

(11)特許出願公表番号

【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信面を画定する少なくとも二次元に延在する複数の超音波トランスデューサ素子を有する二次元超音波アレイトランスデューサであり、前記素子は、前記少なくとも二次元において別々に駆動可能であり、前記素子は、素子の六角形のグループ分けのように組織される超音波アレイトランスデューサ。

【請求項2】 少なくとも二次元に延在する請求項1に記載の圧電性トランスデューサ素子のアレイを有する三次元体積を走査するための超音波アレイトランスデューサであり、前記素子の幾つかは、個々に駆動可能であり、6つ以上の辺の多角形のトランスデューサの開口を形成する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項3】 請求項1又は2のいずれか一項に記載のトランスデューサ素子の複数の列の二次元アレイを有する三次元体積を走査するための超音波アレイトランスデューサであり、奇数番目の列は互いと揃えられ、偶数番目の列は互いと揃えられ、隣接列は互いからオフセットされる超音波アレイトランスデューサ。

【請求項4】 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記素子は、六角形の形状を呈する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項5】 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記素子は、長方形の形状及び正方形の形状の中から選ばれる直線的形状を呈する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項6】 請求項5に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記素子の各々は、少なくとも2つの副素子から成る超音波アレイトランスデューサ。

【請求項7】 請求項6に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記副素子は、組合わせトランスデューサ素子を形成するために充填材料によって継ぎ合わされる超音波アレイトランスデューサ。

【請求項8】 請求項7に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前

記充填材料は、前記トランスデューサ素子の少なくとも 1 つの電極を設ける導電性材料を有する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 9】 請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記トランスデューサ素子は、 k_{31} モードにおいて動作され、前記トランスデューサ素子は、実質的に該素子の頂部放出面から該素子の底面まで延在する該素子の 1 つ以上の側面上に形成される電極を含む超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 10】 請求項 5 乃至 9 のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記トランスデューサ素子は、平行な列において揃えられ、各列における前記素子の中心は、1 列置きの列の前記素子の中心と揃えられており、各列における前記素子の中心は、前記隣接列の前記素子の中心の間に揃えられる超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 11】 請求項 5 乃至 10 のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記素子は切断カーフカットによって切り離されており、一方の方向におけるカット間隔は、直交する方向におけるカット間隔のほぼ

【数 1】

$$\sqrt{3}/2$$

である超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 12】 請求項 5 乃至 11 のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記素子は切断カーフカットによって切り離されており、前記切断カーフカットは、2 つの直交する方向において前記アレイト全体にわたって延在する直線の切断カーフカットを有する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 13】 請求項 12 に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記 2 つの方向のうちの一方向に延在する切断カーフカットは、導電性材料で充填され、前記 2 つの方向のうちの他方に延在する切断カーフカットは、非導電性材料で充填される超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記非導電性材料は空気を含み、前記導電性材料は導電性接着剤を含む超音波

アレイトランスデューサ。

【請求項 15】 請求項 1 乃至 14 のいずれか一項に記載の超音波アレイトランスデューサであり、前記アレイトランスデューサは、前記開口の中心から延在する軸のまわりの方位の 360° にわたって前記アレイの送信面から外側へ超音波ビームを送信する超音波アレイトランスデューサ。

【請求項 16】 請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載の二次元超音波アレイトランスデューサであり、トランスデューサ素子の複数の列を有し、各列における前記トランスデューサ素子は、隣接列における前記トランスデューサ素子に対して位置において千鳥配列され、ある列における 2 つの素子の中心及び隣接列における隣接素子の中心は、前記二次元に延在する複数の三角形を形成しており、前記三角形は、正三角形であり、各列における前記素子の中心は、隣接列の前記素子の間の前記切断カーフと揃えられる超音波アレイトランスデューサ。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、超音波診断イメージングシステムのためのトランスデューサに関し、とりわけ、二次元超音波トランスデューサアレイに関する。

【0002】**【従来の技術】**

現在、トランスデューサアレイは、超音波診断イメージングにおいて広く用いられている。単一の素子（単一のピストン）トランスデューサと比較して、アレイトランスデューサは、電子的に、アレイの素子により送信されるビーム及び受信されるビームの操作（ステアリング）をし、焦点を合わせることが可能にする。トランスデューサアレイの送信ビームと受信ビームとの両方のステアリング及び焦点合わせを行なうビーム形成器は一般に利用可能である。

【0003】

最も普及しているトランスデューサアレイは、トランスデューサ素子の単一の列を有するトランスデューサアレイである。斯様なトランスデューサアレイは、一次元アレイ又は1Dアレイとして知られ、直線アレイトランスデューサ、曲線アレイトランスデューサ及びフェーズドアレイトランスデューサとして動作可能である。1Dアレイトランスデューサは、トランスデューサ素子の単一の列又は行を有し、ビームを、一次元、即ちアレイ列の長手方向の次元と揃えられているイメージ面内でしか向けることが出来ず、焦点を合わせることが出来ないことから、そのように名づけられている。このイメージ面内の広範囲の方向にわたってビームを操作することが出来る。斯様なトランスデューサは、身体の「スライス」又は平面の二次元イメージングのためにイメージ面を走査するのにかなり適している。

【0004】

トランスデューサアレイはまた、トランスデューサ素子の多数の列で形成されても良く、前記トランスデューサアレイの一形態が1.5Dトランスデューサアレイである。1.5Dトランスデューサアレイにおいては、トランスデューサ素

子の付加的な列が、アレイの長手方向中心の周辺又は素子の中心の列の両側に対称的に置かれる。長手方向中心の両側に対称的に置かれている素子の列は、一緒に動作し、長手方向の次元に対して直交する高さ方向の次元において電子的にトランスデューサの焦点を合わせることを可能にする。これは、1Dトランスデューサアレイが、高さ方向（スライスの厚さ）の次元において「薄い」二次元イメージを作成することが出来ることを意味する。

【0005】

トランスデューサアレイが、高さ方向の次元における対称的な動作の制限のない二次元における多数の素子から成る場合に、 360° の方位角及び 180° の傾斜角にわたって電子的に超音波ビームのステアリングと焦点合わせとの両方をすることが出来る。これは、トランスデューサアレイが三次元体積にわたってビームを走査することを可能にし、それにより、三次元(3D)超音波イメージングのための完全に電子的な走査を提供する。完全に電子的な走査は、リアルタイム3Dイメージングに必要なビーム走査の獲得と信頼性との両方のために望ましい。

【0006】

2Dアレイトランスデューサが3D体積におけるいかなる方向においても走査する場合に、高い画質を得るための一定の規準が、全てのビームを走査する向きに対して満たされるのが望ましい。例えば、ビームのアンテナパターンは、受信超音波信号に対するクラッタ(clutter)の一因となり得る有害なグレーティングローブを防ぐべきである。2Dアレイにおけるグレーティングローブに対する望ましい規準は、アレイのピッチ、即ちあらゆる方向の最寄りの隣接列のトランスデューサ素子の中心間の最大間隔が、ほぼ半波長($\lambda/2$)より長くないことであり、ここで、 λ は一般にトランスデューサの基準周波数又は中心周波数の波長であると解釈される。この規準を超えるピッチを持つアレイは、所望のイメージ情報に対する相対的に高い程度の不所望のクラッタの一因となり得る。1Dアレイの場合、ピッチはある素子から次の素子までの距離であるが、2Dアレイの場合、隣接素子が二次元に延在しており、このことを考慮に入れなければならない。

【0007】

3Dイメージングのための2Dアレイは、相対的に低いコストで大量に製造されることも可能であるべきである。前記2Dアレイが非標準型の(exotic)高価なプロセスによってしか製造され得ない場合に、コストは法外なものになるであろう。標準的な1Dトランスデューサアレイのプロセスを用いて製造され得る所望のパフォーマンス規準の2Dアレイが非常に望ましい。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の原理により、二次元超音波トランスデューサアレイは、六角形のグリッドパターンで密にパックされる複数のトランスデューサ素子から成る。六角形のグリッドでの密なパッキングは、良好なグレーティングローブのパフォーマンスに最適の小さなピッチを与える。ある実施例においては、直線的トランスデューサ素子が、六角形のパターンを形成するために千鳥配列されている列(staggered rows)に配設され、このことが、従来の製造技術を用いて前記アレイを製造することを可能にする。別の実施例において、前記アレイ素子は、製造を更に容易にする組合せ素子(composite elements)である。好ましくは、前記組合せ素子を k_{31} モードで動作させる。このことは、前記アレイ素子に対して電気接続をなすことを更に容易にする。

【0009】

【発明の実施の形態】

まず図1を参照すると、トランスデューサ素子20の2Dアレイ10が、アレイ素子の頂部(送信面)の平面図で示されている。素子は、PZTなどの圧電性材料から成る。素子の側面は、該素子を密にパックすることを可能にする六角形の形状にカットされ、それ故、アレイは、相対的に狭い(tight)素子間の間隔(ピッチ)を呈するであろう。アレイ10の素子は、全ての素子に共通であるトランスデューサの層の全てを有するように製造されるモノリシックの積層体からカットされる。前記積層体からカットされた1つの素子20が図1aに示されており、この素子20は、圧電性素子24、2つの四分の一波長整合層26a及び26b、並びに2つの付勢電極(energizing electrode)28a及び28bを有する

。アレイは、電極28bの下に置かれる（図示されていない）音響減衰材料の基材(backing)に取り付けられる。

【0010】

動作中には、アレイ10が、該アレイの音響放射面と接触している身体の体積測定領域(volumetric region)内へ超音波ビームを走査するのに用いられ得る。素子20の付勢電極28bを互いから電氣的に切り離し、（アレイを物理的に安定させるために音響的に絶縁する材料又は空気が充填され得る）素子間間隔30により前記素子を音響的に絶縁することで、前記素子は、タイミングのとられた電氣的励振(timed electrical excitation)によって個々に駆動されて、操作され且つ、焦点が合わされたビームを身体内へ送信し得る。アレイ10から外側へ（図1の手前の方へ）該アレイの放射面に対する広範囲の傾斜角にわたってビームを操作することが出来る。アレイが二次元のものであることから、アレイ上のビームの原点のまわりの方位角におけるいかなる角度にもビームの向けることが出来る。好ましくは、ビームは、アレイの中心素子から外側へ（手前の方へ）延在する中心軸Cを基準とされる。軸Cが中心アレイ素子と交わる原点から延在するビームは、円錐形又はピラミッド形の体積を走査するであろう。アレイの放射面に沿った複数のポイントから外側へ延在するビームは、切頭円錐形又はピラミッド形の体積を走査することが出来る。

【0011】

アレイ10が、所与の方向においてビームを送信し、受信する場合に、理想的には、アレイのアンテナパターンは、ビームの方向のまわりに単一の応答のローブを呈するべきである。しかしながら、アレイの有限の大きさ及びアレイが製造される際の許容誤差により、実際のローブのパターンはこの理想に及ばない。このアンテナパターンは、周辺方向においてより小さい応答のローブを呈し得る。前記ローブは、所望のビームの方向の位置以外の位置にある物質からのクラッタ応答を与えるであろう。大半の不所望な応答のタイプは、グレーティングローブである。主ローブに対するグレーティングローブの角度はアレイのピッチと反比例の関係にあることから、グレーティングローブはアレイのピッチを制御することにより最小化され得る。許容可能なグレーティングローブのパフォーマンスを

提供する設計規準は、あらゆる方向におけるトランスデューサ素子の隣接列の間の最大距離が、超音波の動作周波数のほぼ半波長、 $\lambda/2$ より大きくないように、ピッチを十分細く維持せんとするものである。この規準を厳密に満たす場合に、前記波長（周波数）におけるグレーティングローブは、送信ビーム方向から 180° 離れた方向に向けられ、それ故、アレイ表面に対する広範囲の傾斜角にわたって送信ビームを操作する際に著しいクラッタを与えないであろう。

【0012】

一次元（1D）アレイの場合に、ピッチの特性の解析は簡単明瞭である。前記アレイは一次元のものであることから、前記アレイは、トランスデューサ素子の単一の列の中心点を接続する線から外側へ延在する面内にしかビームを送信することが出来ない。ビームがこの面内にしか向けられ得ないことから、重要な唯一のピッチはアレイ内の隣接トランスデューサ素子の間のピッチである。ほぼ $\lambda/2$ 以下である中心間の間隔を用いることにより、1Dアレイは許容可能なグレーティングローブ特性を呈するであろう。

【0013】

2Dアレイに対するピッチ解析は、ビームがもはやアレイから外側へ延在する単一の面に束縛されないために、より複雑になる。2Dアレイは、アレイから外側へ延在するあらゆる面に沿ってビームを送信し、受信することが出来る。ビームは、アレイ上の原点のポイントから全 360° の方位角、及びアレイ表面に対する広範囲の角度の傾斜角にわたって送信され得る。これは、ピッチ解析が、単一の列に沿ってのみでなく、2Dアレイ上の所与のポイントからの方位の全方向における素子列中心の間隔を考慮しなければならないことを意味する。

【0014】

直線的2Dアレイに対するピッチ解析は、図1bにおいて示されている。この図面において示されている点は、従来の直線的パターンのトランスデューサ素子の様に離間された行及び列に配設されたトランスデューサ素子の中心を表わしている。基準素子の中心 500 に対するピッチ解析が示されており、このピッチ解析は、同一特性がビームステアリングの各 90° 四半分に対して繰り返されることから、素子 500 から方位の 90° の弧にわたって行われている。解析は、

2つの最寄りの隣接素子の中心502及び504と、510、512、514、516及び518といった、前記隣接素子の1つと共に素子の列を形成する他の素子との間に破線をひくことにより行われる。次いで、基準素子の中心500からこれらの列の破線の各々に対して垂直にベクトルを描く。その場合、前記ベクトルは、素子500と、破線によって描かれている素子の列との間のピッチを表わす。最長ベクトルは、列間の最大間隔を示し、従って、アレイの最大ピッチを示す。図1bにおいては、最小ピッチが、素子500と、素子502及び素子504を含む素子の列との間のピッチであることが分かる。このベクトルは、45°の方位方向にある。この方位方向のどちらの側においてもベクトルは、段々に増大し、直交する0°及び90°方向のベクトル501及び503において最大値に達することが分かる。これらのベクトルは、アレイの最長ピッチを示す。ピッチとグレーティングローブの角度との間には反比例の関係があることから、前記最長ピッチは、アレイのアンテナパターンの主ローブと最小角度をなすグレーティングローブを識別する。この図面において示されているようにこれらの直交する方向にある素子の間の間隔がほぼ $\lambda/2$ 以下である場合に、直線的アレイは好ましいグレーティングローブ特性を呈するであろう。

【0015】

トランスデューサ素子の六角形のパターンに対するピッチ解析は、図1cにおいて基準素子の中心520に対して示されている。この実施例においては、トランスデューサ素子の中心が、

【数2】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}}$$

の間隔だけ隣接素子の中心から隔てられている。この実施例におけるアレイ表面上の全てのポイントは、頂点において素子の中心を持つ正三角形状に置かれることが分かる。1つの斯様な三角形は、例えば素子の中心520、530及び524により形成され、別の三角形は、素子の中心520、522及び530により

形成される。素子の底部列内の素子の中心5 2 0、5 2 4及び5 4 2は、中心5 3 2、5 3 6及び5 4 4から成る列の素子と揃えられるのに対して、中間列の素子の中心5 2 2、5 3 0及び5 3 8は、隣接列からオフセットされる、又は千鳥配列される。行方向と（直交する）列方向との両方において存することが分かるこの交互の列のパターンは、素子の三角形のパターン及び六角形のパターンを形成する。六角形のパターンは、例えば素子5 2 0、5 2 2、5 3 6、5 4 4、5 3 8及び5 2 4により形成されていることが分かる。

【0016】

このアレイのピッチ解析は、前記パターンが基準素子5 2 0のまわりの方位の全360°の弧にわたって六回繰り返すことから、基準素子5 2 0から方位の60°の弧にわたって行われる。先の解析と同様に、最寄りの隣接素子の中心5 2 2及び5 2 4と、5 3 0、5 3 2、5 3 4、5 4 0及び5 4 2といったこれらの素子と共に列を形成する他の素子の中心との間に破線をひく。次いで、ピッチを示すベクトルが、基準素子の中心からこれらの列の破線に対して垂直に描かれる。最短ベクトル、従って最短ピッチは、この実施例において方位の60°の弧の中心にある、素子5 2 0と、隣接素子5 2 2及び5 2 4を含む列との間のものであることが分かる。このベクトルのどちらの側においてもベクトル長は増大し、方位の60°の弧の0°方向及び60°方向におけるベクトル5 2 1及び5 2 3において最大値に達する。これらの最大ベクトル、従ってアレイの最大ピッチは、 $\frac{\lambda}{2}$ の長さを持つ。アレイが、 $\frac{\lambda}{2}$ よりほぼ15%大きい

【数3】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}}$$

の素子間間隔を持つにもかかわらず、アレイの最大ピッチは $\frac{\lambda}{2}$ である。これは、同じグレーティングローブのパフォーマンスでのよりゆったりした素子間隔のため、図1bのアレイより容易に図1cのアレイを製造することが出来ることを意味する。また、図1cのアレイは、ほぼ15%少ないトランスデューサ素子

で図1bのアレイと同じグレーティングローブのパフォーマンスを呈することが出来ることも意味する。更に、六角形の素子パターンを用いる場合には、2Dの高周波アレイ（より小さな値）をより容易に製造することが出来ることを意味する。

【0017】

図1における六角形の形をした素子により可能にされる密なパッキングは、許容可能なグレーティングローブのパフォーマンスを提供する。隣接素子間の間隔が、括弧及び矢印33で示されているようにほぼ

【数4】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}}$$

である場合に、いかなる方向においても最大アレイピッチは、括弧31によって示されているようにほぼ $\lambda/2$ である。斯くして、 $\lambda/2$ を超えないアレイピッチに対する要求は、列内の素子間隔が

【数5】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}}$$

又はほぼ1.15倍の $\lambda/2$ であることしか必要としないことを意味する。許容可能なグレーティングローブのパフォーマンスに対する規準は、各例において満たされ、所与の開口部を覆うのに必要とされる素子の数は、約15%だけ削減されている。結果として生じるグレーティングローブの角度は、依然として、所与の範囲の操作されたビームの傾斜に対して許容可能であるように主ローブの方向から十分に除去され得るので、本発明の最も重要な利点を依然として保持しながら、所与の設計又はトランスデューサの周波数制限において $\lambda/2$ 規準及び

【数6】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}} \cdot$$

規準がわずかに超えられ得ることが分かるだろう。

【0018】

図1の六角形のアレイ10は、非常に満足な3D走査を提供することが出来る一方で、とりわけ3000個の素子といったかなり多くのアレイ素子にまで広げられる場合に、アレイは重大な製造上の問題を与える。最初の積層体を個々の六角形の素子に分割するのに必要なカットのパターン30は、アレイ全体にわたって絶えず方向を変える小さなカットの入り組んだパターンであることが図1から分かり得る。とりわけ、直線的素子の2Dアレイの場合にあるような、アレイを横切る直線カットはない。従って、積層体は、化学エッチング又はレーザアブレーションなどのこの複雑さを提供することが出来るプロセスによりダイスカットされなければならない。しかしながら、斯様なプロセスは時間がかかり、高価である、従って、適当なコストでの大量のアレイの製造にはあまり適していない。それ故、セラミックの圧電性材料を素早く、正確に、適当なコストでダイスカットするための良い実績のあるプロセスである、ダイヤモンドブレードの付いた丸のこによりダイスカットされ得る六角形のアレイを提供するのが望ましい。しかしながら、ダイシング・ソーは、直線カットに限られる。

【0019】

この問題に対処する本発明の実施例は、図2において示されている。この図面は、アレイの外周素子を接続する六角形のパターン110によって示されているように、六角形のアレイの形状構成においてパックされた複数の直線的トランスデューサ素子120を有するトランスデューサアレイ100を平面図で示している。この実施例は、2Dフェーズドアレイのトランスデューサ素子の最大寸法がほぼ $\lambda/2$ である場合に、回折の物理的現象により、これら素子が形状に関係なく機能的観点から全く同様にふるまうという特性を考慮に入れている。アレイ100の素子120が、ほぼ

【数7】

$$\frac{\lambda}{\sqrt{3}} \cdot$$

より大きくない最大中心間隔を持つ場合に、上記の大きさの規準が満たされ、六角形の素子から直線的素子への置き換えは、アレイのパフォーマンスにおける著しい機能的な相違を生じない。前記の通り、全方位方向におけるピッチは、依然として重要であり、十分なグレーティングローブのパフォーマンスを維持すべき場合には考慮に入れられなければならない。斯くして、図2の実施例は、素子の数及びピッチなどの他の関連した規準が同等である場合に、図1の実施例と実質的に同じ動作をするであろう。動作においては、図2の六角形のアレイ100は、最初の実施例の場合と同様に、アレイの中心ポイントC、及びアレイの表面上の他のポイントから方位方向の全範囲にわたってビームを操作することが出来る。

【0020】

図2の実施例は、しかしながら、製造上の問題の半分しか解決していない。素子の列を分けるダイシングカット130はアレイを完全に横切って延在し、従ってダイシング・ソーで製造され得ることが分かる。しかしながら、各列を個々の素子に分けるカット又は切断カーフ(kerf)は、列から列へ千鳥配列されており、アレイを横切る直線をカットするダイシング・ソーによっては形成され得ない。

【0021】

トランスデューサ素子は、単体のアレイ素子として機能するよう電氣的に接続される2つ以上のダイスカットされた副素子から形成され得ることを認識することにより、このジレンマは克服される。図3aは、エポキシなどの安定化充填剤又は空気で充填され得る、切断カーフカット32によって分けられている2つの副素子12a及び12bにより形成される斯様な素子220を示している。各副素子は、頂部表面上に1つの電極14a又は14bを持ち、底部表面上に別の電極16a又は16bを持つ。(この図面においては整合層が図示されていないが

、整合層も含まれ得る。) 上部及び下部の電極が、頂部電極14a及び14bにおけるグランド記号並びに底部電極16a及び16bにおける+記号によって示されているように一緒に接続される場合に、副素子12a及び12bは単一のトランスデューサ素子として一緒に機能するであろう。

【0022】

サブダイスカットされたトランスデューサ素子220の2Dの六角形のアレイ200が図4において平面図で示されている。この構成においては、ある列のサブダイシング・切断カーフ32が、隣接列において個々の素子を隔てる素子間カット230のラインに一致している。斯くして、サブダイシング・切断カーフカット32の役を果たすカットの破線部分及び素子間カット230の役を果たす他の交互配置された実線部分を持つ、(図面において垂直に)アレイを横切る単一のラインカットがなされ得る。それ故、六角形アレイ200全体が、単一の圧電性積層体から積層体全体にわたって直交するカットを形成するダイシング・ソーで形成され得る。

【0023】

本発明の共同発明者によるCOMPOSITE ULTRASONIC TRANSDUCER ARRAY OPERATING IN THE k_{31} MODEと題された米国特許出願シリアル番号第09/457,196号は、 k_{31} モードの励振において動作する2Dアレイについて記載している。これらの2Dアレイの利点は、二次元アレイの素子に対して必要な電気接続の全てを、アレイの底部(基材側又は非放射側)においてなすことが出来ることにある。図3bは、1つの斯様なトランスデューサ素子320を図示している。図3aの素子220と同様に、素子320は2つの副素子22a及び22bを有する。しかし、副素子が垂直に極性を与えられている素子220と異なり、素子320の副素子は、副素子の(頂部及び底部ではなく)側面に置かれる電極により水平に極性を与えられる。付勢電位の一方の極性(+)に対する電極は、切断カーフ32において互いに対向する副素子の内側に置かれ、他方の極性(グランド)に対する電極34及び36は、副素子の外側に置かれる。圧電性副素子は、斯くして垂直方向における超音波の送信のために水平に付勢され、 k_{31} モードの動作をする。前記米国特許出願シリアル番号第09/457,196号において説明されているように、電極

は、好ましくは導電性エポキシ材料などの導電性充填剤により形成される。その結果、各素子は、圧電性材料及び結合剤（バインダ）の2-2組合わせマトリクス(2-2 composite matrix)を有する。

【0024】

図3bの k_{31} 組合わせ素子320は、図3cにおいて図示されているように2Dアレイにおいて用いられ得る。手前に最も近い素子の列は、列の2つの素子を示しており、一方は副素子A1及びA2を有しており、他方は副素子B1及びB2を有している。この一連の副素子の間の切断カーフ72、74及び76は、素子の電極のための導電性充填剤で充填される。この前列の下の極性記号が示すように、切断カーフ電極は列に沿って極性が交互する。切断カーフ72内の電極材料は、副素子A1及びA2によって形成されるトランスデューサ素子のための正の付勢電極であり、切断カーフ76内の電極材料は、副素子B1及びB2によって形成されるトランスデューサ素子のための正の付勢電極である。切断カーフ74内の電極材料は、これらの素子の両方のための負極性の電極又はグラウンドの電極のうちの1つを形成する。この2つの素子のための他のグラウンド電極は、副素子B2の右側の電極材料78及び（この図面においては見えない）副素子A1の左側の電極材料によって設けられる。

【0025】

前記前列の後ろの素子の列においてはトランスデューサ素子が1つしか示されていない。この素子は、副素子C1及びC2を有する。この第2列の素子は、隣接列に対する位置において千鳥配列され、副素子C1は副素子A2と揃えられ、副素子C2は副素子B1と揃えられている。お分かりのように、この千鳥形配列は、素子を六角形のアレイパターンに適応させることを可能にする。この千鳥配列の結果として、C1-C2素子の中心切断カーフ79内の正の電極材料は、隣接列における切断カーフ74の負又はグラウンドの電位の電極材料と揃えられる。各列に沿った他の切断カーフにおいても同じことが当てはまり、例えば、C1-C2素子の負又はグラウンドの電位の電極材料81は、隣接列の正の電極の切断カーフ76と揃えられることが分かる。このため、切断カーフ80は、これらの2つの列の間の電氣的絶縁を提供し、非導電性充填剤又は空気で充填される。

【0026】

図5は、図3cに示されているように配列される図3cの k_{31} 組合わせ素子を用いている六角形のアレイを平面図で図示している。A、B及びCの素子のシーケンスが、該シーケンスの繰り返す性質を図示するために、アレイ300内の幾つかの位置において描かれている。アレイの裏側（基材側又は非送信側）からのアレイの全ての素子に対する電気接続は、素子の各列において各切断カーフと揃えられる導体によりなされ得る。前記の通り、列の交互の極性のシーケンスは、各隣接列のシーケンスに対して千鳥配列される。例えば、頂部の列の切断カーフの電極は、切断カーフ79をはじめとして+ - + - +という左から右への極性のシーケンスを持つ。第2列の揃えられた切断カーフは、切断カーフ74をはじめとして- + - + -という左から右への極性のシーケンス持つ。切断カーフ80は、素子の各列の電極の間の電氣的絶縁を提供する。

【0027】

六角形のアレイ300は、ダイシング・ソーのプロセスを用いて容易に製造され得る。好ましいプロセスにおいては、整合層を備えるPZTの圧電性積層体が、電気導体を含む基材材料のブロックに固着される。好ましくは、基材ブロックの導体が、米国特許（出願シリアル番号第08/840,470号）に記載されているようなトランスデューサ素子の電極の予定位置と整列して置かれる導体を持つ組込み式の柔軟性のある回路を有する。付着される基材ブロックは、素子がダイスカットされるようにトランスデューサアレイに安定性を提供する。図5の実施例においては、垂直方向の切断カーフの全てが、まず、カットされ、次いで、導電性充填剤又は導電性エポキシなどの接着剤で充填される。この導電性充填剤は、切断カーフ72、74、76、78、79及び81における電極のための電極材料を供給する。次いで、各列の電極を隣接列の電極から電氣的に絶縁するために直交する切断カーフ80をカットする。例えば、これらの切断カーフ80は、電極79を電極74及び78から切り離し、電極81を電極76から切り離す。切断カーフ80は、空気が充填されたままにされても良いし、又はアレイに更なる安定性を与えるために電氣的に非導電性の充填剤が充填されても良い。

【0028】

別の実施例においては、導電的に充填された2-2組合わせ圧電性材料のプレートがアレイを製造するために用いられても良く、この場合には、水平切断カーフ80のみが、アレイが接合し合わされた後にカットされる必要がある。

【0029】

更に別の実施例においては、直交する両方向における切断カーフの全てがカットされ、次いで、全ての切断カーフが導電性充填物で充填される。次いで、電氣的絶縁が望まれる切断カーフ80からレーザアブレーションなどのプロセスによって充填剤が除去される。

【0030】

本発明の組み立て実施例のパターンは、図6において平面図で示されている。この図面は、素子の六角形のグループにおいて動かされ得るトランスデューサ素子の直線的パターンを示している。幾つかが410-412で表わされているこの図面における細い垂直線は、401及び402といった2つの副素子の間のダイシング・ソーのカットを表わしている。408で示されている四角形のような太線の四角形は、完全なアレイ素子を示す。アレイ400の各素子は、一緒に電氣的に接続される2つの副素子から成る。例えば、素子408は副素子401及び402から成る。図6の実施例においては、黒丸によって示されている素子の図心を六角形に密にパックさせるために、一方の方向におけるカット間隔が、直交する他方の方向における間隔の

【数8】

$$\sqrt{3}/2$$

である。即ち、直交する2つの方向における切断カーフの間隔の比は、図面の左下方のすみに示されているように

【数9】

$$\sqrt{3}/2$$

対1である。アレイ400の素子は、各圧電性素子の頂部及び底部に置かれる電極を持つ従来の k_{33} モードにおいて動作され得る。好ましくは、前記素子は、

上記のように全ての電気接続が基材ブロックに組み込まれている電極から底部においてなされ得るような k_{31} モードにおいて動作される。 k_{31} の動作のために、図6における垂直カット430及び432は、素子の電極を設けるために導電性材料で充填され、水平カット480は空気又は非導電性材料で充填される。

【0031】

図6の実施例は、製造が容易という利点以外の幾つかの利点を提供する。アレイは、組み立て実施例において数千個の素子を有することから、異なる個数の隣接トランスデューサ素子を一緒に動作させて、異なる大きさの六角形のグループを設けることができ、従って異なる開口を設けることが出来る。1つの斯様なグループが、図心を接続する波線460によって表わされており、7つの素子のみから成る。別のグループが、図心を接続する二重破線420によって表わされており、37個の素子から成る。組み立て実施例においては、実際にはアレイのフルサイズまでの六角形のグループ分けを形成することが出来る。グループの素子に加えられる、フェーズドタイミングの駆動信号によって、送信ビームは、操作され、焦点を合せられる。例えば、右へ向けられるビームを送信するためには、グループの素子が、左から右へ段々に駆動される。真っ直ぐ前方へのビーム、即ちグループの中心に対して垂直な該中心から生じるビームを送信するためには、グループの外側の素子からはじまり、グループの中心に向かって移るように素子が駆動される。

【0032】

図6の実施例の別の利点は、六角形のグループ分けを様々な位置に位置させることが出来ることにある。二重破線420によって表わされているグループは、図心 C_1 のあたりを中心に置かれており、図心 C_1 に対して垂直に延在する軸のまわりの方位方向の全範囲にわたってビームを操作することが出来る。また37個の素子から成る第2の六角形のグループが、単一の破線440によって表わされており、図心 C_2 から延在する軸のまわりにビームを操作することが出来る。これは、各グループが同じビームステアリングパラメータのセットで動作される場合に、これらのパラメータが各々、異なる位置の同じ大きさの体積を走査することが出来ることを意味する。図6に示されているような2つのグループの密な

近接及びアレイ表面に対する十分な範囲のビーム傾斜角を与えられると、2つの走査される体積は重複し得る。共通体積測定領域内のポイントは、斯くして異なるビームステアリング角を持つ各グループからのビームによって走査され、各グループによって受信される同一ポイントからのエコーが組み合わされる場合に、三次元空間合成をするための能力を増加させる。ドプラ・カラーフロー(Doppler colorflow)、ハーモニック・イメージング(harmonic imaging)及び多線走査(multiline scanning)などの他の一般的なイメージングモードも、この実施例で三次元において行なわれ得る。アレイはまた、線形湾曲アレイであるように、又は凸状に若しくは凹状に形成されるように、一次元又は二次元において湾曲され得る。

【0033】

アレイ素子は、八角形、十二角形などの六辺より多い他の多角形のパターンに配設され得ることを認識されたい。しかしながら、これらの形状は、一様でないアレイエリア有効範囲、及びビーム送信の方位の全360°にわたっての一様でないピッチを提供するかもしれない。六角形のパターンは好ましいパターンである。なぜなら、六角形のパターンは、構成の細部の所与の細かさにより与えられるピッチを最小化し、相対的に高い動作周波数における六角形アレイの使用を可能にするからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】2Dの六角形のアレイに配設された六角形のトランスデューサ素子のアレイの平面図である。

【図1a】典型的なアレイの積層体のトランスデューサ素子の側面図である。

【図1b】従来の直線的2Dアレイのピッチ解析を図示する。

【図1c】六角形にパックされたアレイのピッチ解析を図示する。

【図2】2Dの六角形のアレイに配設された直線的トランスデューサ素子の平面図である。

【図3a】サブディスクカットされたトランスデューサ素子を透視画法で図示する。

【図3b】サブダイスカットされた k_{31} 動作のトランスデューサアレイ素子を透視画法で図示する。

【図3c】サブダイスカットされた組合わせトランスデューサアレイ素子の2Dアレイの一部を透視画法で図示する。

【図4】2Dの六角形のアレイに配設されたサブダイスカットされた直線的トランスデューサ素子の平面図である。

【図5】2Dの六角形のアレイに配設された組合わせ直線的トランスデューサ素子の平面図である。

【図6】密にパックされた2Dの六角形のアレイの組み立て実施例の平面図である。

【図1】

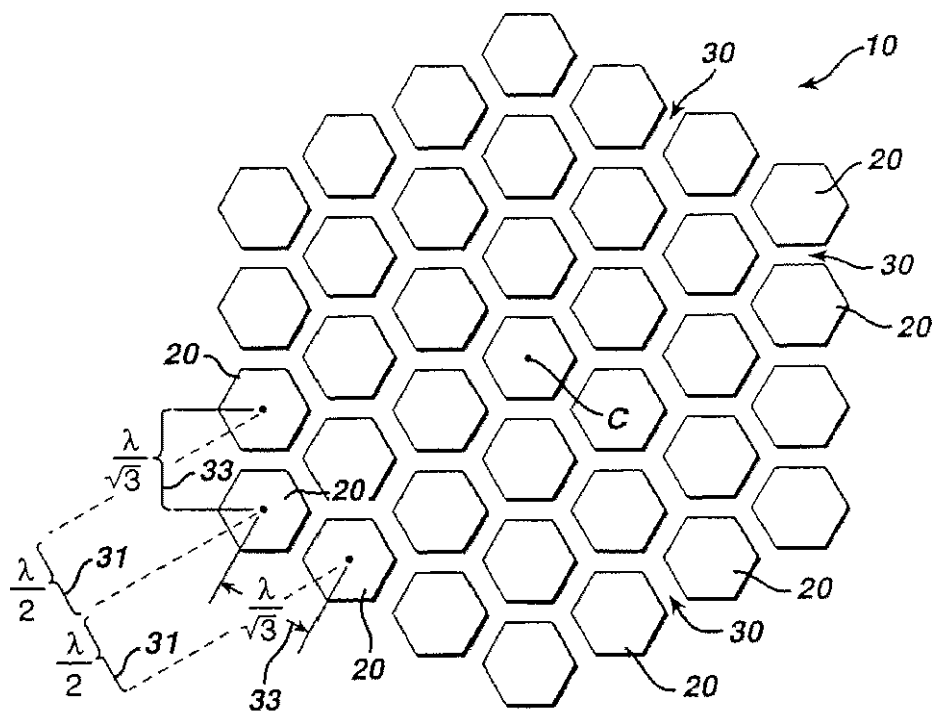


FIG. 1

【図1a】

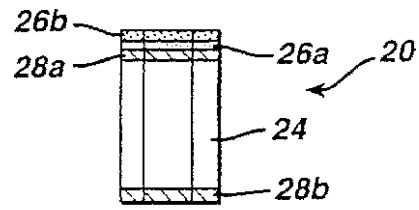


FIG. 1a

【図1b】

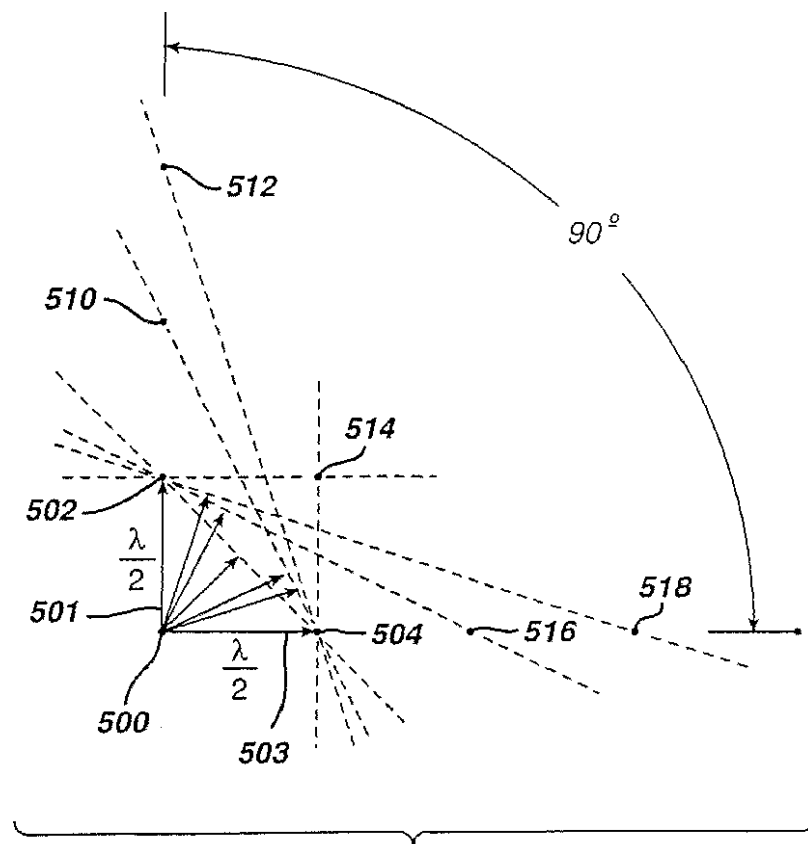


FIG. 1b

【図1c】

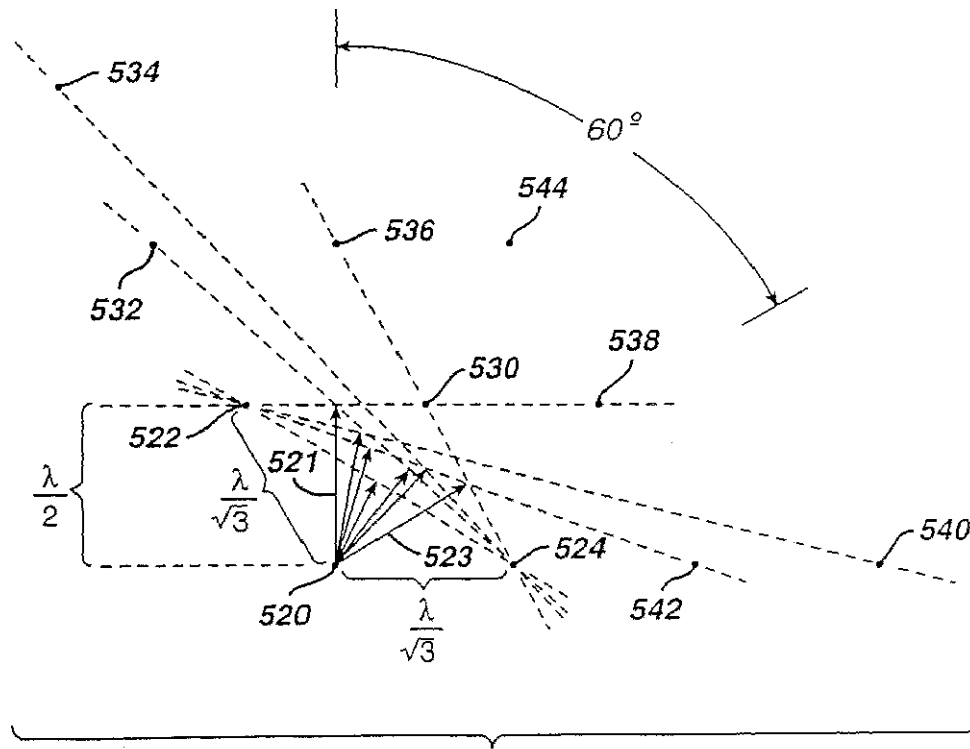


FIG. 1c

【図2】

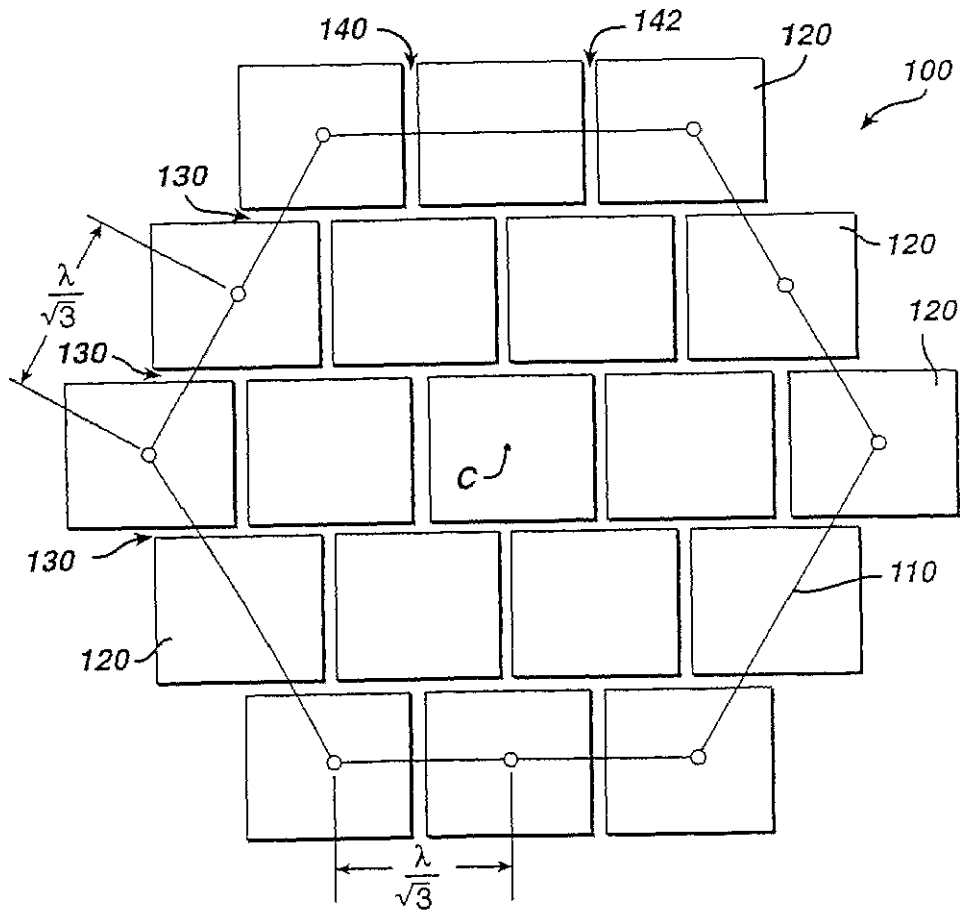


FIG. 2

【図3a】

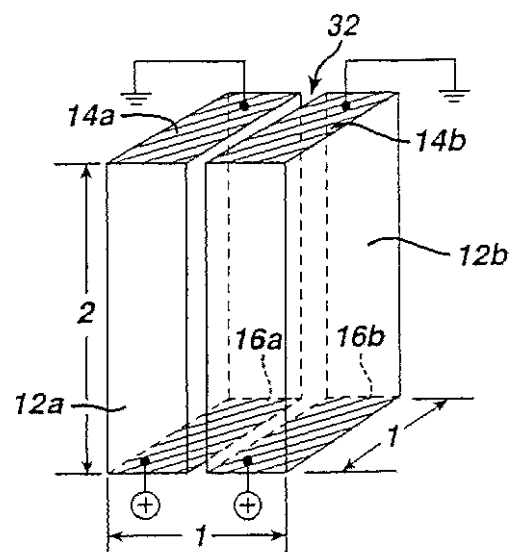


FIG. 3a

【図4】

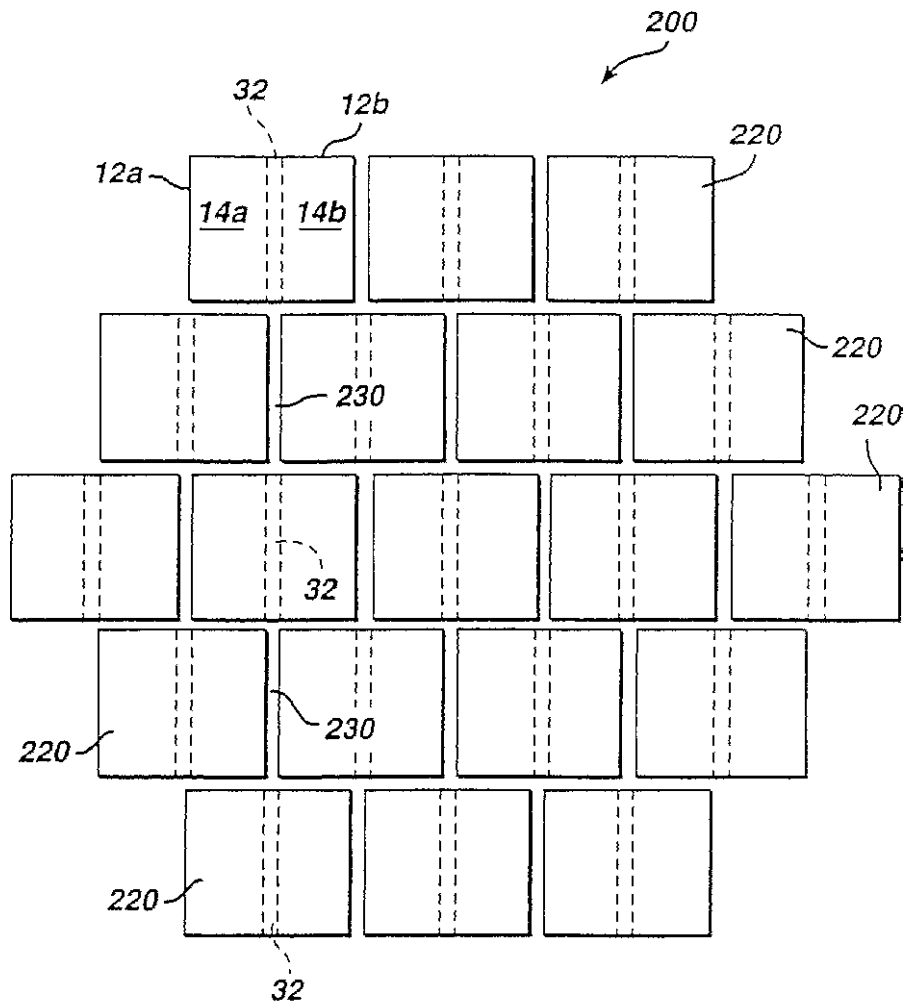


FIG. 4

【図5】

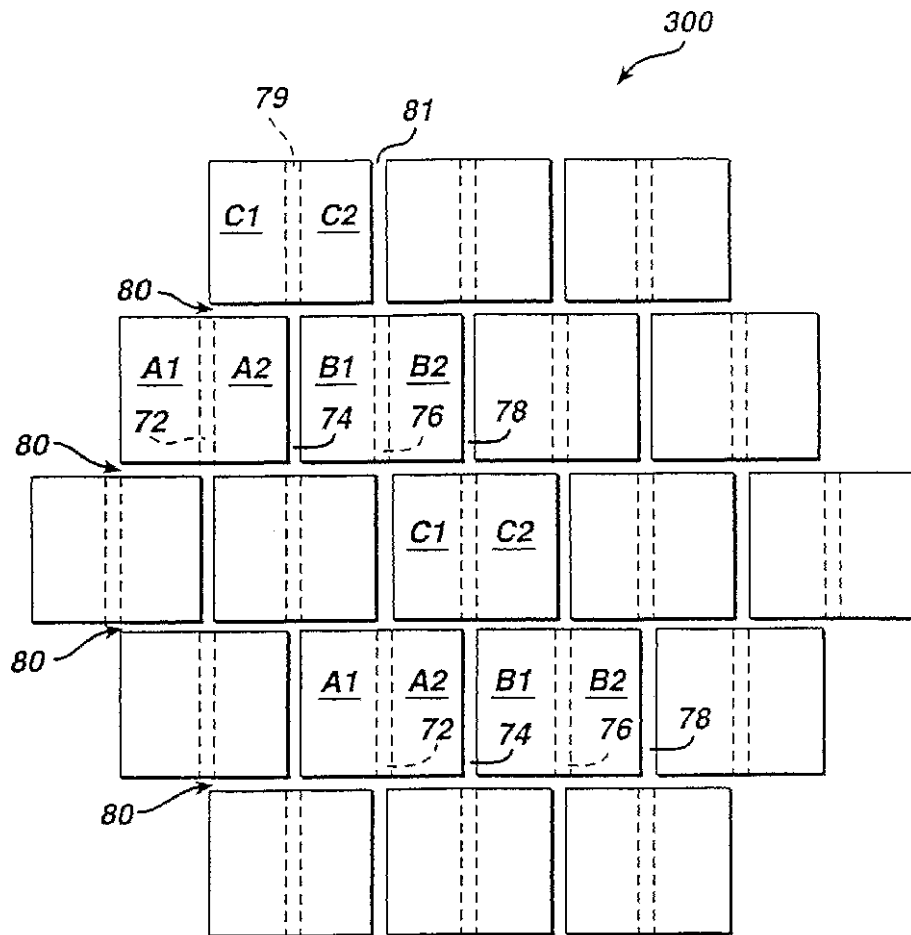


FIG. 5

【図6】

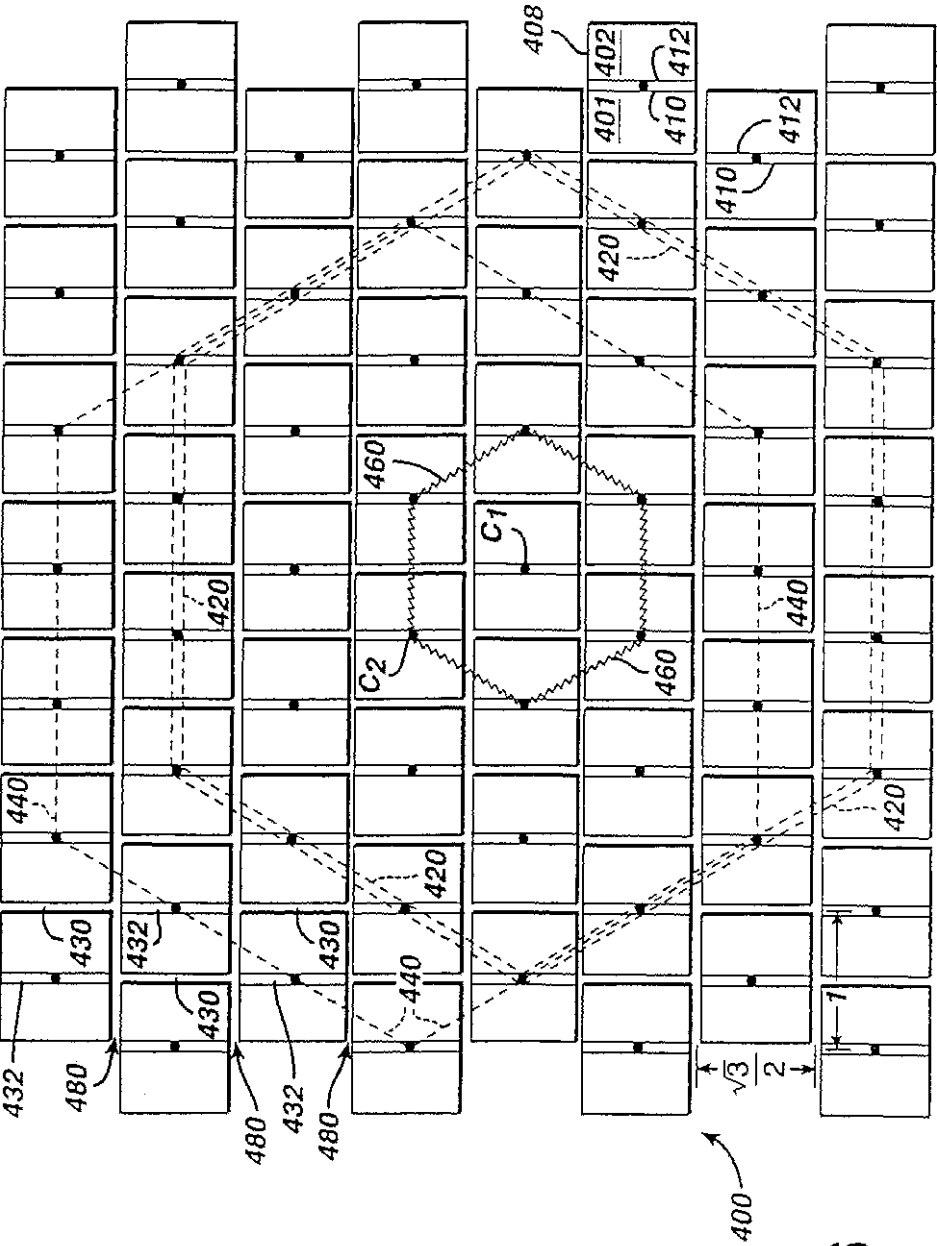


FIG. 6

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/E 01/00192

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 B06B1/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 B06B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 164 920 A (BAST ULRICH ET AL) 17 November 1992 (1992-11-17) column 5, line 19 - line 57; figure 3	1-5, 10, 15, 16
Y	---	9
Y	EP 0 697 257 A (HEWLETT PACKARD CO) 21 February 1996 (1996-02-21) column 9, line 51 - column 10, line 14	9
A	US 4 398 325 A (PIAGET BERNARD ET AL) 16 August 1983 (1983-08-16) column 2, line 58 - line 65	6-8
A	US 5 938 612 A (ONISHI SHINZO ET AL) 17 August 1999 (1999-08-17) column 6, line 13 - line 47 column 10, line 17 - line 30	11-13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 22 May 2001		Date of mailing of the international search report 30/05/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Swartjes, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 01/00192

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5164920 A	17-11-1992	EP 0462311 A AT 120670 T DE 59008863 D JP 3121049 B JP 4232425 A	27-12-1991 15-04-1995 11-05-1995 25-12-2000 20-08-1992
EP 0697257 A	21-02-1996	US 6225728 B JP 8126094 A	01-05-2001 17-05-1996
US 4398325 A	16-08-1983	FR 2485858 A DE 3124561 A JP 57032200 A	31-12-1981 16-06-1982 20-02-1982
US 5938612 A	17-08-1999	NONE	

フロントページの続き

F ターム(参考) 2G047 CA01 EA07 EA10 GB02 GB12
GB17 GB32
4C301 EE07 EE11 EE17 GB10 GB18
GB33 GB36
4C601 EE04 EE09 EE14 GB01 GB02
GB03 GB06 GB19 GB41 GB42
GB44
5D019 BB17 BB25 BB28 FF04
5D107 AA20 BB07 CC01 CC10 CC12

专利名称(译)	Hexagon包装的二维超声换能器阵列		
公开(公告)号	JP2003520526A	公开(公告)日	2003-07-02
申请号	JP2001553051	申请日	2001-01-10
[标]申请(专利权)人(译)	皇家飞利浦电子股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	皇家飞利浦电子股份有限公司的Vie		
[标]发明人	フレイザー ジョーン デー		
发明人	フレイザー ジョーン デー		
IPC分类号	G01N29/24 A61B8/00 B06B1/06 H04R17/00		
CPC分类号	B06B1/0622		
FI分类号	H04R17/00.332.B H04R17/00.332.Y A61B8/00 G01N29/24.502 B06B1/06.Z		
F-TERM分类号	2G047/CA01 2G047/EA07 2G047/EA10 2G047/GB02 2G047/GB12 2G047/GB17 2G047/GB32 4C301/EE07 4C301/EE11 4C301/EE17 4C301/GB10 4C301/GB18 4C301/GB33 4C301/GB36 4C601/EE04 4C601/EE09 4C601/EE14 4C601/GB01 4C601/GB02 4C601/GB03 4C601/GB06 4C601/GB19 4C601/GB41 4C601/GB42 4C601/GB44 5D019/BB17 5D019/BB25 5D019/BB28 5D019/FF04 5D107/AA20 5D107/BB07 5D107/CC01 5D107/CC10 5D107/CC12		
优先权	09/488583 2000-01-21 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

适用于三维相控阵扫描的二维超声换能器阵列 (10) 由六边形包装的换能器元件 (20) 组成。 在一个优选实施例中，换能器元件具有线性形状，该线性形状允许通过常规的划片锯工艺来制造阵列。

