

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3995270号
(P3995270)

(45) 発行日 平成19年10月24日(2007.10.24)

(24) 登録日 平成19年8月10日(2007.8.10)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 S 7/524 (2006.01)	GO 1 S 7/52 P
GO 1 S 7/521 (2006.01)	GO 1 S 7/52 A
HO 4 R 3/00 (2006.01)	HO 4 R 3/00 3 3 O
HO 4 R 17/00 (2006.01)	HO 4 R 17/00 3 3 2 Y

請求項の数 1 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平10-517666
 (86) (22) 出願日 平成9年10月7日(1997.10.7)
 (65) 公表番号 特表2001-502058 (P2001-502058A)
 (43) 公表日 平成13年2月13日(2001.2.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1997/018061
 (87) 国際公開番号 W01998/015846
 (87) 国際公開日 平成10年4月16日(1998.4.16)
 審査請求日 平成16年1月26日(2004.1.26)
 (31) 優先権主張番号 08/726,644
 (32) 優先日 平成8年10月7日(1996.10.7)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 501051114
 テレダイン アールディー インストルメ
 ンツ, インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 921
 31サン ディエゴ ビジネスパーク ア
 ベニュー 9855
 (74) 代理人 100100549
 弁理士 川口 嘉之
 (74) 代理人 100090516
 弁理士 松倉 秀実
 (74) 代理人 100106622
 弁理士 和久田 純一
 (74) 代理人 100113608
 弁理士 平川 明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二次元アレイ送受波器およびビーム形成器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

音響ドップラー速度システムであって、

第1次元で行に、第2次元で列に電氣的に接続され、且つ、前記行と列とはそれぞれ電氣的に独立されて、単一の二次元アレイを形成するように構成された複数の送受波素子と、前記アレイ面の外方へ、前記第1次元に対して垂直に発射される音響ビームによる第1の平面を形成する第1のビーム形成回路であって、この第1のビーム形成回路は前記第2次元の各送受波素子と電氣的に接続されており、前記各列に入力される信号を遅延させるものである、そのような第1のビーム形成回路と、

前記アレイ面の外方へ、前記第2次元に対して垂直に発射される音響ビームによる第2の平面を形成する第2のビーム形成回路であって、この第2のビーム形成回路は前記第1次元の各送受波素子と電氣的に接続されており、前記各行に入力される信号を遅延させるものである、そのような第2のビーム形成回路とを有し、

これにより、少なくとも2平面の音響ビームを同時に形成可能とし、

前記送受波素子の行および列は、第Pの行および列を各々相互接続することによりP個おきの素子からなる組を形成して電氣的に接続され、列を構成する送受波素子のそれぞれの組は、第1のビーム形成回路の信号においてそれぞれ異なる遅延を生じ、行を構成する送受波素子のそれぞれの組は、第2のビーム形成回路の信号においてそれぞれ異なる遅延を生じるように、前記第1および第2のビーム形成回路が、これらのP組の行および列のそれぞれと電氣的に接続されている音響ドップラー速度システム。

10

20

【発明の詳細な説明】

発明の背景

1. 発明の分野

本発明は、アレイ面に垂直な2個の平面方向において複数の狭峻分散な音響ビームの組を同時に形成するプレーナアレイソナー送受波器に関する。

2. 関連技術の説明

平面から2軸上で外方に傾斜した複数の細い音響ビームを同時に生成する送受波器は、現在、二次元または三次元における速度および/または距離を測定する各種の音波の後方散乱システムにおいて使用されている。実例としては、2軸または3軸速度測定のために、単なる“ヤヌス”構成の4個のビームの単純な組合わせを使用する音響ドップラ速度センサ (Acoustic Doppler Velocity Sensors、ADVS)、水中での目標までの距離を測定するソナー (例えば、前方スキャニングソナー)、海底マッピングソナーなどがある。

ADVSは、水流測定値の垂直分布の測定や、船舶航行のための対地および/または対水速度測定に、広範に使用されている。それらは、細い音響ビームにより規定される位置のラインに沿った速度を測定することによって3軸速度を測定する。直交する3つの速度成分を測定するためには、異なる方向に向けて出射される少なくとも3個のビームが必要である。一般には、ある平面上の2軸に配置され、その平面の垂直線 (法線) に対して傾斜された、4個の細い ($1 \sim 4^\circ$) の円錐状の送信/受信ビームが使用される。音響技術では公知であるこの構成はヤヌス構成と呼ばれ、2組細い円錐状ビームが、対称的に外方に傾斜され、比較的大きく外開きしている (一般に 60°) 円錐の円周の表面上に 90° 毎に配置されている。すなわち、通常 60° 程度の中心角を持つ円錐の円周上に、4個のビームが互いに対称に外方に傾斜するように均等に配置されている。現在、この4ビーム構成を得るために用いることができる送受波器技術には、4ピストン送受波器または1対の一次元フェーズドアレイ送受波器 (すなわち、音響ビームが1平面のみにおいて形成されるアレイ) のアセンブリ (組立体) が含まれる。

従来の4ピストン送受波器アセンブリは4個の独立した円形ピストン型送受波器より構成され、各送受波器がピストン面に対して垂直方向に単一の狭峻分散の円錐状送信/受信ビームを生成する。図1に示すように、4個の送受波器が、所要のヤヌスビーム構成を得るために強固なアセンブリとして物理的に配置されている。従来の狭周波数帯ADVS用途の場合、これらの送受波器の各々は公称音響搬送周波数の約2%の実効送受信帯域幅を要する。一般的な搬送周波数は $100\text{ kHz} \sim 5\text{ MHz}$ の範囲である。各ピストン送受波器は一般に、セラミックの単一の固体円板または小形セラミック素子の平板アレイによって製作される。現在の広周波数帯域ADVSは約50%の比帯域幅で動作する。これらも固体セラミック円板または平板アレイによって製造されるが、所望の帯域幅を得るためにその表面に1個以上の補助的なインピーダンス整合層が接合される。米国特許第5,343,443号「広周波数帯域音響送受波器」はそうしたシステムを開示している。この4ピストン方式の主な長所は、送受波器の構成および動作の単純なことである。各ピストン送受波器は個別の信号によって駆動されており、ビーム形成回路が不要である。

上述のような単一ビーム送受波器もビーム形成器アレイとすることができる。これらのアレイでは一般に、送受波素子の全部を電氣的に並列に接続させる。ビーム角度のアライメントは主にピストンの正しい位置決めによって得られる。このようなアレイに関する短所には、1) 送受波器を支持するために、大型で重い機械的構造を必要とする、2) 表面形状が凹凸であるので、滑らかな流体力学形状とするためには、平面形状を有する厚い音響的透明材料をアセンブリの前面に付設しなければならない、3) ビームを形成するために大きなアパーチャを要する、4) 速度を正確に測定するには送受波器表面における音速が既知でなければならない、といった点が含まれる。

ADVS用の2軸上で4個のヤヌス構成のビームを生成する、改良された送受波器の物理構成は、1対の一次元フェーズドアレイ送受波器を使用することである。図2に示す通り、単一の一次元プレーナアレイは、アレイの縦軸に垂直な方向に対して傾斜した2個の円錐状ビームを生成する (米国特許第4,641,291号「フェーズドアレイドブラソナ

10

20

30

40

50

ー送受波器」参照)。4個のADV Sビームを生成するためには、隣接して配置された2個のアレイが使用される。これら2個のあれは、一方が他方に対して前述の垂直方向に関して90°回転された状態で配置されている。各一次元アレイは、単一ビームピストンよりもごくわずかに大きい単一のアパーチャを使用して2個のビームを生成するので、アパーチャの空間効率において、複数ピストン方式に比べて約2倍の改善が得られる。

一次元フェーズドアレイは一般に、搬送周波数の1/2波長分だけ離間された平行なラインアレイによって構成される。各ラインアレイは、両面に並列に配線された多数の小さな正方形または円形のセラミック素子を用いて作製されたものであってもよいし、単一の長い長方形素子によって製作されたものであってもよい。1個おきのラインアレイが、所望のビーム形成機能を付与するために互いに電氣的に並列に配線される。そのような配線構成の一つとして、各々4番目のラインアレイを並列に電気接続するものがある。ここで、円形および長方形の幾何学形状を有するアレイが使用される。典型的なADV Sに要求される4°のビーム分散を生じるために、直径で約16波長(1/2波長の間隔を開けた32素子)のアパーチャを要する。動作周波数が100kHz~5MHzの範囲の典型的なADV Sの場合(1ピースの市販のライン素子は通常この範囲で動作する)、32個の平行な長い素子のアレイのほうが、製造組立費用の点で、32×32ダイスタレイ(市松模様に配置されたアレイ、すなわち、単一の固体素子から切断またはダイシングされたもの)よりも好ましい。

アレイが“受信”モードで動作する(すなわち、信号を受信する)時、単純な移相ビーム形成器が使用され、(上述の構成と仮定して)2個のアレイによって受信される信号を、1個おきのラインアレイの間で媒体中の1/2波長の経路長での音響伝搬により生じる時間遅延を補償するために±90°移相させる。移相は時間遅延の近似値であり、狭帯域幅の信号にのみ適用できる。狭周波数帯域の信号の場合、加算プロセスは平坦なアレイ平面に対して傾斜した2個の受信ビームを形成する。“送信”モードで動作する場合、2個のアレイは、4個(1個のアレイにつき2個)の同時送信ビームを形成するための適切な相対移相を伴った狭周波数帯域の信号によって駆動される。

これらのフェーズドアレイが広周波数帯域の信号によって駆動されると、信号に含まれる種々の周波数が種々の角度方向で送受波器から分散され、結果的にビームを拡大させる。フェーズドアレイ技術は、信号帯域幅が約3%未満である場合にのみ細いビームを形成する。これは狭帯域ADV S用途には適切であるが、ほぼ8~16倍のファクタを有する現在の広周波数帯域ADV Sシステム(例えば、米国特許第5,483,499号「広周波数帯域音響ドプラカレントプロファイラ」参照)に関する帯域幅には不十分である。

帯域幅/分散性能における改善は、上述の一次元フェーズドアレイ送受波器の組の場合、(送信および受信の両モードにおける)単純な90°移相ビーム形成網をより複雑な時間遅延網と置き換えることによって得ることができる。時間遅延を使用することにより、周波数と、受信/送信波の相対入射角との関係を切り離すことができ、それにより広周波数帯域に適用される場合のビームの角伝搬を低減する。この時間遅延アレイ方法によれば、個々のラインアレイ信号はそれぞれ時間遅延され、入射角から独立した合成信号を形成するために加算される。この技法における主な短所は、より複雑になる送信および受信ビーム形成器である。

フェーズドアレイおよび時間遅延アレイ方式の付加的な性能の利点は、ADV S用途の場合、アレイ面に平行な速度成分は、媒体中の音の速さの変化を本質的に自動補正するという点である。音の速さが変化するとつれて、示差経路長および種々のアレイ送受波器に対応する時間遅延は変化する。自動修正は、送受波器面(通常は水平)に平行な速度成分を計算する際の誤差を直接的に補償するような形で、ビーム角度が音の速さとともに変化する、ということに起因する。これは、高精度の航行のために送受波器面における音の速さを測定する必要性を最小限にするが、完全に不要にするものではない。

このように、4ピストンアセンブリに比べ、一次元フェーズドアレイは、一定のビーム特性に関して空間効率を改善し、良好な流体力学性能のための平坦面を有し、媒体中で伝搬速度が変化する音の速度分解能を改善することができるが、広周波数帯域ADV S動作を

10

20

30

40

50

適切にサポートするものではない。一方、一次元時間遅延アレイは、広帯域 A D V S 動作をもサポートする付加的な利点を有する。

一次元フェーズドアレイおよび時間遅延アレイ技術は、アレイ面上の単一平面において 2 個以上のビームを形成することにより、海底マッピングおよび前方スキャニング用途にも普通に使用されている。これらの用途の場合、複数の位相遅延および / または時間遅延ビーム形成器が単一の一次元アレイと結合されており、各ビーム形成器は、アレイ面に対して垂直な単一の平面内で、且つ、このアレイ面に対して異なる傾斜角を有する、複数のビームを同時に形成するために、異なる位相 / 時間遅延を有する。第 2 の平面方向での測定が必要であれば、前述のように一方が他方に対して物理的に 90° 回転している、2 個の隣接するフェーズドアレイまたは時間遅延アレイが使用される。

10

上述したような、アレイ面に垂直な 2 平面内で傾斜した複数の音響ビームを形成する各技術の場合、1 本の細いビームを形成するために要するアパーチャの少なくとも 2 倍の大きさのアパーチャが要求される。適正な信号をアレイの各素子に供給することができれば、アレイ面に垂直な 2 平面内で 2 個以上の円錐ビームを形成することは可能である。単一のプレーナアレイから 2 つの垂直平面内で出射される 4 個のビームの構成を図 3 に示す。個々の送受波素子の間に適切な移相が導入されれば、こうしたプレーナアレイがアレイ面に対して任意の角度で集中する 4 個のビームを形成できることがよく理解されよう。この概念は、多年にわたりレーダアンテナアレイに使用されており、ソナーの送受波器アレイに関してもある程度用いられてきた。また、広帯域用途のためのビーム形成は、異なる素子で異なる媒体中の各経路長での伝搬によって生じる時間遅延を補償するために、素子間における真の時間遅延を要することも理解されるであろう。

20

A D V S 送受波器アセンブリの大きさ、重量およびコストの実質的な低減は、図 3 に示す通り、全部のビームを完全に形成することができるアパーチャを用いて、アレイ面に垂直な 2 平面において方向づけられた 4 個の傾斜ビームが送受波素子の単一のプレーナアレイから形成できれば、達成できるであろう。これを実現するために、2 つの平面方向において、すなわち図 2 の X - Y 座標系に関して、アレイ素子が 1 / 2 波長毎に精確に整列された、約 800 個の 32 × 32 アレイが要求される。800 個の個別の素子によるこの精密アレイのアセンブリは相当に複雑である。この多数の素子について 2 つの次元でのビーム形成をサポートするために、複雑な位相遅延および / または時間遅延回路も要求される。現行のアレイ技術を用いると、アレイの各個の素子に個別の電力増幅器ならびに位相遅延および / または時間遅延回路も一般に必要とされる。こうしたアレイの製作およびビーム形成器の複雑さが要因で、二次元プレーナアレイを使用することは、ほとんど全部の用途について経済的に非実用的なものとなっている。

30

従って、著しく縮小されたアパーチャ内でアレイ面に対して 2 つの次元で狭峻分散のビームの組を生成でき、そうしたアレイに固有な多数の個別の送受波器素子をサポートするために単純な位相遅延および / または時間遅延ビーム形成回路を使用する、改良されたプレーナアレイを提供することが極めて望ましい。さらに、その製造および使用を経済的に実用性あるものとするために、上述のアレイを製作する効率的かつコスト効果的な方法を提供することも強く望まれる。

発明の要約

40

本発明は、縮小されたアパーチャ面積を備え、送受波器アレイ面に対して傾斜した狭周波数帯域または広周波数帯域のビームの組を複数平面内で形成する改良されたシステムおよび方法を提供することによって、前述の要請を満足させるものである。送受波器アレイを製造するコスト効果的かつ単純な方法も開示している。

本発明の第 1 の態様によれば、送受波素子の 1 つの 2 軸プレーナアレイから形成される 2 軸ビームの各組は、アレイの全部の素子と、各ビームを十分に形成することができるアパーチャを用いている。アパーチャの空間効率の観点から、これは、各ビームを、用いられたアパーチャの面積によって可能な限り細くすることができるので、複数の細い 2 軸ビームを形成する最適な方法である。アパーチャ面積全体は、複数の各 2 軸ビームの所定のビーム幅に基づいて最小化される。前述の 4 ピストン方式に比べ、アパーチャ直径は 2 . 5

50

倍（面積で6倍）縮小され、送受波器面は著しく流体力学的となり（それにより流れ抵抗、ノイズ、アパーチャ付近での空気の合着から生じるポテンシャルの不正確さを低減することができる）、送受波器アセンブリの容積はほぼ10倍縮小する。前述の二重の一次元アレイ方式に比べ、アパーチャ面積は2倍縮小する。

本発明の第2の態様において、本明細書に開示された複数平面（2軸）アレイは、アレイの素子の数に対して、位相遅延ビーム形成回路または時間遅延ビーム形成回路の数を低減することができる。単一のプレーナアレイから複数の2軸の細いビームを生成できる能力は、アレイ平面の2つの次元で複数で傾斜した送信、受信ビームの形成を独立的に、かつ、同時に行うことができる、アレイの2方向において独立して電氣的にインタフェースをとる方法によって得られる。これは、アレイの背面行および前面列を電氣的に接続し、背面および前面の平行な組を、動作の送信および受信の両モードにおいて（行および列のインピーダンスに比べて）低い電氣的インピーダンスを有するビーム形成網に接続し、アレイ平面の2つの次元で複数の傾斜送信/受信ビームの独立的かつ同時に形成するためにアレイの2面との間での送信/受信信号を処理することによって実現される。2方向は、必ずしもそうではないが、一般には相互に直交する。

本発明のさらに別の態様によれば、約800個の精確に整列された素子のプレーナアレイを製作するコスト効果的な方法が開示される。前述の通り、従来技術の複数ビームアレイは幅が約1/2波長の約32個の長い長方形の送受波素子のアレイによって形成されるのに対し、本発明の好ましい実施態様は、両面の次元で搬送周波数の約1/2波長の寸法を有するアレイ素子の使用を要する。さらに、広帯域用途に必要な帯域幅を得るために、各素子は、一体に接合されるべき多様な材料の複数の層から構成されなければならない。従って、約800個（32×32）の多層素子のアレイは、上述の設計を経済的に実現可能にするためにコスト効果的な方式で精確に組み立てられる必要がある。これを行うために、この複雑なアレイを製作する改良された方法が開示され、その方法では、複数の円柱形円板（各々は最終アレイと等しい直径を有する）が、全部の製造段階で切り込まれた素子が固体層によって堅固に保持されるように工程の各段階で平行なダイヤモンド刃カッタにより部分的に切り込まれ、順番に接合される。完了すると、アレイは、必要な精度で所要の形態に内部的にダイシングされ、機械的に剛性で音響的に透明な前面および固体支持円板によって形状が保たれる。

上述の単純な設計および製作技法により、二次元の平坦なアレイの形態および性能の長所を備えたコスト効果的な商品を製造することが経済的に実用的となる。本発明は、典型的なADVS（すなわち、4°の1方向ビーム幅を有する4ビームの150kHz送受波器）用途のための著しく改善された性能を付与する。本発明の上述その他の特徴は、以下の図面に関してなされる以下の説明および請求の範囲によってより完全に明白となるであろう。

【図面の簡単な説明】

図1は、従来技術のヤヌス構成での4ピストン送受波器アレイの平面図である。

図2は、2個の細い音響ビームの形成を例示した従来技術の一次元フェーズド音響アレイの斜視図である。

図3は、アレイ平面（すなわちX-Y平面）に垂直な2平面内に配置され、アレイの垂直線（すなわちZ軸）に対して傾斜した4個の音響ビームの典型的な構成を示す斜視図である。

図4は、アレイ素子の電氣的接続方法および送信、受信ビーム形成器に接続するためのアレイ-ビーム形成器接続方法を含む、二次元送受波器アレイの好ましい実施態様の機能ブロック図である。

図5は、受信モードで動作する際の簡略化した16素子二次元フェーズドアレイ送受波器の動作を示す機能ブロック図である。

図6は、送信モードで動作する際の簡略化した16素子二次元フェーズドアレイ送受波器の動作を示す機能ブロック図である。

図7は、受信モードで動作する際の簡略化した16素子二次元時間遅延送受波器の動作を

10

20

30

40

50

示す機能ブロック図である。

図 8 は、送信モードで動作する際の簡略化した 16 素子二次元時間遅延送受波器の動作を示す機能ブロック図である。

図 9 は、時間遅延技法を用いたときの、アレイ面に垂直な 2 平面での複数のビームの形成の様子を示す斜視図である。

図 10 は、800 個の矩形表面形状の圧電セラミック素子を中心間距離 5 mm で密に配置した円形 150 kHz 送受波器アレイの好ましい 1 実施態様の平面図である。

図 11 は、送受波器アセンブリの好ましい 1 実施態様の積層構成を例示するために厚さ寸法を拡張した状態の斜視図である。

図 12 は、本発明と併せて使用される時間遅延受信ビーム形成器の好ましい 1 実施態様の概略ブロック図である。

10

図 13 は、本発明と併せて使用される時間遅延送信ビーム形成器の好ましい 1 実施態様の概略ブロック図である。

図 14 は、1 個の音響ビームの形成を示す、X-Z または Y-Z 平面で見聞される、公称 150 kHz の 32 × 32 フェーズドアレイ送受波器に関する（アレイ面の垂直線である Z 軸から測定された）信号振幅とビーム角度の関係を示すグラフである。

図 15 は、本発明の好ましいアレイ送受波器を製作するための好ましい製造工程を例示する工程図である。

好ましい実施態様の詳細な説明

以下、全図において類似番号は類似部品を示す。この節の説明は、機能の説明、ハードウェアの説明および製作の説明という項目に分けて説明する。

20

1. 機能の説明

二次元送受波器アレイの好ましい実施態様のブロック図を図 4 に示す。典型的なプレーナ音響送受波器アレイの機器構成 100 が図示されている。個々のアレイ素子 102 は、前面列 104 および背面行 106 に沿って相互に接続されている。アレイ素子 102 は、2 軸送信 / 受信 (T/R) スイッチ 118 を介して、関係するビーム形成器 108 および 110 に接続されている。送信ビーム形成器 108 および受信ビーム形成器 110 は、位相遅延または時間遅延のいずれか一方のビーム形成網であってもよい。この説明のために使用する座標系は、X 軸方向の行 106、Y 軸方向の列 104 および表面 116 に垂直な Z 軸によって示されている。

30

アレイ面 116 は円形をしているが、2 つの面の次元において概ね対称である楕円形または多角形といった他の形態要素も通常のパネル形の細い傾斜ビームの形成に適用できる。アレイは、一般に正方形、円形または長方形の対称な面を有する（表面の横断面の）形状の多数の小要素 102 より構成される。各素子の面幅は約 0.5（ここでは所望の中心周波数の水中での音波長である）。4° のビーム幅のビームを形成するには、約 16 のアレイ直径を要し、約 800 素子の 32 × 32 素子アレイとなる。アレイ素子の背面行 106 (X 方向) および前面列 104 (Y 方向) は、図 4 に示す通り、薄い音響的透明材料による素子の平行ラインに沿って一体に電氣的に接続されている。これらの行列は、通常は相互に直交するが、必ずしもその必要はない。

アレイの X 軸の行 106 および Y 軸の列 104 はそれぞれ、T/R スイッチ 118 と接続されており、このスイッチは、T/R 論理信号 120 による制御に従って、X ラインおよび Y ラインの組を、受信モードでは各々の X および Y 受信ビーム形成器 110 に、送信モードでは各々の X および Y 送信ビーム形成器 108 に接続する。送信モードにある場合、アレイラインは T/R スイッチ 118 を介して送信ビーム形成器 108 と接続される。この送信ビーム形成器 108 は、（送受波器素子のそのラインの電氣的インピーダンスに関して）低インピーダンス電源からの電氣的送信駆動信号を供給する。受信モードにある場合、アレイラインは T/R スイッチを介して受信ビーム形成器 110 と接続される。この受信ビーム形成器 110 は、X および Y の各ラインの信号用アースに（送受波器素子のそのラインの電氣的インピーダンスに対して）低い電氣的インピーダンスの経路を付与しつつ、送受波器ラインから電気信号を受信する。

40

50

XおよびYの各ラインにおけるこの低い電氣的電源/負荷インピーダンス(送信時の低電源インピーダンスおよび受信時の低負荷インピーダンス)によって、送信電氣駆動信号の供給およびX行およびY列からの信号の受信についてX行106およびY列104のそれぞれへのアクセスを同時にかつ独立におこなうことができる。さらに、XおよびY軸ラインのアレイの並列な組が同時かつ独立的に形成され得る。X軸の送信および受信ラインアレイは、背面行106に沿った並列電氣接続および前面のY軸列104の全部の低インピーダンス信号用アースの存在によって形成される。

送信モードにおいて、信号用アースに対して低出力インピーダンスを有する送信増幅器からの送信駆動信号が、T/Rスイッチを介して、並列なX軸の背面電氣接続ラインに供給される。X軸駆動信号が個々のX軸ラインアレイに供給されている間、Y軸の32の並列ラインアレイ面全体は、X軸駆動信号がX軸行に対してのみ適用され、アレイのY軸側と結合しないようにするために、(X軸T/Rスイッチ118aを経てYビーム形成器108aの低インピーダンスY軸ドライバへの信号経路を通じて)信号用アースへの低インピーダンス経路として維持される。同様に、Y軸駆動信号がY軸ラインアレイに適用されている間、X軸アレイ面全体は、X軸との結合をせずにY軸に独立して信号が適用されるように、信号用アースへの低インピーダンス経路として維持される。従って、X軸およびY軸の駆動信号の重ね合わせによって、送信ビーム形成器電源に関係する低インピーダンスは、X軸およびY軸ライン送信アレイが同時かつ独立的に形成できるようにする。

受信モードでは、(信号用アースへの前面の低インピーダンス経路を備えた)各X軸行106に存在する電氣信号は、各行の全部の素子の受信電氣信号の総和を表す。大半の従来のソナー受信増幅器は、受信送受波器に高インピーダンスの負荷をかける。しかし、本発明の二次元アレイを適用することによって、受信中に低インピーダンス負荷を付与する受信ビーム形成器において使用するための増幅器が開発された。これは、X軸およびY軸のラインの各々を、受信ビーム形成器内の受信前置増幅器で仮想アースノード(アースと同電位であるが、アースと直接的には接続されていないポイント)に接続することによって実現される。各仮想アースノードに流れる信号電流は、列または行における全部のセラミック素子からの信号電流の総和である。列から信号を受信する際、列信号は、全部の行の仮想アースが呈する低インピーダンス負荷によって、同時に受信する行信号とは独立している。同様に、行から信号を受信する場合、全部の列の仮想アースが呈する低インピーダンス負荷のために、この行信号は同時に受信されている列信号から独立している。

送信および受信の両モードにおいて、XおよびY信号ラインを介するこうした独立的かつ同時的なX行およびY列の電氣的アクセスによって、アレイは、X-ZおよびY-Zの両平面において複数の傾斜音響ビームの組を同時にかつ独立して形成するための二次元アレイとして使用できる。各平面におけるビーム形成動作は、従来の一次元のフェーズドアレイおよび/または時間遅延アレイと同様である。従って、二次元のビーム形成動作は概ね、1個のアレイを90°回転させて他の1個に重ね合わせた2個の一次元アレイと等しい。

送信モード動作では、X行に供給された位相遅延または時間遅延信号がY方向(YZ平面)で傾斜音響送信ビームを形成する。同時かつ独立して、Y列に供給された位相遅延または時間遅延信号はX方向(XZ平面)で傾斜音響送信ビームを生成する。受信モード動作では、X行で受信された電氣信号は、位相遅延または時間遅延され、X行の受信ビーム形成器で結合されY方向の傾斜受信音響ビームを生成する。同時かつ独立して、Y列で受信されY側ビーム形成器で結合された信号は、X方向で傾斜受信音響ビームを生成する。このようにして、X軸およびY軸の電氣的および音響的信号の重ね合わせによって、送信および受信の両モードにおいて単一のプレーナアレイからの二次元音響ビーム形成が達成される。

このような二次元の送信、受信音響ビームがどのように形成されるかという動作の基本原則を理解するために、32×32素子の二次元アレイ送受波器の16素子アレイサブセットの動作を検討する。位相遅延(狭周波数帯域)および時間遅延(狭周波数帯域および広周波数帯域の)ビーム形成器による動作をここで説明する。

10

20

30

40

50

フェーズドアレイ動作

移相ビーム形成器による上述の二次元アレイの16(4×4)素子サブセットの動作を図5および図6に示す。単一の(狭周波数帯域の)周波数fで、波長 $\lambda = c / f$ (ここでcは流体媒体中の音の伝搬速度)のロングトーンバースト音響信号の受信において、X方向でかつZ軸(Zはアレイ面の垂直線または図の平面の垂直線である)に関して角度 θ で入射する音線の波先は、Y軸(前面)列のラインアレイ204の各々に異なる距離で伝わるので、異なる時間に、そして一般には異なる位相でラインアレイ204の各々にぶつかる。図5に示す通り、隣り合うラインアレイ()206の間の経路長差は、次式表される素子の中心間距離(d)に関係する。

$$\Delta L = d \sin \theta$$

10

隣り合うラインアレイ間の波先の到着時間差()は次式の通りである。

$$\Delta t = \Delta L / c = (d / c) \sin \theta$$

それらの素子感の間隔が着信する狭帯域信号の半波長に一致する距離($d = \lambda / 2$)である場合、着信した信号の波長を用いて表現される経路長差は次式によって与えられる。

$$\Delta L = (\lambda / 2) \sin \theta$$

着信する角度()が30°の場合、

$$\Delta L = (\lambda / 2) \sin 30^\circ = \lambda / 4$$

これは、着信する狭周波数帯域の信号について90°の素子間角移相に対応する。従って、狭帯域パルスが前述したような、裏で低インピーダンスの仮想アース208に結合された全部のY軸ラインアレイによって受信される場合、4個のY軸ラインアレイの組に沿った受信電気信号の位相は、それぞれ、0°、90°、180°および270°となる。

20

X軸受信ビーム形成器110bの信号用アースに全部の背面行106が接続されている前面(Y)列の受信動作について、まず検討する。(例示に使用した4×4アレイにおける)4個のX軸の電気信号の各組は、背面行の信号基準を形成するために受信ビーム形成器110aの受信前置増幅器の仮想アースノード208に接続されており、図示の通り、隣接するラインアレイ間で-90°ずつ(0°、-90°、-180°および-270°)移相されている。課された移相は、図5に示す通り、ラインアレイに入射する狭帯域音響パルスの異なる素子間の経路長差によって生じる移相を補償する。得られた4個の信号は同相となり、加算されると、30°の入射角で到着する波先を受信する際に最大の音響干渉縞を形成する。この最大値は形成されたビームの主ローブの1個の中心軸に対応する。

30

第2の受信ビームは、X方向で、Z方向に関して角度(- 30°の入射角)で入射する音線の波先について、4個の信号に90°課された移相の正弦(波)を反転し、それらの信号を加算することによって形成することができる。4個の信号位相の組は4個のラインアレイの付加的な組について反復されるので、±30°で干渉縞をさらに拡大するために、4個のラインアレイの全部の組からの信号を加算することによって、より大形のアレイを実現することができる。4個のラインアレイの付加的な組が上述の通り使用されると、±30°方向に沿った音響信号利得が増加するか、またはこれに伴い、アレイの付加的な組が加えられるにつれて、当該方向でのビーム幅が縮小する。

同様なビーム形成方法としては、最初に異なるアレイの組からの等しい位相の信号を全て加算し、その後4個の信号の加算された組に90°の移相を課する方法がある。これは単に(図2参照)、各々の第4のラインアレイを並列に電気接続することによって実現できる。X方向の実効ビーム幅は、そのアレイ中のラインアレイの組の数によって決まる。Y方向では、ビーム幅は、アレイラインの(音波波長における)長さに反比例する、ラインアレイのビームパターンによって決定される。ADV S用途の場合、両平面で同様の幅を持った細い、傾斜した音響ビームであることが望ましく、従って、XおよびY平面の寸法はほぼ同じに保たれる。

40

送信モードにおいて、2軸アレイの動作は、図6に示す通り、信号の流れが逆になること以外、上述の受信モードと同様である。背面行が全部信号用アースに接続された前面列の送信動作をまず検討する。ロングトーンバースト搬送周波数300が移相送信ビーム形成

50

器 108a に供給され、 0° 、 90° 、 180° および 270° の相対位相を有する 4 個の駆動信号を生成する。これらは、低インピーダンスドライバから Y 列の 4 個の並列配線接続の組 302 に供給される。課された移相は、ラインアレイ間での異なる経路長によって生じる移相を補償し、 30° の入射角での送信音響信号の干渉縞が形成され、それは主ビームローブの 1 個の中心に対応する。別の送信ビームは、前述と同様、 90° 課された移相の正弦（波）を反転することによって -30° の入射角で形成できる。

Y 軸における受信および送信動作は同じである。背面行との間で供給および受信される信号を考慮する際、前面列は低インピーダンスによって信号用アースに接続される。各側にアースへの低い送信駆動および受信器負荷インピーダンスが存在することにより、完全に独立した X 軸および Y 軸動作をもたらす。X および Y 軸信号の重ね合わせから、両軸（すなわち行および列）が同時に動作し得ることもわかる。

10

細い送信、受信ビームを形成する際に一定の位相遅延を用いた上述の 2 軸ビーム形成技法は、“二次元フェーズドアレイ”送受波器とも称する。単一周波数（狭帯域）ロングトーンパーストを送信する狭帯域用途での使用に適する。X - Z 平面および Y - Z 平面に位置し、全部が Z 方向に対して所定の角度で傾斜した 4 個の傾斜した狭峻ビームが、図 3 に示す通り、単一の平坦なアレイアパーチャから形成される。

図 5 の音線図より、一定の素子間隔 d について、各ビームの角度は次式によって音響周波数と関係づけられる。

$$= \sin^{-1}(c / 4d) = \sin^{-1}(c / 4fd)$$

従って、ビーム角度は周波数に依存しており、受信波または発信波が広帯域スペクトルを有する場合、主ローブビームパターンの角はそれに応じて拡大することになる。ビームの拡大を生じるこの帯域幅のために、上述のフェーズドアレイ技法は、広帯域スペクトル（一般に搬送波周波数の 20 ~ 50 %）を伴う信号を送信する広帯域 A D V S ではうまく働かない。広帯域信号を伴う二次元アレイ技法を使用するには、以下の節で説明する、代替的な時間遅延ビーム形成技法を要する。

20

時間遅延アレイの動作

前述の通り、速度 c かつ Z 方向に対して角度 θ で X 方向に進行する入射音線の波先は、隣り合うラインアレイ間の経路長差のために異なる時間に異なる Y 軸の前面ラインアレイ位置にぶつかる。経路長差 ΔL は、 $d \sin \theta$ に等しいことを示した。対応する経路長時間遅延差 Δt は $(d \sin \theta) / c$ である。フェーズドアレイは、狭帯域信号にのみ適応する素子間位相遅延を補償するビーム形成器を使用するのに対し、時間遅延アレイは、より広い周波数帯域の信号に適応する素子間時間遅延を補償するビーム形成器を使用する。

30

ここで、図 7 に示すような、X 軸受信ビーム形成器において背面行が仮想アースに接続された 4×4 サブセットの動作の受信モードを検討すれば、4 個の Y 軸受信電気信号の各組は、背面行の信号基準を形成するために受信器ビーム形成器増幅器 402 の仮想アースノードに接続されている。増幅器の出力は、図 7 に示すタップ付き双方向時間遅延加算網 404 に供給される。加えられた素子間電氣的時間遅延 406、 Δt は、着信する音響信号の異なる素子間経路長から生じる時間遅延を補償し、次式の入射角で $\pm X$ 軸（X - Z 平面）で 2 個のビームの形成をもたらす。

$$= \sin^{-1}(c / d)$$

40

この式より、この時、ビーム角度は音響周波数と独立であり、従って広い周波数スペクトルにより空間において空間的に拡大しないことがわかる。この広帯域能力は、前述の移相技法に優る時間遅延技法の第 1 の利点である。

受信モードにおいて、 4×4 アレイの動作は、図 8 に示すように信号の流れが逆になること以外、上述の受信モードと同様である。X 軸ビーム形成器 500 において背面行全部が信号用アースに結合されている前面列の動作をまず検討すれば、送信信号 502 が時間遅延送信ビーム形成器 504 に供給され、 0° 、 90° 、 180° および 270° の相対的時間遅延 508 を伴う 4 個の駆動信号を生成する。これらは、低出力インピーダンスドライバから Y 列の 4 個の並列配線の組 506 に供給される。課された時間遅延はラインアレイ間で異なる経路長から生じる時間遅延を補償し、入射角 θ で送信音響信号干渉パターンが形成され、こ

50

れは主ビームローブの1個の中心に対応する。もう1個の送信ビームは、時間遅延網の信号の流れ方向を逆にすることによって - の入射角で形成され得る。

他方の次元 (Y 軸) における時間遅延アレイの受信および送信動作は、上述とまったく同様である。 Y 軸動作では、信号は背面行との間で供給および受信され、前面列は低インピーダンスによって信号用アースと結合される。各側での低い送信駆動および受信器負荷インピーダンスの存在により、 X 軸および Y 軸動作の完全な独立がもたらされ、従って、 X 軸および Y 軸の両方において同時に動作可能となる。

大形のアレイの場合、上述の時間遅延法は、移相法よりも実施が複雑になる。移相法を使用する際には4個の個別の移相のみ要するのに対し、各個別のラインアレイ間で個別の時間遅延素子が要求されるからである。32素子の時間遅延網は32素子アレイが必要であり、それにより、同じ大きさの対応するフェーズドアレイよりも時間遅延アレイの方が著しく複雑となる。(広帯域動作環境における狭峻ビームを形成できる能力に加え)時間遅延法のさらなる利点は、ビーム角 θ が単一の一定のアレイ物理構成に関して $\sin^{-1}(c/d)$ によって決定されるので、各軸における複数の傾斜ビームが、各ビームの組について異なる組の時間遅延を用いることにより容易に形成できることである。この概念は図9に示す。この例では、4つの傾斜角 θ で Z 軸 552 に関して対称に方向づけられた4組の4ビームの組合せ 550 が4組の X および Y ビーム形成器 (BF 1 X ~ BF 4 X、554 および BF 1 Y ~ BF 4 Y、556) を用いて得られ、各組は基本時間遅延アレイについて上述のように動作する。

2. ハードウェアの説明

上述からわかる通り、本発明は、様々な搬送波周波数、ビーム特性および信号帯域幅の能力を備える2個の傾斜ビームの多数の組合せを生成して実施できる。本節において説明する特定の好ましいハードウェアの実施態様は、前節で機能に関して説明した、ADVS用途での使用のための2軸の各々において150kHz搬送波周波数で2個の狭峻なビーム幅の広帯域ビームを生成する時間遅延ビーム形成器を使用する。

以下で開示する好ましい実施態様に係るハードウェアは、円形送受波器アレイおよび、各々が2個の傾斜送信/受信ビームを形成するために電気信号伝送を行う2個のほぼ同一のビーム形成網より構成される。送受波器アレイの平面図を図10に示す。アレイの直径 D 600 は約160mmである。5mm (約1500m/sの伝搬速度にもとづく150kHzにおけるほぼ1/2波長)の中心間距離604で間隔を開けて密に配置された800個の個別の正方形表面の150kHz圧電セラミック素子102が存在する。

送受波器アレイの多層構成を図11に立体図で示す。この立体図での厚さ寸法は層構造を示すために拡大されている。例えば図10に示した800個の素子102であるセラミックアレイ素子700は、上面および底面のセラミック表面にある2個の音響的透明材料からなる柔軟な薄層のプリント回路 (FPC) 702および704によって電気的かつ機械的に接続されている。このような回路は、Kapton (ポリイミド、登録商標)その他の適切な材料によって製作できよう。各セラミック素子700への電気接続は、プリント配線をアレイ素子の導電面に圧着およびボンディング (あるいはまた、低温はんだ付け) することによって得られる。ボンディングは適切な接着剤を用いて行えるであろうが、他のボンディング形式も適格となり得ることが理解できよう。接続パターンは、前面で素子の列方向に、背面で行方向になっており、片面で列 (Y ライン 705) に、他方の面で行 (X ライン 707) にアクセスできる。表面寸法がセラミックと一致している1枚の1/8インチ (3.18mm) 厚の薄いガラス繊維材料706 (商用名 " G - 10 " と呼ばれるものや他の類似材料) が、各150kHz送受波器アレイの上面フレキシブル回路の前面に接合されている。このガラス繊維部材 (G - 10 または相当品) は、アレイと水との間のインピーダンス結合を改善し、送受波素子の帯域幅を著しく高めるために使用される音響的四分の一波長変成器である。送受波器帯域幅の点で相当の増大が広帯域ADVS技術では要求される。ガラス繊維部材の前面に接合されたウレタン層708は、前面を前方の水からシールする。空気入り厚紙の層710は、ハウジングの背面712と底面のフレキシブル回路の裏面との間に、後方に発信される音響エネルギーを反射し、送受波器アレ

10

20

30

40

50

イ表面の前面 7 1 4 に生じる水圧に対する必要な機械的支持を与えるために設けられている。

好ましい時間遅延受信モードビーム形成回路（１軸のみ）を図 1 2 に示す。動作の受信モードにおいて、全部の前面列 1 0 4 および背面行 1 0 6 からの受信信号はそれぞれ、T / R スイッチ 1 1 8 を経て X 軸ビーム形成器 1 1 0 a および Y 軸ビーム形成器 1 1 0 b に結合される。各 T / R スイッチは、受信器増幅器入力端子 8 0 8 と直列の電界効果トランジスタ（F E T）によって実施されている。受信モード動作における全部の X ラインおよび Y ラインの仮想アース低インピーダンス負荷は、相対的に低インピーダンスの送受波器ラインアレイと結合された時に低ノイズ値を有する高利得差動前置増幅器 8 1 0 によって実施されている。X および Y の各送受波器ラインアレイは高入力インピーダンスの差動前置増幅器の負端子と接続され、正端子は信号用アース 8 1 2 と接続され、帰還インピーダンス 8 1 4 は低インピーダンス前置増幅器出力と負入力端子との間に接続されている。これは、送受波器ラインアレイがそのラインアレイの電気インピーダンスに等しい電源インピーダンス 8 1 6 を入力信号に付与する、公知の反転動作増幅器構成（増幅器の得られる利得は電源インピーダンス 8 1 6 への帰還インピーダンスの比の負数に比例する）を成す。増幅器の開ループ利得が、帰還抵抗器と各 1 5 0 k H z ラインアレイの電源インピーダンス（約 2 0 0 ）との比によって決定される閉ループ利得よりも相当大きい場合、入力端子間電圧は受信信号に対して低くなる。増幅器の正端子が接地されているので、負端子も増幅器のループ動作によってほとんど地電位に維持される。従って、負端子入力 8 0 8 は“仮想”アースとみなされる。

前置増幅器の出力は、ラインアレイから得られた信号電流をタップ付きアナログ時間遅延加算網 4 0 4 に注入するトランジスタ 8 1 8 によって高出力電流電源に変換される。この網は（各次元で使用される 3 2 個の行または列の各々に対応する）3 2 個のタップを有し、タップ間の各区間は、選択された入射角でラインアレイに着信および放出するために生起する t マイクロ秒の音響的時間遅延を補償するために要する遅延に一致する、t マイクロ秒の時間遅延を有する。各時間遅延区間は、秒オーダの全通過フィルタに近似する 4 構成要素の誘導子 / コンデンサ網 8 2 2 によって実施されている。この誘導子 / コンデンサ網は、2 5 % 帯域幅に対して 0 . 1 % の精度である広帯域幅時間遅延の近似値を付与する。

上述の説明は、2 軸アレイの 2 個の軸の一方に関係する受信ビーム形成器に当てはまる。受信ビーム形成器の電氣的ハードウェアの対応する組が他方の軸の受信信号の処理にも使用されることが理解できよう。

図 1 3 は、本発明に関係する好ましい時間遅延送信ビーム形成器（１軸のみ）を示している。この送信ビーム形成器の時間遅延は、回路を単純にし、正確なクロック信号により決定される精確な時間遅延を得るために、ディジタル回路および矩形波形によって得られる。T B 1 および T B 2 8 5 0 は、4 個の音響ビームによって送信される周波数での矩形波形である。3 2 個の行の各々について、T B 1 および T B 2 8 5 0 は、（3 2 ビットシフトレジスタ 8 5 2 を用いて得られる）適切な時間遅延の後に加算回路 8 5 1 によって加算され、送信増幅器 8 5 4 を経て 3 2 個のアレイ行に供給される。送信増幅器の矩形波出力信号に関係する調波は、送受波器アレイの行または列 8 5 6 の帯域通過特性によって減衰されるので、送信信号は基本送信周波数が支配的となる。送信増幅器は、送受波器を駆動する際に低出力インピーダンスを有する低インピーダンス F E T のプッシュ / プル出力段 8 5 8 によって実施されている。受信モード動作では、プッシュ / プル段の両方をオフにすることによって高出力インピーダンス負荷が供給される。

送信モードにおいては、各セラミック素子の 2 面間の電位は、上述の 2 個の行駆動信号（T B 1 および T B 2）および対応する組の時間遅延列駆動信号（T B 3 および T B 4）の 4 個の適切に遅延された波形の加算によって決定される。2 軸（X - Z および Y - Z 平面）における 4 個の傾斜音響ビームは、これらの時間遅延駆動波形によって生成される。時間遅延アレイは、それぞれ 4 ° のビーム幅（2 面、3 d B 降下点にもとづく）を有する 4 個の送信および受信ビームを形成する。図 1 4 は、公称値 1 5 0 k H z の 3 2 × 3 2 フ

10

20

30

40

50

エーズドアレイ送受波器アレイについて、X - ZまたはY - Z平面において見られる1個の音響ビーム900の形成を示す、(アレイ表面に垂直なZ軸から測定された)信号振幅対ビーム角度のグラフである。図示の通り、隣接および反対のビーム位置($\pm 30^\circ$ ビーム角度904)におけるサイドローブの減衰は約-40dBである。

3. 製作の説明

本発明の別の側面は、経済的な方法で当該の複数ビームのソナーにおける使用に適し、素子間の精確な幾何学的関係を保持する送受波器アレイを製造する独自の方法に関する。この方法について以下の各段落で詳細に説明する。

上述のような高周波アレイの場合、個々の送受波器素子の直径および個々の送受波器素子間の距離は、例えば5mm未満といったように小さく、かつ、多数の精確に配置された素子が要求される。こうした多数の小形の個別部品をアレイに組み立てることは実際的ではないので、素子は、ダイシング中およびその後において各々の原位置に残存され、前述の通り電氣的に接続されるようにしなければならない。それ故、セラミック素子、ガラス繊維、音響透過性フレキシブル印刷回路(FPC)および支持材を単に貼り合わせ、その後

10

に所要数の部品に切断することはできない。素子間の精確な幾何学的関係を保持する2軸送受波器アレイを製造するための信頼でき経済的な方法が要求される。

本発明の好ましい実施態様を製造するために使用される好ましい工程を図15に示す。好ましい送受波器アレイの組み立てに必要な構成部品には、円柱固体ガラス繊維素子706(G-10または相当品)、前面(Y軸)のY-FPCシート702、円柱セラミック素子700、背面(X軸)のX-FPCシート704、厚紙支持層720およびウレタン層708が含まれる。また、製造工程が完了した時に送受波器アレイアセンブリを収容するためにカップ形ハウジングも使用できよう。2面の次元において概ね対称である楕円形または多角形といった他の形状も上述の円柱形に代わる使用に適することに留意されたい。製造工程は一般に、電氣的および機械的に独立した素子を作り出すために、前面および背面の固体セラミックピースおよび付属するインピーダンス層を切り込むための平行刃ダイヤモンドカッタの使用を伴う。これは、素子間の精確な幾何学的関係を保持するために切り込み中およびその後全部のアレイ素子が正しい位置に保たれるような方法で行われる。詳細に言えば、本発明の好ましい実施態様を製造するための開示した工程は、図15を参照すれば以下の通りである。

20

1. 最初に、平行刃ダイヤモンドカッタ(図示せず)を使用して、XおよびY方向で、Z軸によって規定されるその厚さの半分までガラス繊維整合層706の前面を切り込む。

30

2. 次に、音響的透明なウレタン層708をガラス繊維整合層706の前面に接合する。

3. その後、ダイヤモンドカッタを使用して、XおよびYの両方向で残りの厚さについてガラス繊維整合層706の背面を切り込む。

4. 次に、ダイヤモンドカッタを使用して、XおよびY方向で、Z軸によって規定されるその厚さの半分まで送受波器アレイブランク700の背面を切り込む。

5. X軸導体ホイル(X-FPC)の薄層704をブランク700の背面に接合する。

6. 支持材層700をX-FPC704の背面に接合する。

7. ブランク700の前面をXおよびY方向で残りの厚さ(Z方向)について切り込む。

8. Y軸導体ホイル(Y-FPC)の薄層702をセラミック/X-FPCアセンブリの前面に接合する。

40

9. 最後に、切り込まれたガラス繊維整合層/ウレタン層アセンブリ706, 708およびセラミック/FPC/支持体アセンブリ700, 702, 704, 710を、図示のように一体に接合する。

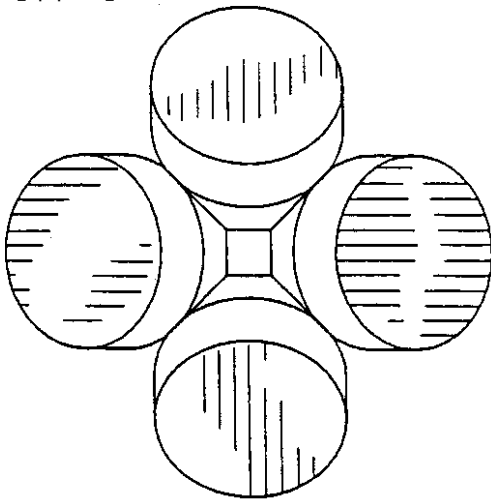
必要に応じて、所要の基台(船体または音速プロファイラといった)に送受波器アレイを取り付け、水の浸入から密閉するために、カップ形ハウジングその他の支持要素を被せることができよう。そうした要請を満たすために、多様なハウジング設計および密閉機構が本発明と関連させて使用することが可能であろう。

以上の詳細な説明により、各種実施態様に適用される本発明の新規の基本的特徴を図示、解説および指摘したが、例示した装置または工程の形態および詳細において多様な省略、

50

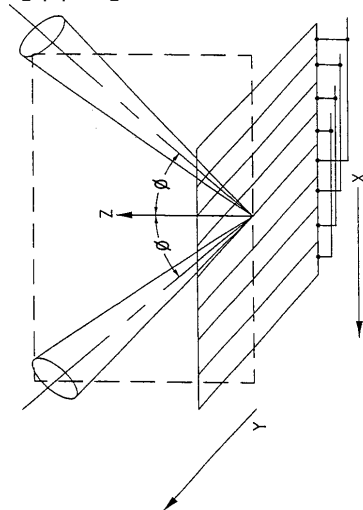
代替および変更が、本発明の範囲を逸脱することなく当業者によって行い得ることが理解されるであろう。

【図 1】

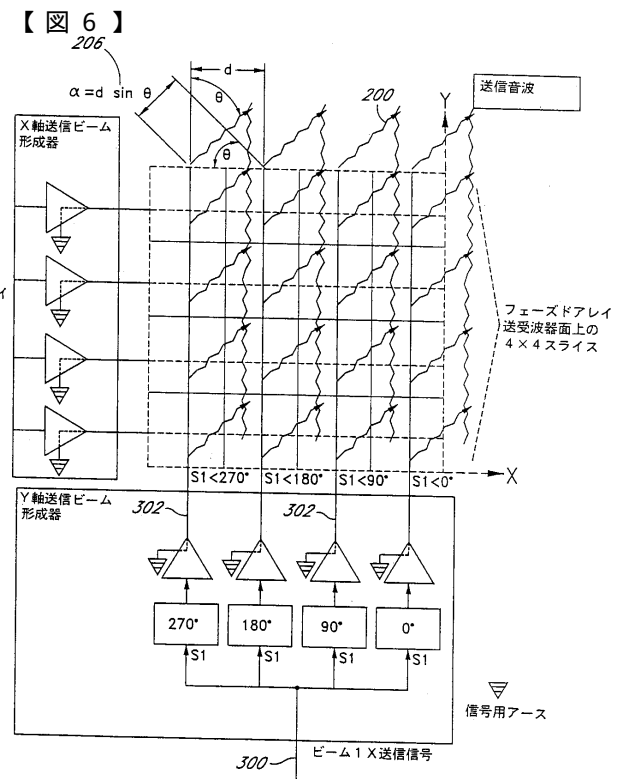
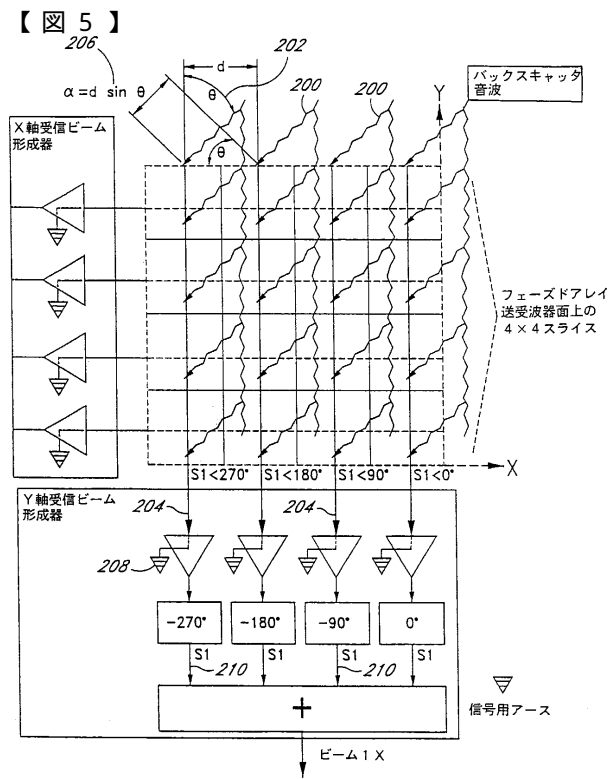
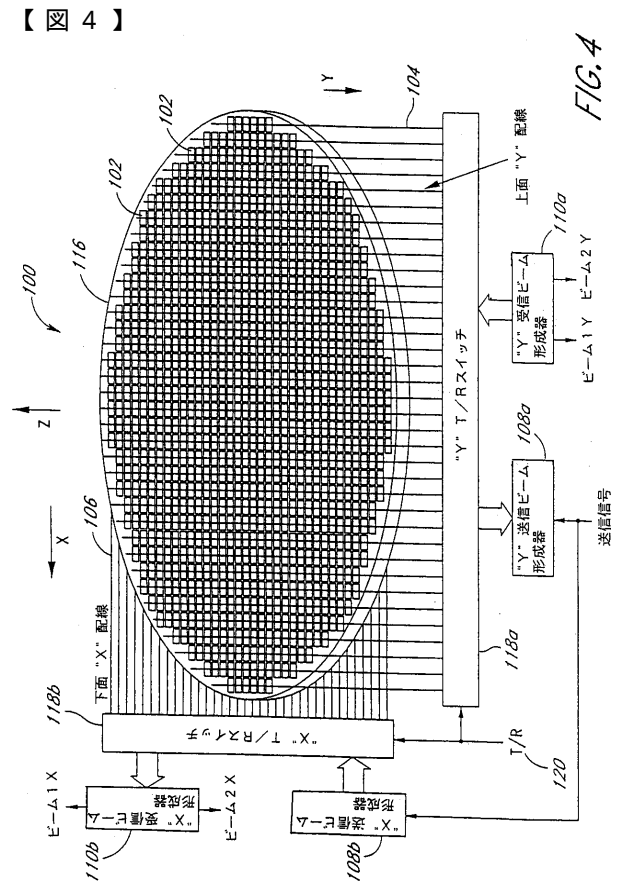
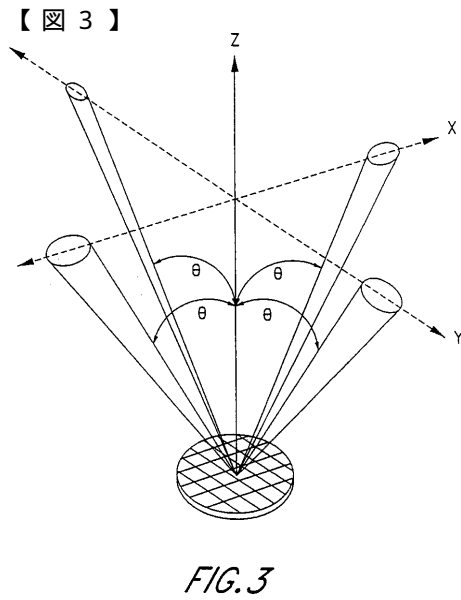
**FIG. 1**

(従来技術)

【図 2】

**FIG. 2**

(従来技術)



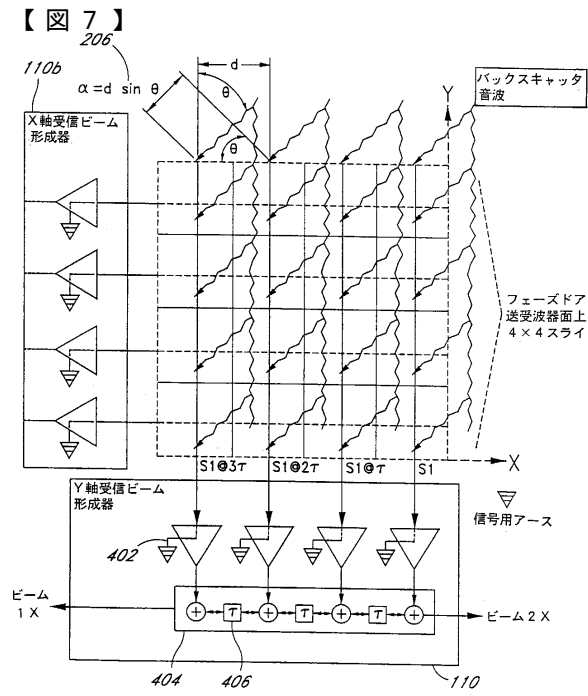


FIG. 7

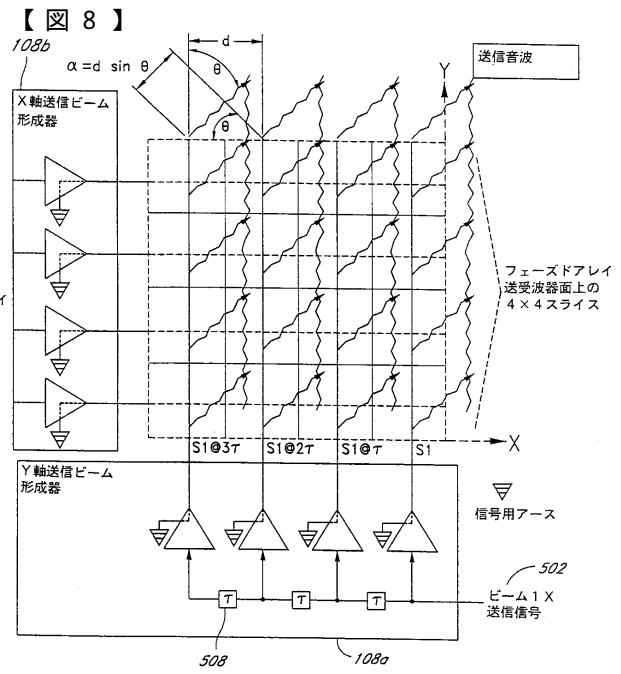


FIG. 8

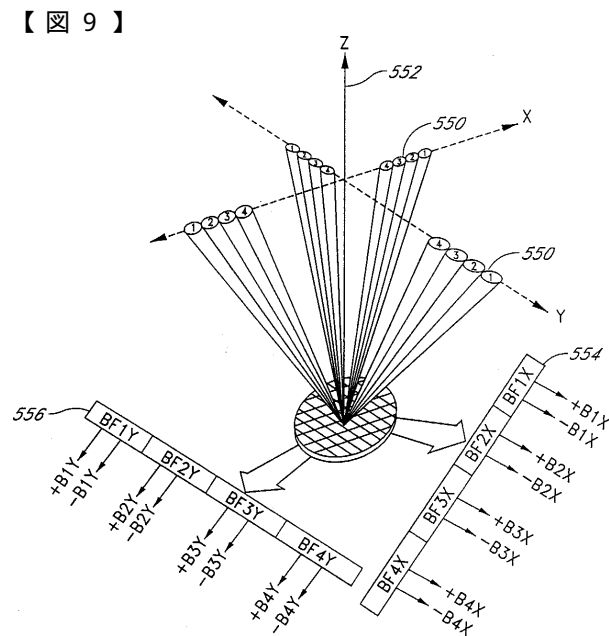


FIG. 9

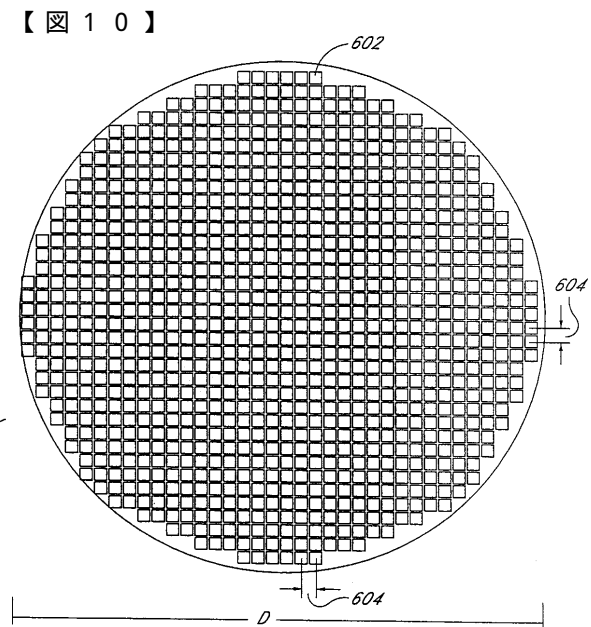


FIG. 10

【図 11】

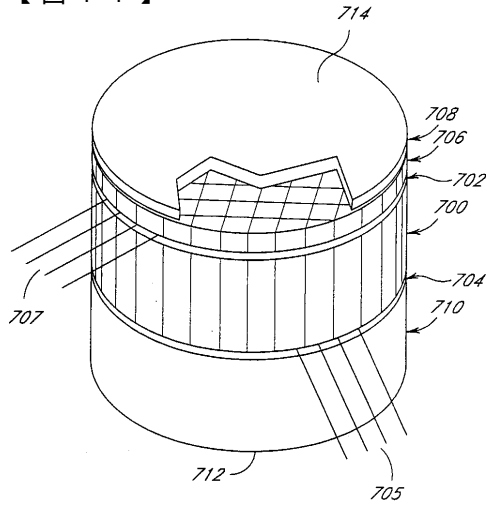


FIG. 11

【図 12】

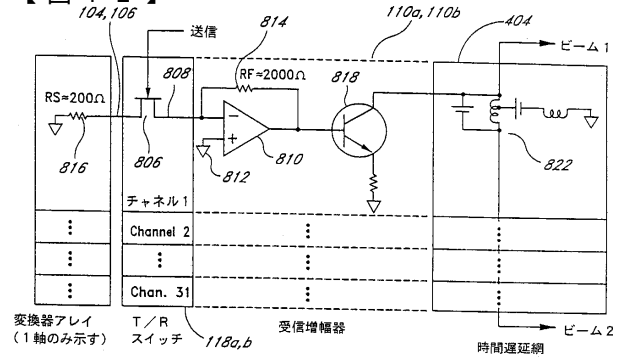


FIG. 12

【図 13】

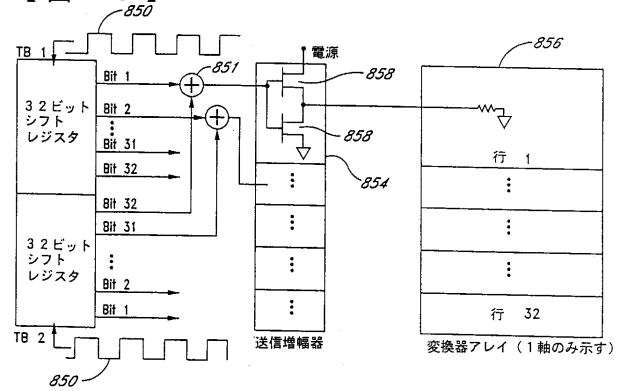


FIG. 13

【図 14】

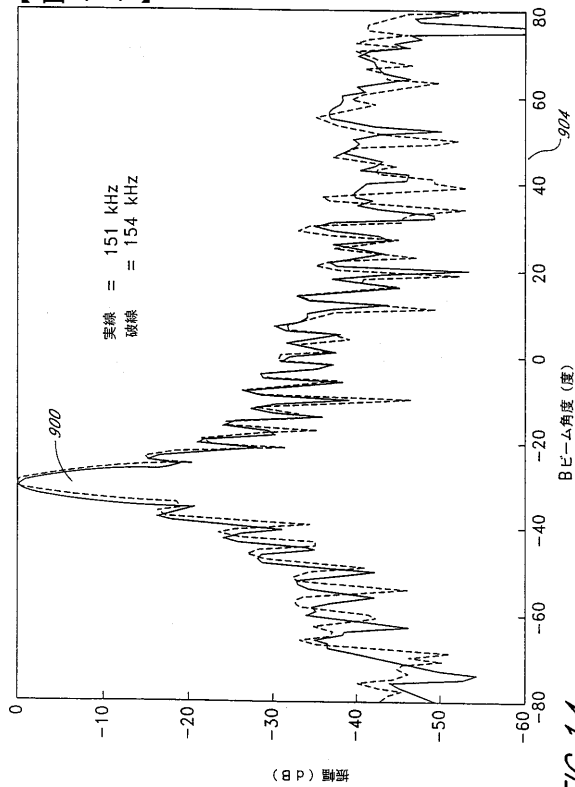


FIG. 14

【図 15】

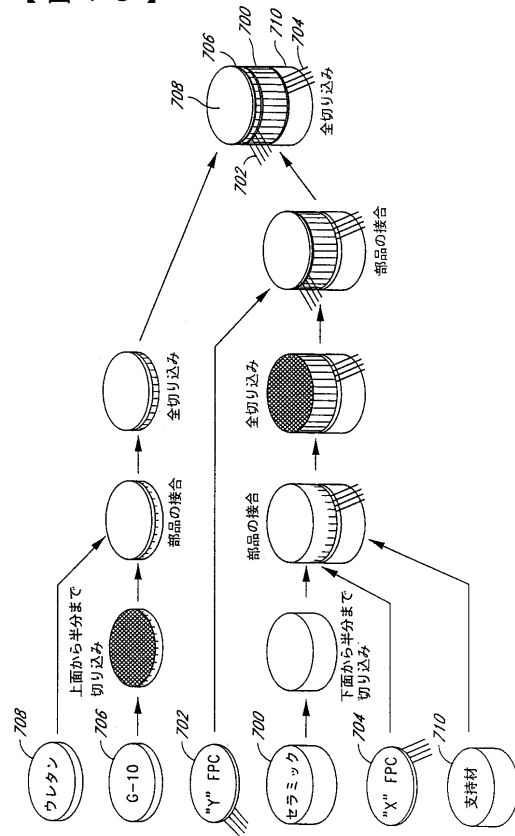


FIG. 15

フロントページの続き

(74)代理人 100105407

弁理士 高田 大輔

(74)代理人 100123098

弁理士 今堀 克彦

(72)発明者 ヨ, ショーロン

アメリカ合衆国, 9 2 1 2 6 カリフォルニア, サン ディエゴ, カールストン ウェイ 1 0 6
3 1

(72)発明者 ブレッドリー, スティーブン, イー.

アメリカ合衆国, 9 2 1 2 4 カリフォルニア, サン ディエゴ, コート プラヤ カタリナ 5
0 9 6

(72)発明者 ロウ, フランシス, ディー.

アメリカ合衆国, 9 2 1 1 7 カリフォルニア, サン ディエゴ, ロディ ストリート 5 7 2 3

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 米国特許第 0 5 5 3 0 6 8 3 (U S , A)

特開昭 6 1 - 1 1 0 0 7 4 (J P , A)

特開昭 6 3 - 0 2 1 5 8 3 (J P , A)

特開昭 6 3 - 0 8 4 5 3 1 (J P , A)

米国特許第 0 5 5 5 0 7 9 2 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G01S 7/52 - 7/64

G01S 15/00 - 15/96

H04R 3/00

H04R 17/00