のいずれにすることもできる。

10

【0053】

図5は、本発明の代替的な一実施形態を表している。この積層は、背側からの方形切断ではなく前側から方形切断されており、これによってこの場合も、多数の概して相互に平行なスロットまたは切り溝28が形成される。この実施形態では、各切り溝28は、シリコン基板22の厚さ全体を貫通し、かつ裏当てプレート26の厚さを部分的に貫通している。方形切断操作の結果、従順性のスパインによって接続された多数の歯を備えた構造が形成される。各歯は、シリコンの層と裏当て材料の層とを備えている。この実施形態では、切り溝28の根元の位置にある薄い従順性のウェッブ25は裏当て材料から製作されている。これら従順性のウェッブは、前方向と後方向のいずれかに積層を曲げることを可能にしている、ただしここでも、切り溝がその遠位端（すなわち、根元から遠い側）において狭められる積層の後方向への曲げは、各切り溝の反対側面上の隣接する歯の接触によって制約を受ける。

20

【0054】

ウェハのcMUT層24は方形切断されているため、cMUTセルは、シリコン基板のうちの方形切断を受けない部分上にのみ構築される。例えば、それぞれの素子が各歯の端面を占めるようにしてcMUTセルをマイクロマシン加工することも可能である。別法として、切り溝のピッチは、各歯端面が素子のそれぞれの組によって占められるようにすることも可能である。いずれの場合も、マイクロマシン加工の間においてcMUTセルは、切り溝を切る領域をcMUTセルが占めることがないようにして配置される。さもないと、方形切断鋸の経路内にあるcMUTセルが損傷を受けることになる。

30

【0055】

図5において、湾曲した矢印は、その裏当て層の背面が凹状プロファイルを採用している積層の屈曲を示すことを目的としている。次の製造工程では、裏当て層26の凹状の背面が支持部材30'の凸状の前面38に取り付けられる。この実施形態では、支持部材の前面のプロファイルは、この場合も上下方向で一定である。より具体的には、そのウェッブ25のすべてが同じ方向に曲げられ、cMUTセルを保持している歯が若干扇形状に広がっているような屈曲した方形切断積層が形成される。具体的なある1つの歯の端部面上のcMUTセルは1つの直線セグメントに沿って位置しており、こうしたセグメントはすべて湾曲線に沿ったそれぞれの点において該湾曲線に対して概ね接線となるように配置されている。

40

【0056】

別法として、図5に示した積層は、前方向に曲げ、次いでそのプロファイルが上下方向で一定な凹状に湾曲した前面を有する支持部材に取り付けることも可能である。これによれば、この場合も多角形の一部に近い凹状プロファイルを有する切り子面の各セグメントに沿ってそのcMUTセルが概ね配置されている集束式の超音波探触子が提供される。

【0057】

図5に示した実施形態は、横方向モードで捕捉された音波による干渉が固定して強め合う可能性を増大させる。方形切断スロットの各側面は良好な反射体となる傾向があるため、横方向に伝播する音波は、各歯のウェハ部分の内部で行ったり来たり繰り返し反射する傾向があり、これによりゆっくりと減衰すると共に、デバイスの検知部分内に連続して漏

50

洩する。これらの横方向の音波は、ゴム加工したプラスチックまたはシリコンなどの減衰性材料で方形切断切り溝を満たすことによって減衰させることが極めて望ましい。この切り溝の充填材料は、シリコンの音響インピーダンスを整合させるために高密度の粒子（タングステンなど）で満たされることもある。こうすると、シリコンから減衰用切り溝充填剤内への音響エネルギーの伝達が向上すると共に、周期的なスロットに由来することがあるモードが排除される。この特徴を、切り溝に充填する音響減衰性材料を参照番号32で示した図6に表している。別の方策の1つは、正確な周期性、したがってある特定の周波数をもつ強い信号を回避するために、方形切断するスロットをランダムにすることである。

【0058】

切り溝の充填は、別の信号クロスオーバを減衰低下させかつ分離させるように変更することも可能である。例えば、各歯の位置における温度計測を分離させるため、切り溝内に断熱材料を入れることが可能である。

【0059】

任意選択では、曲げる前に、ウェハの後ろ側からシリコンの層を除去することによってそのcMUTウェハを薄くさせることができる。この方法は、シリコン内の応力を低下させることを目的としている。典型的なcMUTウェハは厚さが400～600マイクロメートルである。このウェハは、柔軟性が得られるように薄く（典型的には例えば、150マイクロメートル）させることが可能である。その後、図2に示した積層が形成されるように裏当てが付加される。薄くしたシリコン・ウェハは、まさに郵便切手のようにカー

【0060】

本発明の別の態様では、超音波変換に関連する機能や超音波変換とは別の機能を提供するために、広バンド幅のcMUTアレイをシリコン・ウェハ上で切り替え回路と一体化させることができる。こうした一体化構造では、トランスジューサ素子のサイズによって、これら素子の直ぐ下でシリコン内にある切り替え回路の寸法が確定される。こうした一体化構造の概略を、ウェハ/裏当て積層が前側から方形切断を受ける場合について図7に表している（図7は、アレイの2つの歯だけを図示している）。例えば、シリコン基板22の最上部上にCMOS電子回路34が製作される。次いで、CMOS電子回路34の最上部上にcMUTセル24が製作される。図7に示した構造は前側から方形切断されているため、cMUTセル24及びCMOS電子回路34を含む層は両方が方形切断を受ける。したがって、cMUTセル及びCMOS電子回路は、シリコン基板のうち方形切断を受けない部分上だけに構築され、これによってcMUT及びCMOS電子回路に対する損傷が回避される。平坦な裏当てプレート26は音響減衰性の材料から製作される。

【0061】

このCMOS電子回路には、追加的なパシベーション（passivation）層及び金属層（図示せず）を用いてcMUTの底部電極（図7では図示せず）を接続することができる。ある層と別の層との電気的な相互接続は、パシベーション層（図示せず）を貫通する金属化したビアによって提供することができる。切り替え回路に関する幾つかの例は、高電圧切替用トランジスタ、スイッチ、制御ロジック及びインピーダンス整合デバイス向けのゲート駆動トランジスタ、並びにその他の回路とすることが可能である。

【0062】

そのセンサが基板上でバルク式マイクロマシン加工される場合では、付属回路を含んだ第2の基板をセンサ基板に積層させ、かつこの後者内にある金属化ビアによって電氣的に接続させることができる。

【0063】

本発明について好ましい実施形態を参照しながら記載してきたが、当業者であれば、本発明の範囲を逸脱することなく様々な変更が実施されることがあること、並びにその素子が等価物によって代用されることがあること、を理解されよう。さらに、本発明の本質的な範囲を逸脱することなく、具体的な状況を本発明の教示に適合させるように多くの修正

10

20

30

40

50

が実施されることがある。したがって、本発明を実施するように企図された最適モードとして開示したこれら具体的な実施形態に本発明を限定しようと意図しておらず、むしろ本発明は、添付の特許請求の範囲の趣旨域内に属するすべての実施形態を含むように意図している。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 4 】

【図 1】典型的な c M U T セルの断面図である。

【図 2】製造プロセスのうち c M U T ウェハを裏当てプレートに対して積層させる段階を表した図である。

【図 3】本発明の一実施形態による製造プロセスのうち図 2 に示す積層に対して背側から方形切断が実施された段階を表した図である。

10

【図 4】製造プロセスのうち図 3 に示す方形切断済みの積層が曲げられて湾曲した支持部材に取り付けられた別の段階を表した図である。

【図 5】本発明の別の実施形態による製造プロセスのうち図 2 に示す積層に対して前側から方形切断が実施された段階を表した図（方形切断された積層が曲げられて湾曲した支持部材に取り付けられる次の段階を矢印によって示している）である。

【図 6】前側から方形切断されかつ曲げられた積層であって、これに続いて切り溝が吸音材料によって満たされている積層を表した図である。

【図 7】本発明の別の実施形態に従って、C M O S 電子回路が c M U T ウェハ内に組み込まれている方形切断された積層の 2 つの歯を表した図である。

20

【符号の説明】

【 0 0 6 5 】

2 c M U T セル

4 基板

6 隔絶性支持体

8 薄い膜、隔壁

1 0 電極

1 2 電極

2 0 空隙

2 2 c M U T 基板

30

2 4 c M U T 層

2 5 ウェップ

2 6 裏当てプレート

2 8 切り溝

3 0 支持部材

3 0 ' 支持部材

3 2 吸音材料

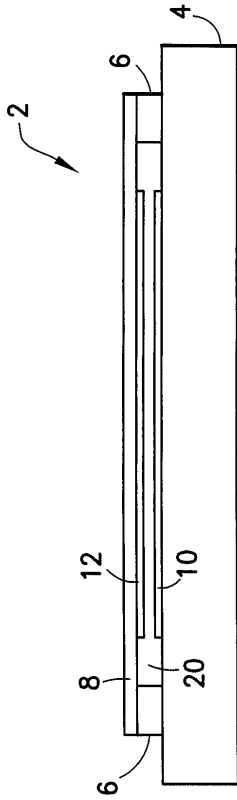
3 4 C M O S 電子回路

3 6 支持部材前面

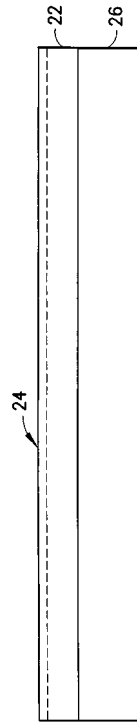
3 8 支持部材前面

40

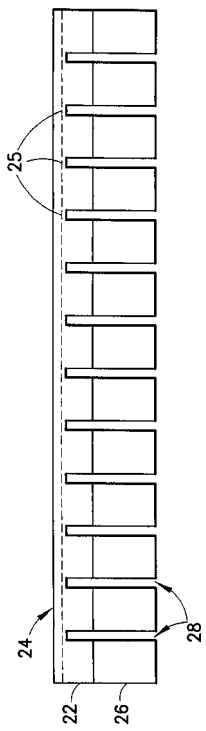
【図 1】



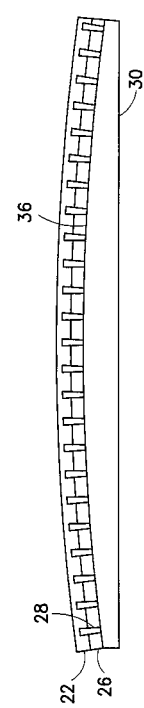
【図 2】



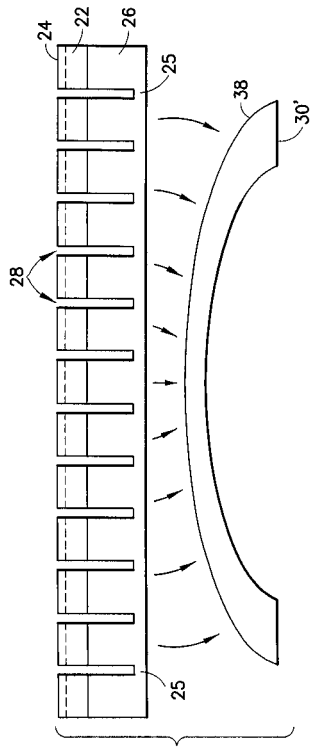
【図 3】



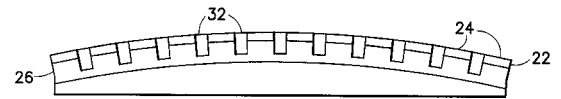
【図 4】



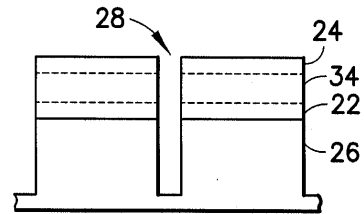
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 レイエット・エー・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 デビッド・エム・ミルズ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ヘリテッジ・ロード、1915番
- (72)発明者 ロウエル・スコット・スミス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、チェシャー・プレイス、24番
- (72)発明者 ロジャー・エス・ルバンドウスキー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、アムステルダム、カウンティ・ハイウェイ・126、978番

審査官 大野 弘

- (56)参考文献 特開2001-197593(JP, A)
特開平01-099535(JP, A)
実開平05-020499(JP, U)
特開2002-027594(JP, A)
特表2000-508860(JP, A)
特開平02-117299(JP, A)
特開平10-285695(JP, A)
特開2002-084597(JP, A)
特表2003-503923(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04R 17/00
A61B 8/00
G01N 29/24
G01S 7/521
H04R 19/00

专利名称(译)	微机械弯曲超声换能器阵列及相关制造方法		
公开(公告)号	JP4795683B2	公开(公告)日	2011-10-19
申请号	JP2004380329	申请日	2004-12-28
[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	レイエットエーフィッシャー デビッドエムミルズ ロウエルスコットスミス ロジャーエスルバンドウスキー		
发明人	レイエット・エー・フィッシャー デビッド・エム・ミルズ ロウエル・スコット・スミス ロジャー・エス・ルバンドウスキー		
IPC分类号	H04R19/00 H04R17/00 G01N29/24 A61B8/00 B06B1/02 B81B1/00 B81B3/00 B81B7/04 B81C1/00 G01S7/521 H01L27/20 H01L41/08		
CPC分类号	G01N29/2406 B06B1/0292		
FI分类号	H04R19/00.330 H04R17/00.332.A A61B8/00 G01N29/24.502 G01S7/52.A G01S7/521.A		
F-TERM分类号	2G047/CA01 2G047/DB06 2G047/EA14 2G047/GA02 2G047/GB02 2G047/GB32 4C601/BB25 4C601 /EE12 4C601/GA03 4C601/GB04 4C601/GB41 5D019/BB18 5D019/DD01 5D019/FF01 5J083/AB17 5J083/AC31 5J083/AE08 5J083/CA12 5J083/CA24 5J083/CA32 5J083/CA50 5J083/CB14		
代理人(译)	小仓 博 伊藤亲		
审查员(译)	大野 弘		
优先权	10/749645 2003-12-31 US		
其他公开文献	JP2005210710A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种制造弯曲基板的方法，而不会降低声学操作性能的优点。 弯曲传感器装置，例如超声换能器阵列，由使用微机械电子机械系统（MEMS）技术制造的微机械平面传感器阵列（例如cMUT和pMUT）制成。这一点。该装置包括支撑结构（22,26），其具有脊柱，脊柱具有大致弯曲的轮廓和从弯曲脊柱的一侧延伸的多个齿，以及多个传感器（24），它配备有一个。脊柱可以向前或向后弯曲以附接到支撑构件的弯曲前表面，从而使传感器适应弯曲阵列。 点域5

材料	弾性係数(E)－引張／圧縮 (10^{10} N/m ²)	弾性係数－せん断 (10^{10} N/m ²)	破壊靱性(K) (MPa・m ^{1/2})
圧電セラミック (PZT)	14	2	3~5
整合層 (Rexolite)	0.9	0.1	1.0
けい素	17	8	0.9