

(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2005-103294

(P2005-103294A)

(43) 公開日 平成17年4月21日(2005.4.21)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

A 6 1 B 8/00

H 0 4 R 17/00

F I

A 6 1 B 8/00

H 0 4 R 17/00 3 3 2 B

テーマコード (参考)

4 C 6 0 1

5 D 0 1 9

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2004-285612 (P2004-285612)  
 (22) 出願日 平成16年9月30日 (2004. 9. 30)  
 (31) 優先権主張番号 10/676, 202  
 (32) 優先日 平成15年10月1日 (2003. 10. 1)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
 GENERAL ELECTRIC CO  
 MPANY  
 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 100093908  
 弁理士 松本 研一  
 (74) 代理人 100105588  
 弁理士 小倉 博  
 (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

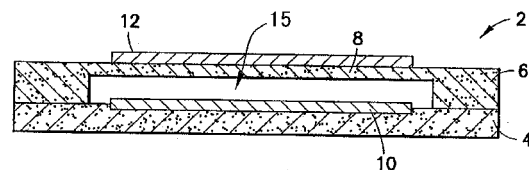
(54) 【発明の名称】 集束を行なう超微細加工超音波トランスデューサ・アレイ及び関連する製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 仰角方向に集束する超微細加工超音波トランスデューサ (MUT) アレイを提供する。

【解決手段】 仰角方向に集束する超微細加工超音波トランスデューサ・アレイ (4 6) では、彎曲レンズ (2 8、3 0、3 2 又は 4 8) を用いてビーム幅を仰角方向に狭めて、コントラスト分解能を高めて臨床用途に適したものとする。代替的には、超微細加工した基材が所定の曲率を有するように基材を撓曲させることにより彎曲型プローブを形成する。本発明はさらに、かかるトランスデューサの製造方法にも関わる。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

超微細加工超音波トランスデューサ（MUT）セル（2）のアレイを備えた仰角集束型超音波プローブ。

## 【請求項 2】

前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルのアレイに接着されている彎曲レンズ（28、30、32又は48）と、前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルがその上に構築されている基材（18又は40）と、前記レンズと前記アレイとの間の接着剤層と、をさらに含んでいる請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 3】

前記接着剤層と前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルのアレイとの間に配設されており、前記レンズから前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルへの化学物質の拡散を防ぐ材料で構成されているバリア層をさらに含んでいる請求項 2 に記載のプローブ。

## 【請求項 4】

前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルがその上に構築されている彎曲基材（40）と、前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルのアレイを覆う保護材料層と、をさらに含んでいる請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 5】

前記アレイは共に結線されている多数の超微細加工超音波トランスデューサ・セルを含んでおり、該超微細加工超音波トランスデューサ・セルは並列して配列されて全体的に矩形の区域（20）を覆っており、該矩形の長さが仰角方向に整列しており、前記レンズは前記仰角方向に彎曲している、請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 6】

前記レンズは円筒型、多焦点型又は楕円型である、請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 7】

前記アレイと前記レンズとの間に定着剤層をさらに含んでいる請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 8】

前記レンズはシリコンゴム製であり、前記接着剤は室温硬化性シリコンゴム製である、請求項 1 に記載のプローブ。

## 【請求項 9】

前記定着剤はシリケート、有機金属化合物又は反応性オルガノシランである、請求項 6 に記載のプローブ。

## 【請求項 10】

前記超微細加工超音波トランスデューサ・セルのアレイの下方に設けられている相補型金属酸化膜半導体（CMOS）電子回路の層（44）と、

該相補型金属酸化膜半導体電子回路の層の下方に設けられているシリコン基材（40）と、

をさらに含んでいる請求項 1 に記載のプローブ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は一般的には、超微細加工超音波トランスデューサ（MUT）のアレイに関する。MUTの特定のな一応用は医療診断超音波イメージング・システムにある。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来の超音波イメージング・システムは、超音波ビームを送波し、次いで被検体から反射ビームを受波するのに用いられる超音波トランスデューサのアレイを含んでいる。かかる走査は、集束された超音波を送波し、短時間の後にシステムを受波モードに切り換えて

10

20

30

40

50

、反射した超音波を受波し、ビームフォーミングして、表示用に処理するという一連の測定を含んでいる。典型的には、送波及び受波は各回の測定中は同一方向に集束されており、音波ビーム又は走査線に沿った一連の点からデータを取得する。受波器は、走査線に沿って絶えず再集束を行ないながら、反射した超音波を受波する。

【 0 0 0 3 】

超音波撮像では、アレイは典型的には、1列以上の列を成して配列されており送波時に別個の電圧で駆動される多数のトランスデューサを有している。印加電圧の時間遅延（すなわち位相）及び振幅を選択することにより、所与の列の個々のトランスデューサを制御して複数の超音波を発生することができ、これらの超音波を結合して、好ましいベクトル方向に沿って走行しておりビームに沿った選択されたゾーンに集束されている正味の超音波を形成する。

10

【 0 0 0 4 】

トランスデューサ・プローブを用いて受波モードで反射音波を受波するときにも同じ原理が適用される。受波を行なうトランスデューサに発生される電圧を、正味の信号が対象内の単一の焦点ゾーンから反射した超音波を示すものとなるように加算する。送波モードの場合と同様に、この集束式超音波エネルギー受波は、受波を行なっている各々のトランスデューサからの信号に対して別個の時間遅延（及び/又は位相シフト）並びにゲインを付与することにより達成される。帰投信号の深さの増大によって時間遅延を調節して、受波時の動的集束を行なう。

【 0 0 0 5 】

20

形成される画像の品質又は分解能は部分的には、トランスデューサ・アレイの送波アパーチャ及び受波アパーチャをそれぞれ構成するトランスデューサの数の関数となっている。従って、高画質を達成するためには、二次元撮像応用でも三次元撮像応用でもトランスデューサ（本書では素子とも呼ぶ）を多数にすることが望ましい。超音波トランスデューサは典型的には、手掌可搬型のトランスデューサ・プローブに配設されており、プローブは可撓性のケーブルによって電子ユニットに接続されており、電子ユニットはトランスデューサ信号を処理して超音波画像を形成する。トランスデューサ・プローブは、超音波送波サーキットリ及び超音波受波サーキットリの両方を含んでいてよい。

【 0 0 0 6 】

近年、半導体プロセスを用いて、容量型（c M U T）又は圧電型（p M U T）等の超微細加工超音波トランスデューサ（M U T）として公知の形式の超音波トランスデューサを製造することが行なわれている。c M U Tは微小なダイヤフラム様の装置であり、超音波受波信号の音響振動を変調するキャパシタンスへ変換する電極を備えている。送波については、容量電荷を変調して装置のダイヤフラムを振動させることにより、音波を送波する。

30

【 0 0 0 7 】

M U Tの一つの利点は、「超微細加工（マイクロマシニング）」との頭語で括られる超微細製造プロセスのような半導体製造プロセスを用いて製造し得ることである。米国特許第6,359,367号の説明によれば、次の通りである。

【 0 0 0 8 】

40

「超微細加工は、次の各項の組み合わせ又は部分集合を用いた微視的構造の形成である。すなわち（A）パターンング・ツール（一般的には投影露光装置又はウェーハ・ステッパ等のリソグラフィ）、（B）P V D（物理的気相堆積）、C V D（化学的気相堆積）、L P C V D（低圧化学的気相堆積）及びP E C V D（プラズマ化学的気相堆積）のような堆積ツール、並びに（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・エッチング又はレーザ・エッチング等のエッチング・ツール等である。超微細加工は典型的には、シリコン、ガラス、サファイア又はセラミックス製の基材又はウェーハ上で行なわれる。かかる基材又はウェーハは一般的には、極めて平坦且つ滑らかであり、インチ単位の横寸法を有している。これらの基材又はウェーハは通常、カセット内のグループとして、加工ツールから加工ツールへ移動しながら加工される。各々の基材は

50

、製品の多数の複製を組み入れることができ有利である（但し必須ではない）。超微細加工には大きく分けて二つの形式がある。すなわち、（１）バルク超微細加工。この場合にはウェーハ又は基材はその厚みの大部分を蝕刻される、及び（２）表面超微細加工。この場合には蝕刻は一般的には、表面、具体的には表面上の薄膜堆積フィルムに限られる。本書で用いられる超微細加工の定義は、超微細加工が可能な従来の又は公知の材料の利用を含んでおり、かかる材料としては、シリコン、サファイア、あらゆる形式のガラス材料、ポリマー（ポリイミド等）、多結晶シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、アルミニウム合金、銅合金及びタングステンのような薄膜金属、スピン・オン・ガラス（ＳＯＧ）、埋め込み（implantable）ドーパ剤又は拡散ドーパ剤、並びに酸化シリコン及び窒化シリコンのような成長フィルム等がある。」

10

本書でも同じ超微細加工の定義を採用する。かかる超微細加工工程から得られるシステムを典型的には「超微細加工電気機械システム（ＭＥＭＳ）」と呼ぶ。

【０００９】

典型的なｃＭＵＴセルは、上層金属電極を備えた薄いシリコン膜又は窒化シリコン膜を含んでおり、この膜はシリコン基材上に形成されている空洞部の上方に懸吊されている。底面電極が、シリコン基材内に若しくはシリコン基材上に、又は基材をドーパすることにより、導電性となるように形成されている。一つの素子内の全てのｃＭＵＴセルは、上面電極と底面電極とを結線を用いて電氣的に接続されている。膜は振動して超音波の放出及び受波の両方を行なう。送波時に膜を撓ませる駆動力は、上面電極と底面電極とに跨がって電圧が印加されたときのこれら電極の間の静電引力である。交流電圧で膜を駆動する場合には、かなりの超音波発生が起こる。逆に、膜に適当なバイアスを与えて入射する超音波を受けさせると、かなりの検出電流が発生する。典型的な膜厚は１ミクロン－３ミクロンの範囲にあり、空洞部の間隙は０．１ミクロン－０．３ミクロン程度である。ｃＭＵＴセルの横寸法は、２ＭＨｚ－１５ＭＨｚのｃＭＵＴアレイ動作周波数では１０ミクロン－１００ミクロンにわたる。

20

【特許文献１】米国特許第６，３５９，３６７号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

ｃＭＵＴ（又はｐＭＵＴ）セルは、素子列を形成するように配列されて結線されることができる。かかる線形ｃＭＵＴアレイから放出される超音波エネルギーは、仰角方向に広過ぎるため、医療撮像に有用とは言えない。仰角方向にさらに狭く集束するＭＵＴアレイが必要とされている。

30

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明は、仰角方向に集束する超微細加工超音波トランスデューサ・アレイに関するものである。彎曲レンズを用いてビーム幅を仰角方向に狭めて、コントラスト分解能を高め臨床用途に適したものとする。代替的には、超微細加工した基材が所定の曲率を有するように基材を撓曲させることにより彎曲型プローブを形成する。本発明はさらに、かかるトランスデューサの製造方法にも関わる。

40

【００１２】

本発明の一観点は、ＭＵＴセルのアレイを備えた仰角集束型超音波プローブである。一実施形態によれば、プローブはさらに、ＭＵＴセルのアレイに接着されている彎曲レンズと、ＭＵＴセルがその上に構築されている平坦基材とを含んでいる。もう一つの実施形態によれば、プローブはさらに、ＭＵＴがその上に構築されている彎曲基材と、ＭＵＴセルのアレイを被覆する保護材料層とを含んでいる。

【００１３】

本発明のもう一つの観点は、方位角方向に実質的に一定の輪郭を有する彎曲基材と、彎曲基材上に構築されており焦点の線の方角を向いたＭＵＴセルのアレイであって、ＭＵＴセルが彎曲基材の凹面側に配設されている、ＭＵＴセルのアレイと、ＭＵＴセルのアレイ

50

の面に塗工されている全体的に一定の厚みを有する保護材料層と、を備えた超音波プローブである。

【0014】

本発明のさらにもう一つの観点は、(a)基材上で超音波トランスデューサ・セルのアレイを超微細加工する工程と、(b)予備成形された彎曲レンズ上に又は超微細加工した基材の表面上に接着剤層を塗工する工程と、(c)接着剤層を間に挟んで超微細加工した基材に接するようにレンズを配置する工程と、(d)接着剤を硬化させる工程と、を備えたレンズ加工方法である。

【0015】

本発明のさらにもう一つの観点は、(a)基材上で超音波トランスデューサ・セルのアレイを超微細加工する工程と、(b)超微細加工された基材の表面にレンズ材を注型する工程と、(c)レンズ材を硬化させる工程と、を備えたレンズ加工方法である。 10

【0016】

本発明のもう一つの観点は、(a)基材上で超音波トランスデューサ・セルのアレイを超微細加工する工程と、(b)アレイによって放出される超音波ビームを仰角方向に集束させるのに適した所定の曲率を有するように基材を撓曲させる工程と、を備えた彎曲型超音波プローブの製造方法である。

【0017】

本発明のさらにもう一つの観点は、彎曲レンズと、レンズの下方に配設されており互いに結線されている第一の多数のMUTセルと、レンズの下方に配設されており互いに結線されている第二の多数のMUTセルと、第一及び第二の多数のMUTセルの下方に配設されているCMOS電子回路と、CMOS電子回路の下方に配設されているシリコン基材と、を備えた集積素子である。 20

【0018】

本発明の他の観点は以下に開示されており、また特許請求の範囲に開示されている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

ここで図面を参照するが、類似の要素には異なる図面で同じ参照番号を付す。

【0020】

本書に開示する新規技術は、超微細加工超音波トランスデューサ(MUT)によってアレイを具現化する独自の方法である。説明の目的で容量型超微細加工超音波トランスデューサ(cMUT)を用いた本発明の様々な実施形態を説明する。但し、本書に開示する本発明の各観点は、cMUTの利用に限らず、pMUTを用いていてもよいことを理解されたい。 30

【0021】

cMUTは、超音波エネルギーの送受が可能な小型(例えば50 $\mu$ m)の容量型「ドラムヘッド」又はセルを含むシリコン系装置である。図1には、典型的なMUTトランスデューサ・セル2の断面図が示されている。かかるMUTトランスデューサ・セルから成るアレイが典型的にはシリコン・ウェーハのような基材4上に作製される。各々のMUTトランスデューサ・セル毎に、基材4の上方に、シリコン、窒化シリコン製又はその他適当な材料で作製されていてよい薄膜又はダイヤフラム8が懸吊されている。膜8は、シリコン、酸化シリコン又は窒化シリコン製の絶縁性支持体6によって周縁で支持されている。膜8と基材4との間の空洞部15は、空気若しくはガスを充填されていてよいし、又は完全排気若しくは部分排気されていてよい。アルミニウム合金又はその他適当な導電性材料のような導電性材料のフィルム又は層が膜8上で電極12を形成しており、また導電性材料製のもう1枚のフィルム又は層が基材4上で電極10を形成している。代替的には、電極10は基材4に埋め込まれていてもよいし、基材4自体がドーパされたn型シリコン又はp型シリコンのような導電材であってもよい。 40

【0022】

2個の電極10及び12は、空洞部15によって離隔されて、キャパシタンスを形成す 50

る。入射した音響信号が膜 8 を振動させると、付設の電子回路（図 1 には示されていない）を用いてキャパシタンスの変化を検出することができ、これにより音響信号を電気信号へ変換する。逆に、一方の電極に印加された A C 信号が電極上の電荷を変調させると、電極同士の間の容量力に変調が生じ、後者の変調によってダイヤフラムが移動することにより音響信号を送波する。

#### 【 0 0 2 3 】

一つの動作モードでは、c M U T セルは典型的には、電極に跨がって印加される時間変化型の電圧  $v(t)$  よりも有意に高い D C バイアス電圧  $V_{bias}$  を有する。バイアスはクーロン力によって上面電極を底面に向かって引き付ける。大きいバイアスを印加するこの例では、c M U T のドラムヘッドは、次の式のように与えられる膜変位  $u$  を生ずる。

#### 【 0 0 2 4 】

##### 【 数 1 】

$$u(t) \approx \frac{\epsilon}{d^2} * V_{bias} * v(t) \quad (1)$$

#### 【 0 0 2 5 】

式中、 $d$  は各電極すなわちキャパシタの各プレート間の距離であり、 $\epsilon$  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且つ各電極が相対的に近接している場合に最大となることが分かっている。

#### 【 0 0 2 6 】

上述のモードでは、膜は圧潰近くまで偏圧されるが、圧潰はしない。膜の撓みは元の間隙の約 2 / 3 に限られる。（すなわち膜は他の何らかのことが起きない限り間隙の 1 / 3 しか撓まない）。近年の研究に、所謂「圧潰（collapse）モード」に着目したものがあり、このモードでは膜の中心が間隙を越えて基材に実際に接触する。すると、基材に接触しない膜の部分は、遥かに小さい間隙を経るため、感度が高くなる。本書で開示するレンズ加工は、いずれの動作モードにも均等に適用される。

#### 【 0 0 2 7 】

典型的な M U T の寸法はミクロン単位であるので、多数の M U T セルが典型的には近接して作製されて、単一のトランスデューサ素子を形成する。個々のセルは、円形、矩形、六角形又は他の周囲形状を有してよい。六角形にするとトランスデューサ素子の M U T セルを稠密に充填することができる。各 M U T セルは、トランスデューサ素子が異なるセル寸法による複合的な特性を有することによりトランスデューサに広帯域特性を与えるように、異なる寸法を有してよい。

#### 【 0 0 2 8 】

M U T セルは共に結線されて素子を形成することができる。1 個の素子 1 6 のうち 5 列のセル 2 を有する部分を図 2 に示す。各列は所与の素子寸法を満たすのに必要な距離にわたって延在している。

#### 【 0 0 2 9 】

c M U T セルを構成する素子のリニア・アレイの一つの設計を図 3 に全体的に示す。多数の c M U T セルが、超微細加工法を用いて C M O S ウェーハ 1 8 上に構築されている。c M U T セルは、単一系列の超音波トランスデューサ素子 2 0 を方位角方向に配列して形成するように構成されており、各々の素子 2 0 が並列した関係で配列されて全体的に矩形の区域を覆っている。各々の素子 2 0 の c M U T セルは並列接続されている。各々の素子 2 0 は 1 0 0 個 - 1 , 0 0 0 個の c M U T セルを含んでよい（実際にはこの数は所与の素子寸法を満たすのに必要な任意の数となる）。例えば、一つの素子が 6 列に配列された多数の六角型セルを含み、各々の列が 1 0 0 個程度のセルを有し、仰角方向に沿って全体的に整列してよい。一つの素子の c M U T セルは全て共に共振して、超音波の波面を形成する。

#### 【 0 0 3 0 】

1 . 5 次元トランスデューサ・アレイを提供するためには、図 3 の破線で示すように各

10

20

30

40

50

々の矩形領域を3つの全体的に矩形の小領域22、24、及び26に分割することができる。小領域22及び26の長さは等しく、典型的には(但し必ずではない)中央の小領域24の長さよりも短い。この代替的な実施形態によれば、小領域22内のcMUTセルが共に結線され、小領域24内のcMUTセルが共に結線され、小領域26内のcMUTセルが共に結線されて、このようにして各々の縦列で3個の素子を形成する。この場合には、小領域22及び26のcMUTセルは好ましくは、送波時に同時に起動されるが、構成によっては独立であってもよい。

#### 【0031】

当然のことながら、以上の概念を拡張して3列よりも多いトランスデューサ素子を有するプローブを構築してもよい。

10

#### 【0032】

cMUTセルを結線して素子を形成するのではなく、cMUTセルを結線して小素子を形成し、次いでこれら小素子をスイッチ(CMOSウェーハに一体形成されている)によって相互接続して素子を形成してもよい。

#### 【0033】

図4 - 図6に示す本発明の様々な実施形態によれば、CMOSウェーハ18上に超微細加工で作製されたcMUTセルを備えた集束型プローブを、cMUTセルの前面すなわち膜に彎曲レンズを取り付けることにより製造している。超音波プローブを集束する目的は、超音波エネルギーによる呼び掛け対象平面の厚みを制限することにある。しかしながら、膜は壊れ易いので、レンズ加工時にはcMUTセルを損傷しないように注意を払わなければならない。

20

#### 【0034】

図4に示す実施形態では、cMUTセル・アレイの前面に円筒型レンズ28を取り付けている。円筒の軸はアレイの方位角方向に平行である。基材が1列のみのトランスデューサ素子を有する場合には円筒型レンズが典型的に用いられる。

#### 【0035】

図5は、MUTセル・アレイの前面に取り付けられている多焦点レンズ30を示す。この多焦点レンズ30は、図3の破線に示すような3列の素子を含むトランスデューサ・アレイと共に用いられる。多焦点レンズ30の中央焦点ゾーンが図3に示す中央小領域24の上層に位置する。多焦点レンズは多数の焦点領域を可能にする。

30

#### 【0036】

図6に示す本発明のさらにもう一つの実施形態によれば、楕円型レンズ32をcMUTセル・アレイの前面に取り付ける。楕円型レンズの軸はアレイの方位角方向に平行である。基材が単一列のみのトランスデューサ素子を有する場合には楕円型レンズもまた典型的に用いられる。楕円型レンズ(及び他の非円筒型レンズ)は円筒型レンズの収差を解消する。

#### 【0037】

レンズの特性は堅牢な超音波プローブを得るのに重要であるので、レンズ用の材料を選択するときには注意を払わなければならない。音響的には、レンズ/水界面での音波反射を回避するように、レンズ材料は、インピーダンスすなわち材料の密度と材料内での音速との積が、水と類似していなければならない。また、音波波面を仰角平面で集束させるように、水と異なる音速、好ましくは水よりも遅い音速を有していなければならない。また、レンズを通した音波の伝達を最大限にすると共に発熱を最小限に抑えるために、レンズの音響減弱は小さくなければならない。また、水透過性のような化学的性質は、化学物質をcMUTセルから遠ざけるように慎重に選択しなければならない。レンズはまた、多数回にわたって利用しても材料疲労による摩耗又は亀裂を生じないように耐久性を有していなければならない。代表的なレンズ材料としては、GEのRTV60、RTV560及びRTV630のようなシリコンゴムがある。

40

#### 【0038】

レンズのポリマー材料は、取り付けられたcMUTセルの振動を許すように十分に可撓

50

性のあるものとしなければならない。膜を破壊したり素子の感度を著しく損なったりせずにレンズ材料をc M U Tセル・アレイの面に結合することが可能であるか否かを判定する実験を行なった。この予備調査から、膜は結合後も依然として無傷であり音響作用を有することが実証された。

#### 【 0 0 3 9 】

高周波帯域幅c M U Tアレイをシリコン・ウェーハ上に設けられている従来のC M O Sスイッチ及び前置増幅器／バッファ回路と一体構成して、繰り返し構成設定が可能なビーム形成素子を提供することもできる。かかる一体化構造では、トランスデューサ小素子の寸法が、アレイの直下のシリコンに設けられている超小型電子回路についてセルの寸法を確定する。この一体化構造を図7に全体的に示す。不動態化層42（例えば酸化物製）をシリコン基材40の上層に配置する。C M O S電子回路44を不動態化層の上層に作製する。次いで、c M U T小素子の46をC M O S電子回路の上層に作製する。レンズ48をc M U T小素子の前面に取り付ける。

10

#### 【 0 0 4 0 】

c M U T製造工程で、追加の金属層（図示されていない）を用いてc M U T底面電極（図7には示されていない）をC M O S電子回路に接続する。この金属層は、C M O S誘電性不動態化層を貫通する金属プラグ（図示されていない）を含んでいる。C M O S電子回路は各々のc M U T小素子の下層で一体構成されている。この一体構成された電子回路は、高電圧切り換えトランジスタと、スイッチ用のゲート駆動トランジスタと、制御用ロジック及びバッファとを含んでいる。一つの高電圧スイッチは、各々の小素子をそのバイアス電圧に接続するように構成され、もう一つの高電圧スイッチは各々の小素子を隣接する小素子に接続して、アレイ素子を形成する。

20

#### 【 0 0 4 1 】

従来の圧電超音波トランスデューサ・アレイを集束させるためのレンズを取り付けることは公知であるが、M E M S素子を集束させるレンズを用いることについては公知でない。M E M S素子の表面は壊れ易く、またシリコン、酸化シリコン、窒化シリコン及び／又は金若しくはアルミニウムのような金属等の幾つかの異なる材料から成っている可能性がある。従って、予備成形されたレンズをM E M S表面に取り付けるのに用いられる手順は、素子表面に化学的又は機械的な損傷を一切与えないと同時に幾つかの異なる材料に対する接着を行なうことを可能にするものでなければならない。

30

#### 【 0 0 4 2 】

形成されたシリコン・レンズをM E M S素子に結合するのに有用な方法の一例は、次の各工程を含んでいる。（1）両者の表面を清浄化する工程、（2）一方の表面又は両者の表面に定着剤を塗工する工程、（3）低粘度R T Vシリコンのような適当な接着剤を用いてレンズをM E M S素子に接着する工程、及び（4）低圧での加圧を用いて両者の表面の接着剤を接触させた状態で接着剤を硬化させる工程。

#### 【 0 0 4 3 】

レンズ表面及びM E M S表面を清浄化するためには幾つかの方法が利用可能である。M E M S素子に損傷を与える可能性を有しないため好ましい清浄化手法は、表面を含酸素プラズマに曝露するものである。他の方法としては、超音波洗浄器及び適当な非イオン性界面活性剤でスクラブ洗浄する方法、又はイソプロピルアルコール若しくはアセトン等のような溶剤で濯ぎ洗浄する方法がある。

40

#### 【 0 0 4 4 】

定着剤は、接着剤及び多様な異なる表面に対する接着を可能にする一般的な性質を有するものでなければならない。R T V接着剤の場合には、有用な定着剤は、テトラエチルシリケートのようなケイ酸エステル、有機チタン酸のような有機金属化合物、及びオルガノメトキシシランのような反応性オルガノシランという一般的な分類から選択される。

#### 【 0 0 4 5 】

素子表面に薄層を成して塗工されるように接着剤が低粘度を有しており、またM E M S表面に損傷を与えないように接着剤がエラストマーであると好ましい。低圧すなわち50

50



p s i 未満、好ましくは 1 0 p s i 未満の圧力を用いて、接着剤の薄層を無傷のままに M E M S 表面とレンズ表面とを接触させることができる。

【 0 0 4 6 】

集束型シリコン・レンズを M E M S 素子に取り付ける特定の一例では、含酸素プラズマを用いて両者の表面を清浄化し、テトラエチルシリケート 1 重量 % のアルコール溶液をレンズの表面及び M E M S 素子の表面の両方に定着剤として塗工し、接着剤として R T V シリコンを同じく塗工して、外部圧力 3 p s i をレンズの外側から加圧しレンズ内面と M E M S 上面とを強制的に接触させた状態で接着剤を硬化させる。

【 0 0 4 7 】

さらに他の実施形態によれば、レンズを取り付ける前にパリレン ( Parylene ) の層を M E M S 表面に直接気相堆積させて、シリコン・レンズを透過して拡散する化学物質が M E M S 素子の表面に到達するのを防ぐバリアを設ける。代替的には、金属を M E M S 表面にスパッタリングして化学物質の拡散を防止することもできる。

【 0 0 4 8 】

脂肪族炭化水素溶剤内のテトラエチルオルトシリケートで主に構成されているシリコン定着剤と、 R T V シリコン接着剤とを用いた c M U T レンズ結合を評価する D O E を行なった。レンズは、以下に概略を説明するレンズ加工手順を用いてウェーハに結合された。

[ 実施例 ]

A . ウェーハの準備

( 1 ) 2 % O 2 / A r 内でウェーハ表面をプラズマで清浄化する。

【 0 0 4 9 】

( 2 ) S S - 4 1 5 5 をイソプロパノールアルコールに混合することにより製造される定着剤溶液に浸漬する。定着剤濃度及び浸漬時間を実験計画における変数とした。

【 0 0 5 0 】

( 3 ) 過剰な定着剤溶液を N 2 で送風除去して、 5 0 の炉で 2 0 分間にわたって乾燥させる。

【 0 0 5 1 】

B . シリコン・レンズ材料の準備

( 1 ) 超音波攪拌を行ないながら 2 % の非イオン性界面活性剤を含有する 6 5 の水溶液に 2 分間にわたって浸漬する。脱イオン水の流水下で 2 分間にわたって濯ぎ洗いする。

【 0 0 5 2 】

( 2 ) N 2 で水を送風除去して、 5 0 の炉で 2 0 分間にわたって乾燥させる。

【 0 0 5 3 】

( 3 ) 定着剤のシリコン表面への塗工 ( 上述と同様 ) を実験計画変数の一つとした。

【 0 0 5 4 】

C . 結合工程

( 1 ) シリコン接着剤 K E - 1 6 0 4 を硬化触媒と 1 0 対 1 の比で混合した。混合した接着剤を 1 0 分間にわたって真空下で脱泡した。

【 0 0 5 5 】

( 2 ) 接着剤の薄層をシリコン剥離片の表面に塗工してウェーハ上に配置した。最初の 1 6 時間の硬化工程での 1 0 p s i 圧力の加圧及び 5 0 の温度の利用を実験計画における変数とした。

【 0 0 5 6 】

D O E の結果から、 S S - 4 1 5 5 定着剤の両者の界面への塗工及び K E - 1 6 0 4 接着剤の 5 0 での初期硬化が、剥離接着力を増大させるのに重要な変数であることが判明した。他の要因は重要ではなく、有意の相互作用は見出されなかった。接着力は、周囲温度での 1 0 日間の貯蔵で全標本について増大した。

【 0 0 5 7 】

S S - 4 1 5 5 定着剤をウェーハ表面にのみ塗工して及び標本を室温で硬化させると、

16時間硬化後の平均剥離接着力は0.9 pli (ポンド/線状インチ幅 (pounds/linear inch width)) であり、10日後には2.5 pliに増大した。対照的に、両者の界面を定着剤で処理して標本を50 で硬化させると、16時間後に4.1 pliの接着力となり、周囲温度で10日間の後には5.8 pliに増大した。

【0058】

c M U Tアレイの面上で直接レンズを注型する場合には、c M U Tの表面を清浄化して定着剤で処理するが、接着剤は不要である。

【0059】

本発明のさらにもう一つの実施形態では、M E M S素子自体を彎曲させて超音波エネルギーを所望の焦点深さに集束させる。このことは、M E M S素子を可撓性の基材上で構築するか、又は薄いシリコン基材上にM E M S素子を構築するか若しくはM E M S作製に続いてシリコン基材の背面を薄く加工するかのいずれかにより達成することができる。

【0060】

彎曲型c M U Tアレイの構造例を図8に示す。多数のc M U T小素子46がシリコン基材40によって支持されている。c M U Tセルの前面は、集束特性を備えていない保護材料層50によって被覆されている(すなわち実質的に一定厚みを有するか、又は水若しくは被撮像組織と同じ音速を有する保護層)。保護層50は、落下による外部衝撃、鋭利な器具、又は膜に穿孔したり他の何らかの方法で素子に損傷を与える可能性のあるその他任意の機械的な応力からc M U Tを保護する。加えて、水、殺菌剤液体又はプローブの表面に塗工され得るその他流体のような外部環境条件が素子を損傷する可能性がある。保護層50はまた、これらの条件からc M U T小素子46を保護する。保護層は、保護層をc M U Tアレイ上で直接注型するか、又は予備成形された保護層をc M U Tアレイの面に結合するかのいずれかで付着させることができる。

【0061】

図8に示す彎曲型アレイを製造する方法は次の通りである。まず、多数のc M U T小素子をシリコン基材40上で超微細加工によって作製する。シリコン基材は撓曲するのに十分に薄いか、又はc M U Tが作製された後に基材を薄く加工するかのいずれかとする。次いで、凹面に配設されたc M U Tがフォーム・ファクタ(form factor)に接した状態にして超微細加工した基材をフォーム・ファクタに沿って撓曲させる。この彎曲状態で、エポキシをシリコン基材の底面に塗工して硬化させる。硬化したエポキシは基材を彎曲状態に保つ。次いで、保護材料層をc M U Tアレイの凹面に付着させる。保護材料層は、図8にあるような一定の厚みを有していてもよいし、又は平坦な上面とアレイの曲率に従う底面とを有していてもよい(保護材料内での音速が水又は被撮像組織内での音速に略等しい限りにおいて。例：ウレタン)。

【0062】

以上に示したように、M E M S素子からの超音波エネルギーを仰角方向に厚みの薄い平面に集束することができる。呼び掛け対象平面の厚みが薄い場合には医療撮像の結果でのコントラスト分解能が良好になり、傷又は疾患をより正確に診断することができる。また、関心領域に伝達されるエネルギーが大きくなり、これにより、所与の周波数での透過深さが深くなる。また、レンズはM E M Sトランスデューサ・アレイの面に塗工された保護層として作用することもできるので、素子に対する機械的損傷を防ぐと共に外部(すなわち医療超音波応用では患者)への高電圧照射を防ぐことができる。

【0063】

医療撮像での利用に加え、本書で以上に開示した各形式のトランスデューサ・アレイはまた、金属鍛造品、タービン・ブレード、原子炉、石油パイプライン等のような材料の非破壊試験の分野にも用いることができ、これらの分野では、光学的に現われていないか又は他の理由で見えない亀裂又は他の欠陥について、アレイを用いて材料を検査する。

【0064】

好適実施形態を参照して本発明を説明したが、当業者であれば本発明の範囲から逸脱せずに様々な変形を施した各実施形態の要素を均等構成で置換し得ることが理解されよう

10

20

30

40

50

。加えて、発明の本質的な範囲から逸脱せずに本発明の教示に合わせて具体的な状況を適応構成する多くの改変を施すことができる。従って、本発明は、本発明を実施するのに想到される最良の態様として開示した特定のな実施形態に限定されているのではなく、特許請求の範囲に含まれる全ての実施形態を包含するものとする。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【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素子の六角型M U Tセルを示す図である。

【図3】c M U Tセルで形成される一次元又は1．5次元のトランスデューサ素子のアレイを含む超微細加工構造の等角図である。

10

【図4】本発明の第一の実施形態による円筒型レンズを含むレンズ加工された超微細加工構造の等角図である。

【図5】本発明の第二の実施形態による多焦点レンズを含むレンズ加工された超微細加工構造の等角図である。

【図6】本発明の第三の実施形態による楕円型レンズを含むレンズ加工された超微細加工構造の等角図である。

【図7】開示された実施形態の1以上によるレンズ加工された超微細加工構造の様々な層を示す図である。

【図8】本発明のもう一つの実施形態による彎曲型c M U Tアレイの構造を示す図である。

20

【符号の説明】

【0066】

2 M U Tトランスデューサ・セル

4 基材

6 絶縁支持体

8 ダイアフラム

10、12 電極

15 空洞部

16 素子

18 C M O S ウェーハ

30

20 トランスデューサ素子

22、24、26 矩形小領域

28 円筒型レンズ

30 多焦点レンズ

32 楕円型レンズ

50 保護材料層



---

フロントページの続き

- (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 ダグラス・ジー・ワイルズ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ボールストン・レイク、グレーテル・テラス、52番
- (72)発明者 チャールズ・イー・バウムガートナー  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、モヒガン・ロード、945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、ニスカユナ、チェシャー・プレイス、24番
- (72)発明者 ロバート・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
- Fターム(参考) 4C601 EE01 EE06 EE12 EE13 GB02 GB09 GB18 GB33 GB42  
5D019 BB17 FF06 GG03

