

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A) (11)特許出願公開番号

特開2001 - 258879

(P2001 - 258879A)

(43)公開日 平成13年9月25日(2001.9.25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
A 6 1 B 8/00		A 6 1 B 8/00	4 C 3 0 1
B 0 6 B 1/06		B 0 6 B 1/06	Z 5 D 0 1 9
H 0 4 R 1/34	330	H 0 4 R 1/34	A 5 D 1 0 7
	3/00		330
	17/00		330 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 16数) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000 - 72854(P2000 - 72854)

(22)出願日 平成12年3月15日(2000.3.15)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 安達 日出夫

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリン

パス光学工業株式会社内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外 4 名)

F ターム (参考) 4C301 AA03 EE06 GA20 GB16 HH01

5D019 AA21 BB02 BB12 FF04 GG01

GG03

5D107 AA20 BB09 CC01 CC10 CC12

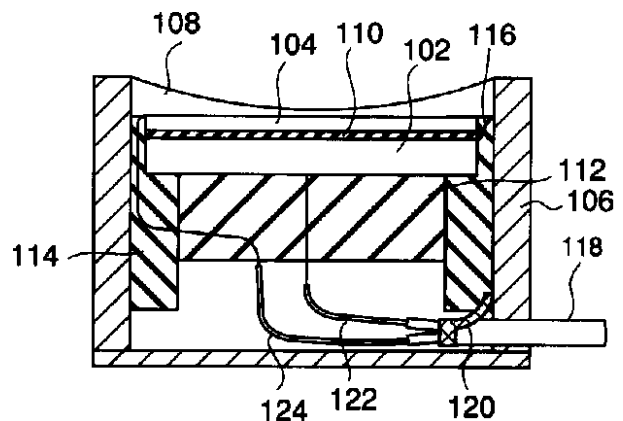
CD02 FF01 FF07

(54)【発明の名称】 超音波トランスデューサシステムおよび超音波トランスデュー

(57)【要約】

【課題】ハーモニクス信号をこれまでよりも高い感度で検出できる超音波トランスデューサ技術を提供する。

【解決手段】超音波トランスデューサは、送信用圧電振動子102と、受信用圧電振動子104と、これらの圧電振動子102, 104を収容するハウジング106と、凹面状の音響レンズ108とを有している。送信用圧電振動子102は共振周波数 f を有し、受信用圧電振動子104は共振周波数 $n f$ (n は2以上の整数)を有する。送信用圧電振動子102は時間 t_1 の間だけ駆動電圧が印加され、この駆動電圧の印加から所定時間 t_2 ($> t_1$)の間、受信用圧電振動子104の電極間は短絡を含む低抵抗状態に保持され、所定時間 t_2 の経過後、送信用圧電振動子102に次の駆動電圧が印加されるまでの間、送信用圧電振動子102の電極間は開放を含む高抵抗状態に保持される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】互いに層状に配置された共振周波数 f_t の超音波を送信する送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する受信用圧電振動子とを有する超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサを制御する制御手段とを有する超音波トランスデューサシステムであり、制御手段は、時間 t_1 の間だけ送信用圧電振動子に駆動電圧を印加するとともに、この駆動電圧の印加から所定時間 t_2 ($> t_1$) の間は、受信用圧電振動子の電極間を、短絡を含む低抵抗状態に保持し、所定時間 t_2 の経過後、送信用圧電振動子に次の駆動電圧を印加するまでの間は、送信用圧電振動子の電極間を、開放を含む高抵抗状態に保持する、超音波トランスデューサシステム。

【請求項 2】共振周波数 f_t の超音波を送信する送信用圧電振動子と、共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する受信用圧電振動子とを有しており、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の一方は輪帯状で、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の他方は円板状であり、円板状の圧電振動子は輪帯状の圧電振動子の内側に配置されている、超音波トランスデューサ。

【請求項 3】共振周波数 f_t の超音波を送信する複数の送信用圧電振動子と、共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する複数の受信用圧電振動子とを有しており、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子は放射状に交互に配置されている、超音波トランスデューサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ハーモニクイメーシング超音波診断に用いられる超音波トランスデューサや超音波トランスデューサシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ハーモニクイメーシング超音波診断法が注目を浴びている。この診断方法は、造影剤を用いたコントラストハーモニクイメーシングと生体組織が有する弾性特性の非線型性を検出して画像表示するティッシュハーモニクイメーシングに分類される。その状況は「エレクトロニクスの臨床 超音波特集 - 最新の超音波 - : 1999 年日本超音波医学会学会講演会 配布テキスト」に詳しく記述されている。

【0003】ティッシュハーモニクイメーシングは、超音波造影剤を用いずに、中心周波数 f_0 を有する超音波パルスを生体組織に送信し、帰ってきたエコー信号に含まれる高調波成分 $n f_0$ (n は 2 以上の整数) を抽出し、その振幅とエコー信号受信時刻との関係を断層像表示することにより診断画像を得る。体外用においてはこの機能を搭載した診断装置が既に市販されている。ティッシュハーモニクイメーシング診断法は従来ノイズ

の混入によってエコー像が不鮮明であることの多かった肥満例や高齢者あるいは喫煙者においても比較的明瞭に左室壁などの心構造物を観察できる。

【0004】この診断技術は現状では体外用でのみ用いられており、第二高調波 ($n = 2$) のみが用いられている。この第二高調波を効率良く受信する為には超音波トランスデューサの帯域の下半分で送信し、上半分で受信する必要がある。この為に広帯域超音波トランスデューサが用いられ、帯域を広げる為の駆動制御が行われてきた。

【0005】しかし、現状でも帯域、感度が十分とは言えず、更に、 $n = 3$ の高調波を扱う場合、最適設計された現状の超音波トランスデューサが持つ比帯域幅以上の大きな比帯域幅を実現するのは、従来の超音波トランスデューサ設計、製造技術では極めて難しい。次善の策として駆動波形の工夫で広帯域化は可能であるが、広帯域化は感度の低下を招く。

【0006】通常、ハーモニクス信号は基本周波数信号に比べて 2 次で 15 ~ 20 dB、3 次では更に 15 ~ 20 dB 感度が低下すると言われている。よって上記のような広帯域化に伴う感度の低下は、更に診断画像の劣化を招き、好ましくない。

【0007】更に、送受信を同一の圧電振動子で行なうと、ハーモニクス信号に基本波信号が混在し、この中から微弱なハーモニクス信号のみを高精度に抽出することには特別な工夫が必要となる。以上の問題は f_0 送信と $2 f_0$ 受信を同一の圧電振動子で行なう限り避けられない。

【0008】特開平 11-155863 号は、このような不具合を改善するため、一つのケース内に送信用圧電振動子と受信用圧電振動子を収納し、高調波成分を効率よく受信する超音波トランスデューサを開示している。この超音波トランスデューサの構成を図 14 に示す。

【0009】図 14 に示されるように、超音波トランスデューサ 1000 は、送信用の圧電超音波振動子 1002 と、その前方に配置された受信用の高分子圧電振動子 1004 を有しており、受信用の高分子圧電振動子 1004 と送信用の圧電超音波振動子 1002 は音響整合層 1006 を介して層状に配置されている。

【0010】送信用の圧電超音波振動子 1002 と受信用の高分子圧電振動子 1004 の前側の電極は共に接地用リード線 1008 に接続されており接地電位に保たれる。送信用の圧電超音波振動子 1002 の後ろ側の電極は送信用シールド線 1010 に接続されており、これを介して駆動電圧が供給される。受信用の高分子圧電振動子 1004 の後ろ側の電極は受信用シールド線 1012 に接続されており、これを介して受信信号が取り出される。

【0011】送信用の圧電超音波振動子 1002 は、超音波造影剤の共振周波数又は前記超音波造影剤の共振周

波数に対して特定の関係を有する周波数に、一致する共振周波数又は反共振周波数を有している。一方、受信用の高分子圧電振動子 1004 は、非共振型の圧電振動子であり、超音波造影剤の非線形的挙動に基づいて発生する高調波成分をも受信し得る。

【0012】この超音波トランスデューサ 1000 は、送信用の圧電超音波振動子 1002 と受信用の高分子圧電振動子 1004 の間に音響整合層 1006 が設けられているため、人体内の血管や周辺部に毛細血管の集中した癌組織など注入した超音波造影剤が存在する部位だけ 10 を他の部位より鮮明に描出し得る。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】この超音波トランスデューサ 1000 は、別個の送信用圧電振動子と受信用圧電振動子を有しているので、従来的一般に用いられてきた単一の圧電振動子で送受信を行なう超音波トランスデューサに比べて、広帯域化が容易に行なえ、ハーモニックイメージングに適した特性を示すことが期待される。

【0014】しかしながら、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子が層状に配置されているため、送信時には、超音波が受信用圧電振動子を透過する際に送信超音波に残留振動が重畳され、受信時には、受信超音波が送信用圧電振動子に到達した際に受信超音波に残留振動が重畳されてしまう。このような残留振動の重畳は、分解能を大きく劣化させる原因となる。この事実は、当発明者らによって、実験的にもシミュレーションでも確認されている。

【0015】このように、特開平 11-155863 号に開示される超音波トランスデューサ 1000 は、送信用圧電振動子 1002 と受信用圧電振動子 1004 の間に音響整合層 1006 を有しているので、送信用圧電振動子 1002 と受信用圧電振動子 1004 の境界部における反射に関してはなくすることが可能であるが、残留振動に対する対策は成されていない。また、同文献は、残留振動の対策について教示も示唆もしていない。

【0016】本発明の目的は、同一のケース内に収容された送信用圧電振動子と受信用圧電振動子を有するが、残留振動による分解能劣化の悪影響を受けずにハーモニクス信号を高感度で検出できる超音波トランスデューサ 40 技術を提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明は、一面においては、超音波トランスデューサシステムであって、互いに層状に配置された共振周波数 f_t の超音波を送信する送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する受信用圧電振動子とを有する超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサを制御する制御手段とを有し、制御手段は、時間 t_1 の間だけ送信用圧電振動子に駆動電圧を印加するとともに、この駆動電圧の印加から所定時間 t_2 ($> t_1$) の間は、受信用圧 50

電振動子の電極間を、短絡を含む低抵抗状態に保持し、所定時間 t_2 の経過後、送信用圧電振動子に次の駆動電圧を印加するまでの間は、送信用圧電振動子の電極間を、開放を含む高抵抗状態に保持する、超音波トランスデューサシステムである。

【0018】本発明は、別の一面においては、超音波トランスデューサであって、共振周波数 f_t の超音波を送信する送信用圧電振動子と、共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する受信用圧電振動子とを有し、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の一方は輪帯状で、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の他方は円板状であり、円板状の圧電振動子は輪帯状の圧電振動子の内側に配置されている、超音波トランスデューサである。

【0019】本発明は、さらに別の一面においては、超音波トランスデューサであって、共振周波数 f_t の超音波を送信する複数の送信用圧電振動子と、共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の超音波を受信する複数の受信用圧電振動子とを有し、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子は放射状に交互に配置されている、超音波トランスデューサである。

【0020】

【発明の実施の形態】[第一の実施の形態] 本実施の形態は、ハーモニックイメージング超音波診断に適した超音波トランスデューサシステムであり、これは超音波トランスデューサとその制御系を含んでおり、以下では、最初に超音波トランスデューサについて説明し、続いてその制御系について説明する。

【0021】[構成] 図 1 に示されるように、超音波トランスデューサは、送信用圧電振動子 102 と、受信用圧電振動子 104 と、これらの圧電振動子 102, 104 を収容するハウジング 106 と、凹面状の音響レンズ 108 とを有している。

【0022】送信用圧電振動子 102 は、例えば、ジルコンチタン酸鉛 PZT やビスマス層状構造体等の圧電セラミクスまたは水晶、ニオブ酸リチウム、PZT 等の単結晶からなる圧電素子である。受信用圧電振動子 104 は、例えば、ポリ弗化ビニリデン、シアン化ビニリデン等の高分子樹脂からなる高分子圧電素子、またはエポキシ樹脂等に柱状圧電セラミクスを分布させた複合圧電素子である。

【0023】送信用圧電振動子 102 と受信用圧電振動子 104 は音響整合層 110 を挟んで積層され、送信用圧電振動子 102 の背面にダンピング層 112 が設けられている。この積層構造体は、ハウジング 106 の内壁にライニングされた絶縁層 114 によって、ハウジング 106 内に固定されている。絶縁層 114 は、ハウジング 106 と圧電振動子 102, 104 の電極とを絶縁している。音響レンズ 108 は、受信用圧電振動子 104 の前面に配置されている。

【0024】送信用圧電振動子102の超音波出射側の電極と、受信用圧電振動子104の超音波出射側の反対側の電極は、配線116によりハウジング106に電気的に接続され、ハウジング106と同電位に保たれる。二芯同軸ケーブル118は、リード線122が、送信用圧電振動子102の超音波出射側の反対側の電極に電気的に接続され、リード線124が、受信用圧電振動子104の超音波出射側の電極に電気的に接続され、シールド線120が、ハウジング106に電気的に接続されている。

【0025】送信用圧電振動子102は共振周波数 f_t を有し、受信用圧電振動子104は共振周波数 $n f_t$ (n は2以上の整数)を有する。例えば、送信用圧電振動子102は5MHzの共振周波数を有し、受信用圧電振動子104は10MHzの共振周波数を有する。圧電振動子102, 104の共振周波数は、その厚さを制御することによって調整される。

【0026】受信用圧電振動子104の形成は、予め分極状態の圧電高分子膜を接着により接合する方法もあるが、接合時の圧力、気泡の巻き込みの影響、接着層の影響で送信用圧電振動子が割れるダメージや不均一な接着層厚み等により設計通りの構造や特性が安定して得られない場合がある。このような場合、表面エネルギーポーリング可能な圧電高分子層を形成することが望ましい。この方法は、文献「Junya IDE et al: Jpn J. Appl. Phys. Vol. 38 (1999) pp2049-2052」に詳述されており、ポリシアノフェニルサルファイド等の高分子材料を、音響整合層110表面に形成された電極上に成膜し、硬化後に上部電極を形成するもので、特に分極処理をしなくても表面エネルギーの効果で成膜後に自発的に分極状態が実現できる。スピコート等で形成できるので、分極状態の圧電高分子膜を接着により接合する方法より目標とする構造を実現し易い。この高分子材料を音響整合層110表面に形成された電極(図示せず)上に滴下し、適当な回転数にしてスピコートリングし、更に上部電極を形成して、受信用圧電振動子104が形成される。

【0027】次に音響レンズ108の球面の曲率半径の設定について図5を用いて説明する。図5(A)は、円板圧電振動子の前面に配置される音響レンズの曲率半径 R と、水の超音波伝播媒体における焦点距離 F の関係を、横軸 $D(=a^2/R')$ 、 a :開口半径、 R' :超音波の伝播材質中での波長、 R' :レンズの見かけの曲率半径で $R'=2.25R$ 、 R :音響レンズの加工曲率半径)、縦軸 F/R' の関係で示したもので、良く知られたレーリーの式から導かれる関係である。図5(B)は、これから更に5MHzと10MHzの場合について、焦点と音響レンズの実際の加工曲率半径との関係を示したものである。図5(B)から、いずれの周波数においても同じ位置、例えば30mmの位置に焦点を結ばせる為には、異なる曲率半径、例えば10MHzに対しては16mm、5MHz

zに対しては40mmに設定することが望ましいことが分かる。しかし、超音波を送受信する開口表面は共有されている。このため、音響レンズ108は、両曲率半径の中間値、例えば25mmに設定されており、この構造における最適の焦点結像状態を実現している。

【0028】なお、上記では平均値としたが、中心が受信に最適で周囲が送信に最適となるように曲率半径を部分的に変えても(或いはその逆に構成しても)良い。

【0029】以上は送信時から10MHzのハーモニクス信号が発生している場合だが、実際は超音波の伝播距離とともに生体の弾性率の非線形性によってハーモニクス信号が徐々に発生するので、前述した程ハーモニクス受信信号の焦点が遠方になる訳ではない。しかしながら、ハーモニクス信号の次数と共に基本周波数における焦点から遠ざかってゆくので、それとともに両者の焦点ずれは大きくなり、ハーモニクスイメージングによる超音波画像分解能の改善を打ち消してしまうことになる。

【0030】次に、上述した超音波トランスデューサの送受信を制御する制御系について図6を用いて説明する。

【0031】図6(A)は制御系の構成を模式的に示している。図6(A)に示されるように、制御系は、送信用圧電振動子102を制御するオンオフ制御デバイス150と、受信用圧電振動子104の信号の流れを制御するセレクトラ160とを有している。オンオフ制御デバイス150は、端子152から供給される高電圧 V_d を、端子154から入力される制御信号 V_t に従って、送信用圧電振動子102に供給する。セレクトラ160は、受信用圧電振動子104の受信信号を、端子162から入力される制御信号 V_r に従って、アンプに接続された分枝164と、接地された分枝166のいずれかに導く。

【0032】図6(B)は、オンオフ制御デバイス150とセレクトラ160に入力される制御信号 V_t と V_r のタイミングチャートを示している。このタイミングチャートから分かるように、 t_3 の周期で、オンオフ制御デバイス150の端子154にはパルス幅 t_1 のパルスが入力され、セレクトラ160の端子162にはパルス幅 $t_2(>t_1)$ のパルスが入力される。タイミングチャートには単発の矩形波の制御波形が示されているが、制御波形は、本発明者らが特願平10-178861号において開示している方法に従って、バイポーラダブルパルス電圧波形がより好ましい。

【0033】[作用]送信用圧電振動子に例えば本発明者らが特願平10-178861において開示している方法に従って、バイポーラダブルパルス電圧を印加する。送信用圧電振動子は比較的 Q_m が大きいので、この電圧印加法によって、音圧振幅が大きく、帯域の大きな超音波パルスを発生することが出来る。実際の Q_m は圧電振動子の Q_m だけでなくダンピング層112のダンピングの程度にも大きく依存するので、例えば Q_m が数十

の圧電振動子でも、ダンピングの程度を弱め同等の効果を得ることも可能である。

【0034】この送信超音波はその前面に配置した受信用超音波トランスデューサを透過する際に超音波の疎密波が受信用超音波トランスデューサ内に、周期的に変形を拘束する極性の表面電荷を発生する。この電荷は圧電振動子内に分極状態の変化を拘束するような方向の電界を発生させ、逆圧電効果によって機械的変位が起こり難い状態、即ち硬い状態を誘起する。一方、前記表面電荷を外部回路によって放電させると、分極状態の変化を拘束

10 束するような方向の電界を発生することはなく、結果として、硬い状態が誘起されることはない。即ち、圧電振動子の電極間に発生する電荷をどのように処理するかで圧電振動子の硬さに差異が現れる。この現象は圧電振動子に起る特異な現象で、一般に、圧電振動子のスティフネスが、 c^E (電界0)と c^D (電気変位0)で表され、 $c^E = (1 - K^2) c^D$ (K:電気機械結合定数)と関係づけられる良く知られた現象である。超音波の波長に比べて、超音波が透過する圧電振動子の厚みが十分厚い場合は、前記表面電荷の発生の影響は殆ど無いが、

20 本実施の形態のように、圧電振動子の厚みが1/4程*

*度の場合、大きな影響を及ぼす。

【0035】図8は、その影響を計算したシミュレーション結果を表したものである。図8において、縦の列は、送信時の受信用圧電振動子104の電極間の電荷処理状態と、受信時の送信用圧電振動子102の電極間の電荷処理状態との関係を変えた時、即ち(a)、(b)、(c)は送信時、受信用圧電振動子104の電極間の電荷処理状態/受信時、送信用圧電振動子102の電極間の電荷処理状態がショート/ショート、(d)、(e)、(f)はショート/オープン、(g)、(h)、(i)はオープン/オープン、(j)、(k)、(l)はオープン/ショートにした時の送信のみの超音波パルス(左列)、受信のみの超音波パルス(中列)、送受信トータル超音波パルス(右列)を示している。図8からショート/ショートとオープン/ショートの場合、それぞれ(b)と(k)より、残留振動が現れることが明白であり、好ましい電極間の電荷処理方法とは言えない。尚、ショート状態とは短絡を含む低抵抗状態であり、オープン状態とは開放を含む高抵抗状態である。

【0036】

【表1】

	送信時 P2端子	送信時 P1端子	送信特性			受信特性			送受信総合特性		
			Vpp N	CF MHz	PW us	Vpp (V)	CF MHz	PW us	Vpp V	CF MHz	PW us
1	Short	Short	7e4	7.44	0.219	0.078	9.91	0.234	0.647	7.81	0.358
2	Short	Open	13e4	9.58	0.195	0.086	8.19	0.266	1.890	8.63	0.234
3	Open	Open	17e4	9.91	0.328	0.069	7.44	0.297	1.862	9.16	0.398
4	Open	Short	17e4	9.91	0.329	0.09	10.59	0.258	1.960	10.13	0.258

【0037】また、表1は、これらのパルス波形の特徴値、即ちVpp:パルスの最大振幅、CF:中心周波数、PW:-20dBパルス幅をまとめたものである。Vppが大きく、PWが小さいことが広帯域、高感度につながると言う一般的な考え方に立つと、この表から、ショート/オープンの電極間電荷処理方法、即ち、基本波超音波送信時は受信用超音波振動子104は電極間がショート、受信時は送信用超音波振動子102は電極間がオープン状態に制御されることが最も好ましいことがわかる。この現象は基本的に、送信用超音波振動子102と受信用超音波振動子104の境界に音響整合層112を設けて得られる効果とは原理的に異なるものであって、必要不可欠な制御方法と言える。

【0038】次に本実施の形態に関する動作について図6を用いて説明する。

【0039】オンオフ制御デバイス150は、端子152に直流電圧Vdが印加されており、端子154にパルス幅等が制御された制御信号Vtが入力される。制御信

号Vtは、矩形波やインパルス波やバイポーラダブルパルス波等であり、例えば、図6(B)に示されるように、t3の周期を持ちt1のパルス幅を持つ矩形波である。送信用圧電振動子102は、入力される制御信号Vtのパルス波形に応じた超音波パルス174を発生する。

【0040】送信超音波パルス174は、中心周波数ftを有しており、これは、生体組織170の音響的不連続境界面172で反射され、生体の弾性特性の非線形性により、周波数nft(nは2以上の整数)のハーモニクス信号を比較的多く含んだエコー信号176となって、受信用圧電振動子104によって受信される。受信用圧電振動子104は、周波数nft(nは2以上の整数)を中心周波数に持つ共振周波数を有しているので、このハーモニクス信号を選択的に受信し電気信号に変換する。

【0041】セレクト160は、端子162に入力される制御信号Vrに応じて、受信用圧電振動子104の受信信号を、分岐164と分岐166のいずれかに導く。制御信号Vrは、制御信号Vtの周期t3と同じ周期を持

つ t_2 のパルス幅を持つ矩形波で、制御信号 V_t と同期している。セクタ 160 は、受信信号を、「H」に対応する時間 t_2 の間は接地された分岐 166 に導き、「L」に対応する時間 $t_4 = t_3 - t_2$ の間は増幅器等の後続する信号処理部に接続された分岐 164 に導く。

【0042】制御信号 V_r のパルス幅 t_2 は、制御信号 V_t のパルス幅 t_1 より長く設定されており、これは、少なくとも送信用圧電振動子 102 で発生された超音波が受信用圧電振動子 104 を完全に透過する時間に相当している。

【0043】端子 162 に入力される制御信号 V_r は、エコー信号 176 が受信用圧電振動子 104 で受信されるタイミングでは「L」に切り替わっており、従って、受信用圧電振動子 104 からの受信信号 V_{out} は、増幅器等の後続する信号処理部に導かれる。

【0044】前述したように、受信時の送信用圧電振動子 102 の電極間は、オープン状態かこれに近い状態に制御することが好ましい。エコー信号 176 が受信用圧電振動子 104 で受信される間、制御信号 V_r は「L」であるので、送信用圧電振動子 102 の電極間は実質的に 20 オープン状態に保たれる。

【0045】この制御において、送信駆動回路の最終段は、トランス結合ではなく、出力抵抗がオン時に小さくオフ時に大きくかつ出力電圧が大きくとれる制御デバイスが用いられることが好ましい。このような制御デバイスには、例えば、出力電圧が大きい高速パワー MOSFET が適している。

【0046】なお、受信用圧電振動子 104 を構成する高分子圧電体は圧電 g 定数が大きく、受信感度が大きい 30 が Q_m が小さく、従って受信周波数に対する選択性が小さい。そこで、この選択性を改善する為に、受信用圧電振動子 104 に並列にインダクタンスを接続することが効果的な場合もある。また、複合圧電体の Q_m は高分子圧電体の Q_m に比べて大きく選択性が比較的大きいので更に好ましい。

【0047】以下、本実施の形態の変形例について図面を参照して説明する。図中、上述した部材と同等の部材は同一の参照符号で示され、その詳しい説明は以下の記述において重複を避けるために省略する。

【0048】図 2 は、超音波トランスデューサの第一の 40 変形例を示している。本変形例の超音波トランスデューサは、凸面状の音響レンズ 132 と、音響レンズ 132 と受信用圧電振動子 104 の間に設けられたバッファ層 134 とを有している。凸面状の音響レンズ 132 は、レンズ材質の音速が生体組織の音速 1500 m/s より小さな場合に対応する。バッファ層 134 は、音響レンズ 132 と受信用圧電振動子 104 の間の接合性を改善する。

【0049】本変形例では、送信用圧電振動子 102 と受信用圧電振動子 104 の間に、図 1 における音響整合 50

層 110 を有していないが、送信用圧電振動子 102 と受信用圧電振動子 104 の間に音響整合層を有していると更に好ましい。凸面形状の音響レンズ 132 の材料として用いられるシリコン樹脂は、一般に他の樹脂材料への接着性が悪いので、バッファ層としてポリイミド樹脂膜を予め加熱接合したのち音響レンズ 132 と受信用圧電振動子 104 を接合すればよい。

【0050】図 3 は、超音波トランスデューサの第二の変形例を示している。本変形例の超音波トランスデューサは、音響レンズを有しておらず、受信用圧電振動子 104 の前面に絶縁層 136 だけが形成されている。この超音波トランスデューサは、横方向分解能をあまり問題にせず、ハーモニクス信号によって従来得られなかった生体情報を検出する目的に対して、安価に提供できる。本変形例においても、送信用圧電振動子 102 と受信用圧電振動子 104 の間に音響整合層を有していると更によい。

【0051】図 4 は、超音波トランスデューサの第三の変形例を示している。本変形例の超音波トランスデューサは、送信用圧電振動子 138 と受信用圧電振動子 140 と絶縁層 142 がいずれも凹面形状になっている。この構造的特徴により、超音波トランスデューサは音響レンズ無しで超音波を収束出来る。本変形例においても、送信用圧電振動子 138 と受信用圧電振動子 140 の間に音響整合層を有していると更によい。

【0052】図 7 (A) は、制御系の変形例の構成を模式的に示しており、図 7 (B) は、制御信号 V_t のタイミングチャートを示している。

【0053】この制御系では、受信用圧電振動子 104 の制御部は、セクタ 160 を含まず、代わりに、並列に接続されたトランス 180 と、トランス 180 の二次側に接続されたコンデンサ 182 とを有している。他の構成は、図 6 (A) に示される制御系と同じである。

【0054】トランス 180 は、一次側のインダクタンスが小さく、送信時、周波数 f_t に対するインピーダンス L (L はトランス 180 の一次側のインダクタンス) が実質的にショート状態と見なせるインダクタンス値に設定されている。また、コンデンサ 182 は、周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) に同調する静電容量を有している。

【0055】この制御系では、受信用圧電振動子 104 からの受信信号のうち、 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の成分すなわちハーモニクス信号のみが選択的に二次側同調回路 (トランス 180 とコンデンサ 182) によって昇圧され、出力 V_{out} として増幅器等の後続する信号処理部に送られる。

【0056】[効果] 超音波トランスデューサが、層状に配置された送信用圧電振動子と受信用圧電振動子を有し、制御系が、超音波送信時は受信用圧電振動子の電極間をショートかそれに近い状態に特定の時間保持し、超

音波受信時は送信用圧電振動子の電極間をオープンかそれに近い状態に特定の時間保持する制御を行なうことにより、残留振動によるノイズ成分がなくなりかつ開口構造が同一であり、開口全域で超音波を送受信するので、出力の大きなハーモニクス信号の受信が可能となる。

【0057】尚、本実施の形態は機械的セクタ走査用単一形超音波トランスデューサの構成について記述したが、本実施の形態に記述した技術は電子走査用アレイ形超音波トランスデューサにも適用できるものであり、機械的セクタ走査用単一形超音波トランスデューサに限定して適用されるものではない。また本実施の形態における基本形、変形例の構造は種々組み合わせることが可能で、診断対象部位や診断精度に応じて種々のハーモニクイメージング用超音波トランスデューサの構成が可能であり、これらも本実施の形態の他の変形例として含めるものとする。

【0058】[第二の実施の形態] 本実施の形態は、ハーモニクイメージング超音波診断に適した超音波トランスデューサである。

【0059】[構成] 図9に示されるように、超音波トランスデューサは、送信用圧電振動子202と、受信用圧電振動子204と、これらの圧電振動子202, 204を収容するハウジング206と、凹面状の音響レンズ208とを有している。

【0060】送信用圧電振動子202は、両面に電極が施され分極された、例えばジルコンチタン酸鉛(PZT)セラミクスからなる圧電素子である。受信用圧電振動子204は、例えば同じ材質か他の組成のジルコンチタン酸鉛(PZT)セラミクス、又は単結晶、又は複合圧電体等の送信用圧電振動子より圧電g定数が大きい圧電材料からなる圧電素子である。

【0061】送信用圧電振動子202は輪帯状で、受信用圧電振動子204は円板状であり、受信用圧電振動子204は送信用圧電振動子202の内側に位置している。

【0062】送信用圧電振動子202の背面にはダンピング層210が設けられ、受信用圧電振動子204の背面にはダンピング層212が設けられている。

【0063】受信超音波は送信超音波の整数倍の周波数を有するので、受信用圧電振動子204の背面のダンピング層212のダンピング度は送信用圧電振動子202の背面のダンピング層210のダンピング度より弱く設定してもよく、例えば層の厚さを比較的薄く設定したり、比較的超音波減衰の小さなダンピング材料を使用してもよい。このことはダンピング層212の材料としてエポキシ樹脂にアルミナを分散させた絶縁性ダンピング層を使用することを可能とし、ダンピング層を介した電氣的クロストークの影響をも回避できる。

【0064】音響レンズ208は、圧電振動子202, 204の前面に配置されており、例えばエポキシ樹脂等

から作られる。音響レンズ208は、送信用圧電振動子202の前面に位置するレンズ部分が曲率半径 r_T を有し、受信用圧電振動子204の前面に位置するレンズ部分が曲率半径 r_R を有しており、これらのレンズ部分は共に凹面状である。送信超音波は、送信用圧電振動子202の開口と曲率半径 r_T 及び周波数 f_T に対応した波長 λ_T によって焦点F2に結び、受信超音波も受信用圧電振動子204の開口と曲率半径 r_R 及び周波数 $n f_T$ (n は2以上の整数)に対応した波長 λ_T/n によって決まる焦点F2に結ぶ様に設計されている。

【0065】更に、この音響レンズに音響整合の機能を付与させるために、音響レンズの曲率半径 r_T のレンズ部分と曲率半径 r_R のレンズ部分は、それぞれ、平均的にその周波数に対応した $1/4$ の厚さを持つことが望まれる。対象とするハーモニクス信号の周波数を $2 f_T$ とすると、受信用圧電振動子204の前面のレンズ部分の平均厚さ t_R は、望ましくは、送信用圧電振動子202の前面のレンズ部分の平均厚さ t_T の $1/2$ である。この条件と焦点が一致するという両条件を満たすようにしたとき、曲率半径の異なる二つのレンズ部分の境界で段差を生じることがある。このずれを補正するため、受信用圧電振動子204の表面位置が長さ t_d 分、送信用圧電振動子202の表面位置に対して突き出している。ここで、平均厚さ t_R は、図9(B)に示されるように、受信用圧電振動子204の表面から、曲率半径 r_R の凹面の底部と曲率半径 r_R の凹面の上端部との中間までの距離である。また、平均的厚さ t_T は、送信用圧電振動子202の表面から、曲率半径 r_T の仮想的な底部と曲率半径 r_T の凹面の上端部(但し、送信用圧電振動子に対するレンズ有効端まで)との中間までの距離である。

【0066】送信用圧電振動子202と受信用圧電振動子204と音響レンズ208を含む構造体は、絶縁層214を介して、ハウジング206の内部に固定されている。受信用圧電振動子204の前側の電極は配線216により送信用圧電振動子202の前側の電極に接続されており、送信用圧電振動子202の前側の電極は配線218によりハウジング206に接続されている。二芯同軸ケーブル220は、リード線222が送信用圧電振動子202の後ろ側の電極に接続され、リード線224が受信用圧電振動子204の後ろ側の電極に接続され、シールド線226がハウジング206に接続されている。

【0067】[作用] 送信用圧電振動子202から送信された中心周波数 f_T の超音波は、音響レンズ208によって収束され、位置F2に焦点を結ぶ。非線型効果の大きな生体組織を伝播してハーモニクス信号を含んだエコー信号は、音響レンズ208を介して $n f_T$ (n は2以上の整数)に共振周波数を有す受信用圧電振動子204に入射し、電気信号に変換される。

【0068】受信用圧電振動子204が送信用圧電振動子と同じ音速を有する材質である場合、受信用圧電振動

子 204 の厚みは送信用圧電振動子 202 の厚みのほぼ $1/n$ に設定される。これによって受信用圧電振動子 204 は選択的に $n f T$ (n は 2 以上の整数) の周波数成分を受信する。

【0069】また音響レンズも中心周波数 $f T$ の送信周波数に対する焦点と中心周波数 $n f T$ (n は 2 以上の整数) の受信周波数に対する焦点が一致する様に曲率半径 $r T$ と $r R$ を決めているので良好な空間分解能が得られる。更には、音響レンズの平均的厚さをそれぞれの周波数に対して $1/4$ の厚さに設定しているため、広帯域、高感度の送受信が行なえる。

【0070】本実施の形態では、送信用圧電振動子 202 と受信用圧電振動子 204 がほぼ同一面に分離して配置されているので、送信用圧電振動子 202 で発生された超音波は受信用圧電振動子 204 を透過したりそこで反射されることがない。従って、それぞれの電極間の状態を、オープン・ショート等の制御をする必要がなく、制御が極めて容易である。

【0071】本実施の形態では、受信用圧電振動子 204 の圧電 g 定数を送信用圧電振動子 202 の圧電 g 定数より大きくし、かつ機械的品質係数 Q_m の大きい圧電材料を用いることにより、更にハーモニクス信号受信の選択性が増すことになる。

【0072】印加する信号をバイポーラダブルパルスとすることによって、大きな振幅の送信超音波が得られ、比例してハーモニクス信号の振幅を大きくすることが可能になる。このことはハーモニクス信号の S/N を向上させることにつながり、良好なハーモニックイメージングを得ることが可能となる。

【0073】以下、本実施の形態の変形例について図面を参照して説明する。図中、上述した部材と同等の部材は同一の参照符号で示され、その詳しい説明は以下の記述において重複を避けるために省略する。

【0074】図 10 は、超音波トランスデューサの第一の変形例を示している。本変形例の超音波トランスデューサでは、音響レンズ 230 は、全開口にわたり同一の曲率半径を有している。音響レンズ 230 は、送信用圧電振動子 202 の前面の平均厚さ $t T$ が基本周波数 $f T$ の超音波の波長の $1/4$ の点をドーナツ状に沿って結んだ円となり、受信用圧電振動子 204 の前面の平均厚さ $t R$ が基本周波数 $n f T$ (n は 2 以上の整数) の超音波の波長の $1/4$ の点をドーナツ状に沿って結んだ円となるよう、両者に外接する球の半径を曲率半径とした曲率表面を有している。ここで、平均厚さ $t R$ は、図 10 に示されるように、受信用圧電素子 204 の表面から、音響レンズ 230 の凹面の底部とその上端部(但し、受信用圧電素子 204 に対する有効端まで)との中間までの距離であり、平均厚さ $t T$ は、送信用圧電素子 202 の表面から、音響レンズ 230 の底部とその上端部(但し、送信用圧電素子 202 に対するレンズ有効端まで)との

中間までの距離である。

【0075】これにより、空間分解能は多少低下するが、音響整合条件が近似的に満たされ、ハーモニクス信号に対し高感度の受信が行なえる。また、音響レンズ 230 の曲率半径が全開口にわたり同一なので、加工が容易であり、従って、安価なハーモニックイメージング超音波診断用の超音波トランスデューサを提供できる。

【0076】図 11 は、超音波トランスデューサの第二の変形例を示している。本変形例の超音波トランスデューサは、輪帯状の受信用圧電振動子 232 と、円板状の送信用圧電振動子 234 を有し、送信用圧電振動子 234 は受信用圧電振動子 232 の内側に位置している。音響レンズ 236 は、送信用圧電振動子 234 の前面に位置するレンズ部分が球面曲率半径 $r T$ を有し、受信用圧電振動子 232 の前面に位置するレンズ部分が球面曲率半径 $r R$ を有しており、これらのレンズ部分は共に凸面状である。

【0077】音響レンズ 232 は、超音波を収束させることが本来の目的であるが、音響整合層の機能も兼ねていると更に好ましい。ハーモニクス信号のための音響整合層の厚さは、基本波周波数のための音響整合層の厚さに比べて薄い。音響レンズ 232 は、中心寄りのレンズ部分が厚く、周辺部のレンズ部分が薄い。このため、中心部に送信用圧電振動子 234 が配置され、周辺部に受信用圧電振動子 232 が配置されている。

【0078】図 12 は、超音波トランスデューサの第三の変形例の主要部を示している。本変形例の超音波トランスデューサの主要部は、ハウジング内に收容される部分であり、円形の送信部 248 と、これを取り囲む輪帯状の受信部 250 とを有しており、送信部 248 は圧電振動子 242 の中央部分で構成され、受信部 250 は、圧電振動子 242 の周囲部分と、その背面に設けられたダンピング層 252 とで構成されている。

【0079】圧電振動子 242 は、円板状で、その前面に、送信部 248 と受信部 250 に共通の電極 244 を有し、背面に、送信部 248 の円形の電極 246 と、受信部 250 の輪帯状の電極 256 とを有している。圧電振動子 242 の受信部 250 は、送信部 248 の厚みの $1/n$ の厚みを有しており、送信部 248 から送信される基本波送信超音波 $f t$ に対して、 $n f t$ (n は 2 以上の整数) の周波数成分を持つ n 次高調波を選択的に受信できる。

【0080】ダンピング層 252 は、圧電振動子 242 の送信部 248 に対応する中央部分に凹状陥没部を有しており、その外側の輪帯部分が圧電振動子 242 の受信部 250 に接合されており、凹状陥没部の底部は圧電振動子 242 の送信部 248 に接しておらず、送信部 248 の背面に空隙部 254 が形成されている。

【0081】この構造体は、送信部 248 は、機械的品質係数 Q_m が大きく、前述のバイポーラダブルパルス駆

動制御を行なうことにより、大振幅で広帯域の送信超音波を放射できる。本変形例では、ダンピング層 252 は、送信部 248 に対応する中央部分に、凹状陥没部を有しているが、貫通穴を有していてもよい。

【0082】図 13 は、超音波トランスデューサの第四の変形例の主要部を示している。本変形例の超音波トランスデューサの主要部は、ハウジング内に収容される部分であり、四つの送信部 260 と四つの受信部 270 とを有している。送信部 260 と受信部 270 は共に同じ扇形を有しており、これらは放射状に交互に配置されて 10

いる。すなわち、扇形状の送信部 260 と受信部 270 は、角度方向に沿って交互に並べられている。

【0083】送信部 260 は、周波数 f_t の基本波超音波を送信する送信用圧電振動子 262 と、その前面に配置された送信用音響レンズ 264 と、送信用圧電振動子 262 の背面に設けられたダンピング層 266 とを有している。送信用音響レンズ 264 は、点 F2 を中心とする表面曲率半径 r_T を有し、送信用圧電振動子 262 から送信される基本周波数 f_t の超音波に対して、音線 268 で点 F2 に焦点を結ぶ。

【0084】受信部 270 は、周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) のハーモニクス超音波を選択的に受信する受信用圧電振動子 272 と、その前面に配置された受信用音響レンズ 274 と、受信用圧電振動子 272 の背面に設けられたダンピング層 276 とを有している。受信用音響レンズ 274 は、点 F1 を中心とする表面曲率半径 r_R を有し、周波数 $n f_t$ のハーモニクス超音波に対して、音線 278 で点 F2 に焦点を結ぶ。

【0085】この構造体は、送信部 260 と受信部 270 の開口面積が送受信で同じであり、レンズ表面形状だ 30

けで焦点を一致させることができる。

【0086】[効果] 本実施の形態の超音波トランスデューサは、送信部と受信部が面内で分かれているので、圧電振動子の前面に配置される音響レンズの形状を最適化することにより、送受信が効率的に行なわれるだけでなく、基本波超音波とハーモニクス超音波の焦点が合致した空間分解能が良く出力の大きなハーモニクス信号の受信が可能となる。

【0087】本実施の形態は機械的セクタ走査用単一形超音波トランスデューサの構成について述べたが、本実 40

施の形態に記述された内容は、第四の変形例を除いて、電子走査用アレイ形超音波トランスデューサにも適用できるものであり、機械的セクタ走査用単一形超音波トランスデューサに限定して適用されるものではない。また、本実施の形態やその変形例の構成は、種々組み合わせることが可能で、診断対象部位や診断精度に応じて種々のハーモニックイメージング用超音波トランスデューサの構成が可能であり、これらも本実施の形態の他の変形例として含めるものとする。

【0088】これまで、いくつかの実施の形態について 50

図面を参照しながら具体的に説明したが、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で行なわれるすべての実施を含む。

【0089】従って、本発明の超音波トランスデューサについて、以下のことが言える。

【0090】1. 同一構造体に共振周波数 f_t の送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は 2 以上の整数) の受信用圧電振動子とが層状に配置した構造を有することを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0091】[作用効果] 共振周波数 f_t を有する送信用超音波振動子から、ほぼ f_t の超音波パルスを生体組織に送信すると、生体組織内を伝播することによって生体組織の弾性特性の非線型性の影響を受け、 f_t と、 f_t のほぼ整数倍のハーモニクス信号が混在した超音波エコー信号が受信される。受信用圧電振動子の共振周波数が送信用超音波振動子の共振周波数 f_t のほぼ整数倍であるので選択的に f_t のほぼ整数倍のハーモニクス信号のみを、選択的に検出することが可能となる。また、層状に構成されている為、超音波の送受信開口が一致し、超音波トランスデューサの開口をフルに活用しているの 20

で、大きな音圧の超音波パルスを送信できる。このことは受信ハーモニクス信号の音圧が増加することを意味し、基準周波数に比べ微弱な信号であるハーモニクス信号を比較的高い S/N で信号処理出来るようになる。また、送受信超音波ビームのビーム軸が一致しているため横方向分解能が良好となる。

【0092】2. 第 1 項に記載した超音波トランスデューサに接続され、該受信用圧電振動子の電極間が、送信用圧電振動子に駆動電圧を印加してから特定の時間、短絡を含む低抵抗状態に保たれるよう制御することを特徴とした超音波トランスデューサの制御手段。

【0093】[作用効果] 電氣的に拘束された状態の圧電振動子を超音波が透過する時、透過超音波の波長と振動子厚の関係によっては周期的に電氣的拘束状態の変化が起り、対応して圧電振動子の音速が周期的に変化し、残留振動が現れることがある。受信用圧電振動子の電極を短絡することにより、常に拘束されない状態となり、送信超音波透過時に残留振動が起ることがなくなり、その結果 S/N が良く空間分解能に優れた超音波診断が出来るようになる。

【0094】尚ここで言う低抵抗状態とは両電極間が数 10 k 以下、高抵抗状態とは両電極間が数 100 k 以上をさす。

【0095】3. 第 2 項に記載した超音波トランスデューサの制御手段が、前記特定の時間経過後、次の送信を行なうまで、送信用圧電振動子の電極を開放を含む高抵抗状態に保持するよう制御することを特徴とした超音波トランスデューサの制御手段。

【0096】[作用効果] 超音波トランスデューサの制御手段が、前記特定の時間経過後、次の送信を行なうま

で、送信用圧電振動子の電極を開放を含む高抵抗状態に保持するため、送信用圧電振動子が硬い状態に保たれるので、受信時に残留振動が起ることがなくなり、その結果S/Nが良く空間分解能に優れた超音波診断が出来るようになる。

【0097】4．第2項に記載した超音波トランスデューサの制御手段において、受信用圧電振動子の電極間を特定の時間、短絡を含む低抵抗状態に保つよう制御するのがインダクタンス回路であることを特徴とする超音波トランスデューサの制御手段。

【0098】[作用効果] インダクタンス回路を介して受信回路に接続すると、インダクタンス回路と受信用圧電振動子の静電容量とで共振系を構成し最適な受信帯域特性が得られるようになる。これにより基本波を遮断し、ハーモニクス信号のみを高い選択性で検出出来るようになる。また同時にインダクタンス回路を受信用圧電振動子に接続して電極間抵抗を低抵抗に維持することが可能になる。

【0099】5．第3項に記載した超音波トランスデューサの制御手段において、前記開放を含む高抵抗状態に保持するよう制御するのが送信用圧電振動子に駆動電圧を印加する回路の最終段を兼ねたオンオフ制御デバイスであることを特徴とした超音波トランスデューサの制御手段。

【0100】[作用効果] 送信用圧電振動子に駆動電圧を印加する回路の最終段がオンオフ制御デバイスからなるので、送信時オン状態で受信時オフになる様に前記デバイスを制御することによって受信信号に残留振動が重畳することを防ぐことが出来、その結果S/Nが良く空間分解能に優れた超音波診断が出来るようになる。

【0101】6．第1項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記受信用圧電振動子は高分子圧電体又は複合圧電体のいずれかであることを特徴とした超音波トランスデューサの制御手段。

【0102】[作用効果] 受信用圧電振動子として高分子圧電体又は複合圧電体のいずれかを用いることによって、受信感度を高め、ハーモニクス信号を高感度に検出できるようになる。

【0103】7．第6項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記高分子圧電体が送信用圧電振動子の超音波出射側の表面に直接または音響整合層を介して配置した構造を有することを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0104】[作用効果] 高分子圧電体は一般に音響インピーダンスが生体の音響インピーダンスに近い。従って、これを受信用圧電振動子として用い生体組織に接触する側に配置することにより、表面近傍における多重反射の発生を抑え体表近傍の高いコントラスト分解能を実現出来る。

【0105】8．第7項に記載した超音波トランスデュー

ーサにおいて、前記高分子圧電体が、表面エネルギー分極によって自発的に圧電性が生じる高分子膜からなることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0106】[作用効果] 接着層が介在しないので安定した送受信特性を得られる。更に高分子圧電体層形成直後に表面エネルギーの作用によって自発的に分極状態に至り、外部電界の印加無しに、分極状態が発現出来る。また接着工程が無いので、接着時に気泡を巻き込み感度や帯域の劣化を引き起こすことがない。また背面に存在する送信用圧電振動子に接着押圧を作用させないので送信用圧電振動子にワレ等の危害を及ぼさずに製造工程が単純化出来、かつ、低コストで再現性の良いハーモニクイメージング用超音波トランスデューサが得られるようになる。

【0107】9．第1項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記送信用圧電振動子の背面にダンピング層、前記受信用圧電振動子前面に、音響整合機能を有した音響レンズを配したことを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0108】[作用効果] 送信用圧電振動子の背面にダンピング層を設けることによって、送信超音波パルスのパルス幅を短くし、深さ方向空間分解能を高め、音響整合機能を有した音響レンズの形成によって、高感度で収束性が良好な超音波トランスデューサが得られ良好な横方向の空間分解能が得られるようになる。

【0109】10．第9項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記音響レンズの表面が凹面又は凸面の曲率半径Rの球面で、Rが f_t における音響的焦点と $n f_t$ (n は2以上の整数)における音響的焦点の平均値である音響的焦点を示す値に設定されたことを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0110】[作用効果] 送信超音波は f_t 、受信周波数は $n f_t$ (n は2以上の整数)で、音響レンズの球面の曲率半径が同一の場合、送信時の焦点と受信時の焦点は異なる位置になる。これは超音波画像の均一性の劣化につながる。層状構造において各層に対応した曲率半径を有すレンズ構造を同じ位置に一体的に形成することは不可能である。従って、レンズの曲率半径を、前記絶縁層の表面が凹面又は凸面の曲率半径Rの球面で、Rが f_t における音響的焦点と $n f_t$ (n は2以上の整数)における音響的焦点の平均値である音響的焦点を示す値に設定することによって良好な超音波画像の均一性が得られる。

【0111】11．第9項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記音響レンズの表面が、部分的に異なる曲率半径を有していることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0112】[作用効果] 前記音響レンズの表面が異なる位置で異なる曲率半径を持つので、送信超音波の周波数 f_t で結ぶ音響的焦点と受信超音波 $n f_t$ (n は2以上

の整数)で結ぶ音響的焦点を一致させることが可能となる。これにより、横方向分解能が改善される。

【0113】12．同一構造体に共振周波数 f_t の送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は2以上の整数)の受信用圧電振動子とを有する超音波トランスデューサにおいて、その相対的配置が、輪帯板とその内径内に配置した円板の関係にあることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0114】[作用効果]送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の相対位置が輪帯板とその内径内に配置した円板の関係にあるので、送信超音波も受信超音波も他の圧電振動子を透過したり反射することがなく、残留振動に対する対策を講じる必要がなくなる。また送信用圧電振動子と受信用圧電振動子との間の音響整合層も不要で構造が簡単になり、高い信頼性で、基本波の送信とハーモニクス信号の受信が出来る。

【0115】13．第12項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記送信用及び受信用圧電振動子の上面に音響整合機能を有する音響レンズを有することを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0116】[作用効果]音響レンズ機能によって超音波ビームを絞り横方向分解能を良くし、音響整合機能によって高感度の送受信を行える様になる。

【0117】14．第13項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記輪帯板が送信用圧電振動子であり、内径内に配置した円板が受信用圧電振動子であることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0118】[作用効果]送信用圧電振動子の共振周波数は f_t であり、その前面に配した音響レンズの平均厚さを t とした時、受信用圧電振動子の受信周波数が $n f$ (n は2以上の整数)となる為、その前面に配した音響レンズの平均厚さは t/n となる。輪帯板である送信用圧電振動子が外側、円板である受信用圧電振動子が内側に配置するので、音響レンズ材料の音速が生体組織の音速より大きい場合は上記厚さの関係をあてはめると周辺部が厚く、中心部が薄い音響レンズ構造となる。これは音響レンズの表面形状を凹面形状に出来ることを意味し、音響レンズに音響整合の機能を附加することが可能となる。

【0119】15．第12項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記した両圧電振動子の背面に異なる厚さ、又は異なるダンピング特性を有したダンピング層を有することを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0120】[作用効果]受信ハーモニクス信号の周波数が $n f_t$ (n は2以上の整数)で、送信超音波の周波数に比べ高いので、同一材質なら送信用圧電振動子背面のダンピング層の厚さに比べ薄くすることが可能である。またはダンピング能力の低い絶縁性のダンピング層が使える様になる。これにより、送信用圧電振動子と受信用圧電振動子の間のダンピング層を会した電氣的クロスト

ークを低減でき、ハーモニクス信号に基本波信号がのりにくくすることが可能となる。

【0121】16．第13項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記音響レンズの表面が部分的に異なる曲率半径を有し、送信超音波の音響レンズによる焦点と、受信超音波の音響レンズによる焦点とが一致するように、両音響レンズの曲率半径が設定されていることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0122】[作用効果]送信超音波パルスの周波数は f_t であり、送信超音波の焦点が特定の位置Aになるように音響レンズの曲率半径 R_t を設定する時、受信超音波の焦点を位置Aに一致させようとする音響レンズの曲率半径 R_r は R_t と異なる値に設定する必要がある。従って本項の様に送信用圧電振動子上の球面部と受信用圧電振動子上の球面部とで異なる曲率半径を有する構造にすることによって送信基本波とハーモニクス受信信号のそれぞれの焦点が一致するようになり良好な空間分解能および超音波画像の均一性が得られる。

【0123】17．第13項に記載した超音波トランスデューサにおいて、前記受信用圧電振動子の表面が、前記送信用圧電振動子の表面よりも超音波送信側に突出していることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0124】[作用効果]第16項の音響レンズ構造だと、開口寸法と輪帯状圧電振動子の内径を決めれば、一義的に焦点位置が決定することになる。異なる深部位置の生体組織を診断する場合、それに対応した焦点位置を有する様に設計変更できることが望ましい。本項の様に受信用圧電振動子の表面が、送信用圧電振動子の表面よりも超音波送信側に突出する構造にすることによって、凹面の曲率半径を変えずに $n f$ (n は2以上の整数)に対応した受信時の音響整合条件を満たすことが可能となる。

【0125】18．第16項に記載した超音波トランスデューサにおいて、送信用圧電振動子上の音響レンズの凹面又は凸面の曲率半径 r_t より受信用圧電振動子上の音響レンズの凹面又は凸面の曲率半径 r_r の方が小さいことを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0126】[作用効果]送信超音波パルスの周波数は f_t であり、送信超音波の焦点が特定の位置Aになるように凹面形状の曲率半径 r_t を設定する時、受信超音波の焦点を位置Aに一致させようとする凹面形状の曲率半径 $r_r > r_t$ という関係が必要である。従って本項の様に送信用圧電振動子上の球面部と受信用圧電振動子上の球面部とで $r_r > r_t$ を満たす構造にすることによって送信超音波の焦点を受信超音波の焦点に一致させることが出来る様になり、良好な横方向分解能および超音波画像の均一性を有すハーモニクスイメージング超音波診断画像が得られるようになる。

【0127】19．同一構造体に共振周波数 f_t の送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は2以上の整数)の

受信用圧電振動子とを有する超音波トランスデューサにおいて、その相対的配置が、放射状に交互に配置している関係にあることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0128】[作用効果]複数の送信用圧電振動子と複数の受信用圧電振動子が放射状に交互に配置しているので送信超音波の平均開口径と受信超音波の平均開口径とは一致しており、それぞれの圧電振動子前面の音響レンズの設計の自由度が増加し、異なる焦点領域を持つ種々のハーモニクスイメージング用超音波トランスデューサ 10 を実現できるようになる。

【0129】20. 第19項に記載した超音波トランスデューサにおいて、該超音波トランスデューサが送信用圧電振動子前面に曲率半径 r_T 、受信用圧電振動子前面に r_R の曲率半径で $r_R < r_T$ の関係を有した音響レンズをそれぞれ有したことを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0130】[作用効果]複数の送信用圧電振動子と複数の受信用圧電振動子が放射状に交互に配置しているので送信超音波の平均開口径と受信超音波の平均開口径とは一致しており、送信用圧電振動子前面に曲率半径 r_T 、受信用圧電振動子前面に r_R の曲率半径で $r_R < r_T$ の関係を有した音響レンズをそれぞれ有しているもので、送信超音波の焦点を受信超音波の焦点に一致させることが出来る様になり、良好な横方向分解能を有すハーモニクスイメージング超音波診断画像が得られるようになる。

【0131】21. 同一構造体に共振周波数 f_t の送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は2以上の整数)の受信用圧電振動子とを有し、その超音波出射側前面に音響レンズをそれぞれ配置した超音波トランスデューサに 30 において、前記送信用圧電振動子と受信用圧電振動子のそれぞれの背面に互いに電氣的に隔絶したダンピング層を配していることを特徴とした超音波トランスデューサ。

【0132】[作用効果]送信用と受信用圧電振動子との間に電氣的クロストークが起らず、 $n f_t$ (n は2以上の整数)ハーモニクス受信信号に基本周波数が混入することを防止できる。

【0133】22. 同一構造体に共振周波数 f_t の送信用圧電振動子と共振周波数 $n f_t$ (n は2以上の整数)の受信用圧電振動子とを有する超音波トランスデューサに 40 接続する制御手段において、前記送信用圧電振動子に印加する電圧波形が台形波又はダブルパルスであることを特徴とした制御手段。

【0134】[作用効果]振幅が大きくかつ広帯域の送信超音波信号が得られ、微弱なハーモニクス信号の振幅を増加させることが可能となり、高感度でS/Nの良好なハーモニクスイメージング超音波診断画像が得られるようになる。

【0135】

【発明の効果】本発明によれば、同一のケース内に収容 50

された送信用圧電振動子と受信用圧電振動子とを有しているが、残留振動による分解能劣化の悪影響を受けない超音波トランスデューサ技術が提供される。これによる超音波トランスデューサや超音波トランスデューサシステムによれば、ハーモニクス信号をこれまでよりも高い感度で検出できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第一の実施の形態における超音波トランスデューサの側断面を示している。

【図2】第一の実施の形態における超音波トランスデューサの第一の変形例の側断面を示している。

【図3】第一の実施の形態における超音波トランスデューサの第二の変形例の側断面を示している。

【図4】第一の実施の形態における超音波トランスデューサの第三の変形例の側断面を示している。

【図5】図1に示される音響レンズの曲率半径の設定について説明するための図であり、(A)は、円板圧電振動子の前面に配置される音響レンズの曲率半径 R と、水の超音波伝播媒体における焦点距離 F の関係を、横軸 D ($= a^2 / R'$ 、 a : 開口半径、 $:$ 超音波の伝播材質中の波長、 R' : レンズの見かけの曲率半径で $R' = 2.25 R$ 、 R : 音響レンズの加工曲率半径)、縦軸 F / R' の関係で示すグラフ、(B)は、5 MHzと10 MHzの場合について、焦点と音響レンズの曲率半径との関係を示すグラフである。

【図6】図1に示される超音波トランスデューサの送受信を制御する制御系について説明するための図であり、(A)は、制御系の構成を模式的に示し、(B)は、オンオフ制御デバイスとセレクタに入力される制御信号 V_t と V_r のタイミングチャートを示している。

【図7】図1に示される超音波トランスデューサの送受信を制御する制御系の変形例について説明するための図であり、(A)は、変形例の制御系の構成を模式的に示し、(B)は、オンオフ制御デバイスに入力される制御信号 V_t と V_r のタイミングチャートを示している。

【図8】超音波が透過する圧電振動子に発生する表面電荷の影響を計算したシミュレーション結果を表しており、送信時の受信用圧電振動子104の電極間の電荷処理状態/受信時の送信用圧電振動子102の電極間の電荷処理状態に関して、(a)、(b)、(c)はショート/ショート、(d)、(e)、(f)はショート/オープン、(g)、(h)、(i)はオープン/オープン、(j)、(k)、(l)はオープン/ショートにした場合における、送信のみの超音波パルス(左列)、受信のみの超音波パルス(中列)、送受信トータル超音波パルス(右列)を示している。

【図9】第二の実施の形態の超音波トランスデューサについて説明するための図であり、(A)は、超音波トランスデューサの側断面を示し、(B)は、音響レンズの中央部分を拡大して示している。

【図10】第二の実施の形態の超音波トランスデューサの第一の変形例の側断面を示している。

【図11】第二の実施の形態の超音波トランスデューサの第二の変形例の側断面を示している。

【図12】第二の実施の形態の超音波トランスデューサの第三の変形例の側断面を示している。

【図13】第二の実施の形態の超音波トランスデューサの第四の変形例について説明するための図であり、(A)は、超音波トランスデューサの上面を示し、(B)は、(A)のB - B線に沿った超音波トランスデューサの側断* 10

*面を示している。

【図14】従来例の超音波トランスデューサの側断面を示している。

【符号の説明】

102 送信用圧電振動子

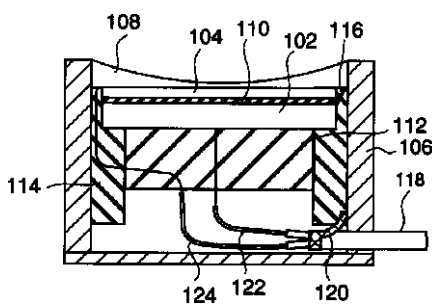
104 受信用圧電振動子

108 音響レンズ

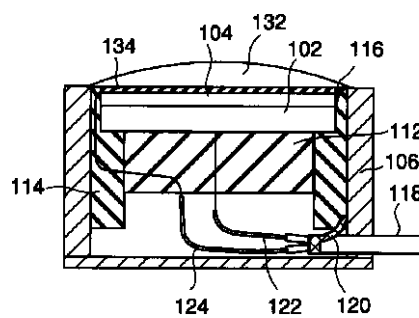
150 オンオフ制御デバイス

160 セレクタ

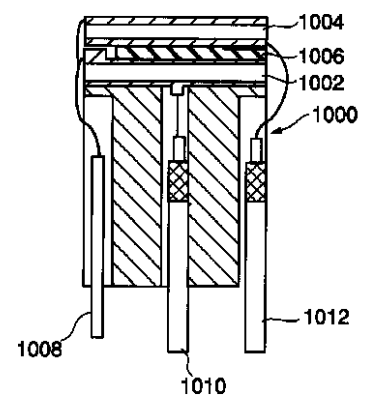
【図1】



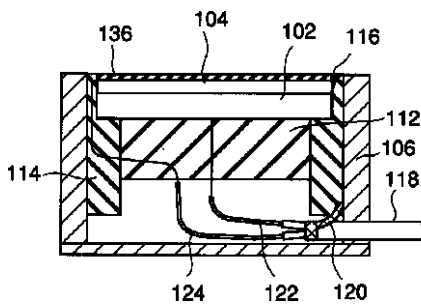
【図2】



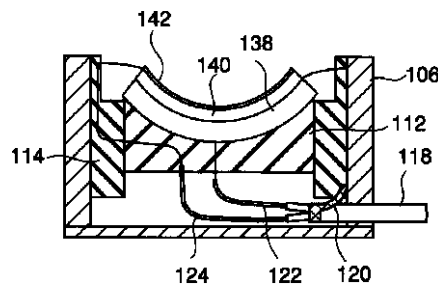
【図14】



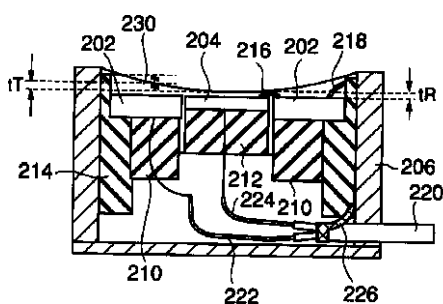
【図3】



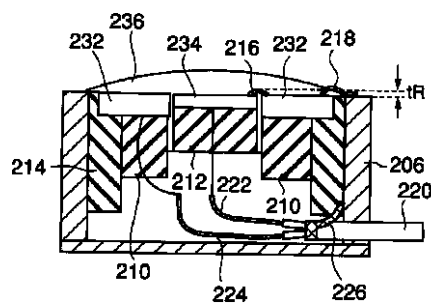
【図4】



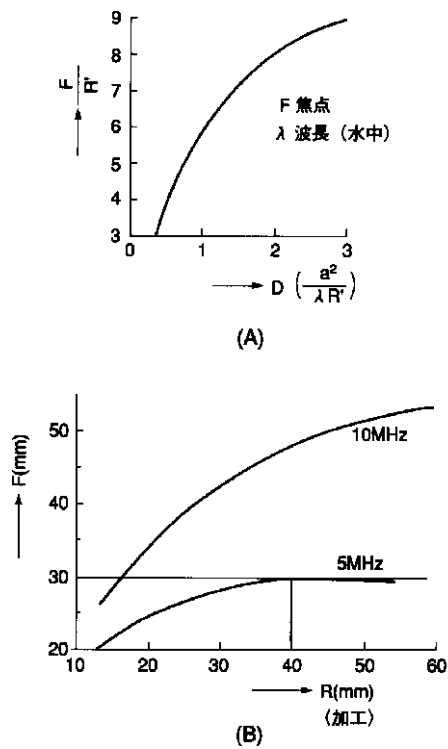
【図10】



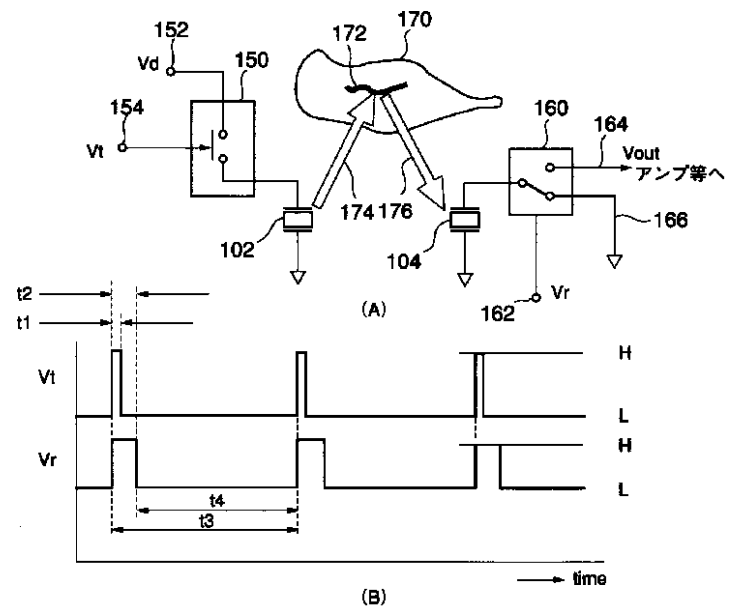
【図11】



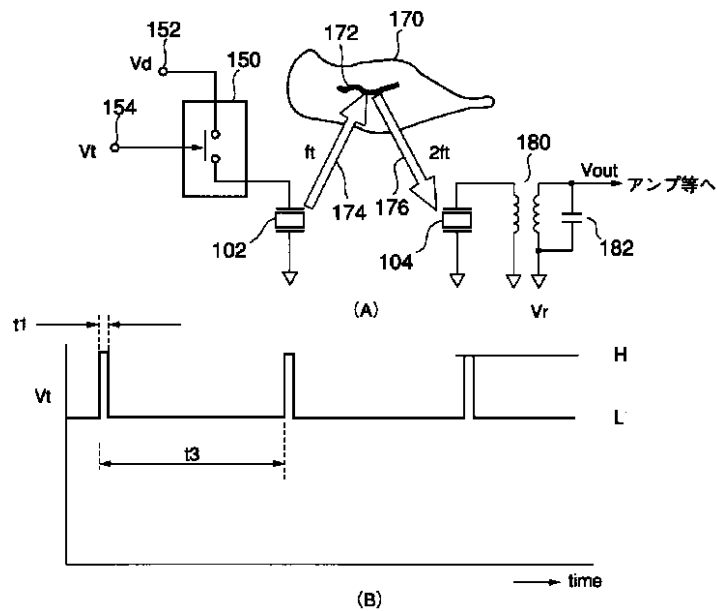
【図5】



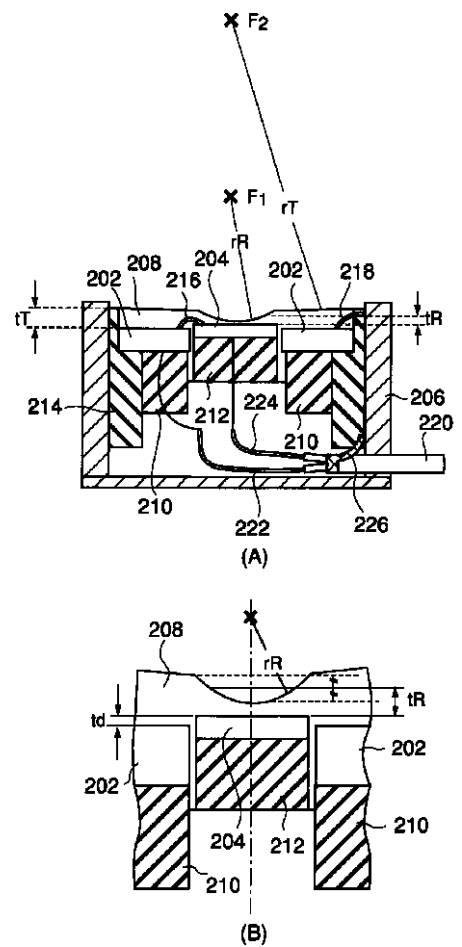
【図6】



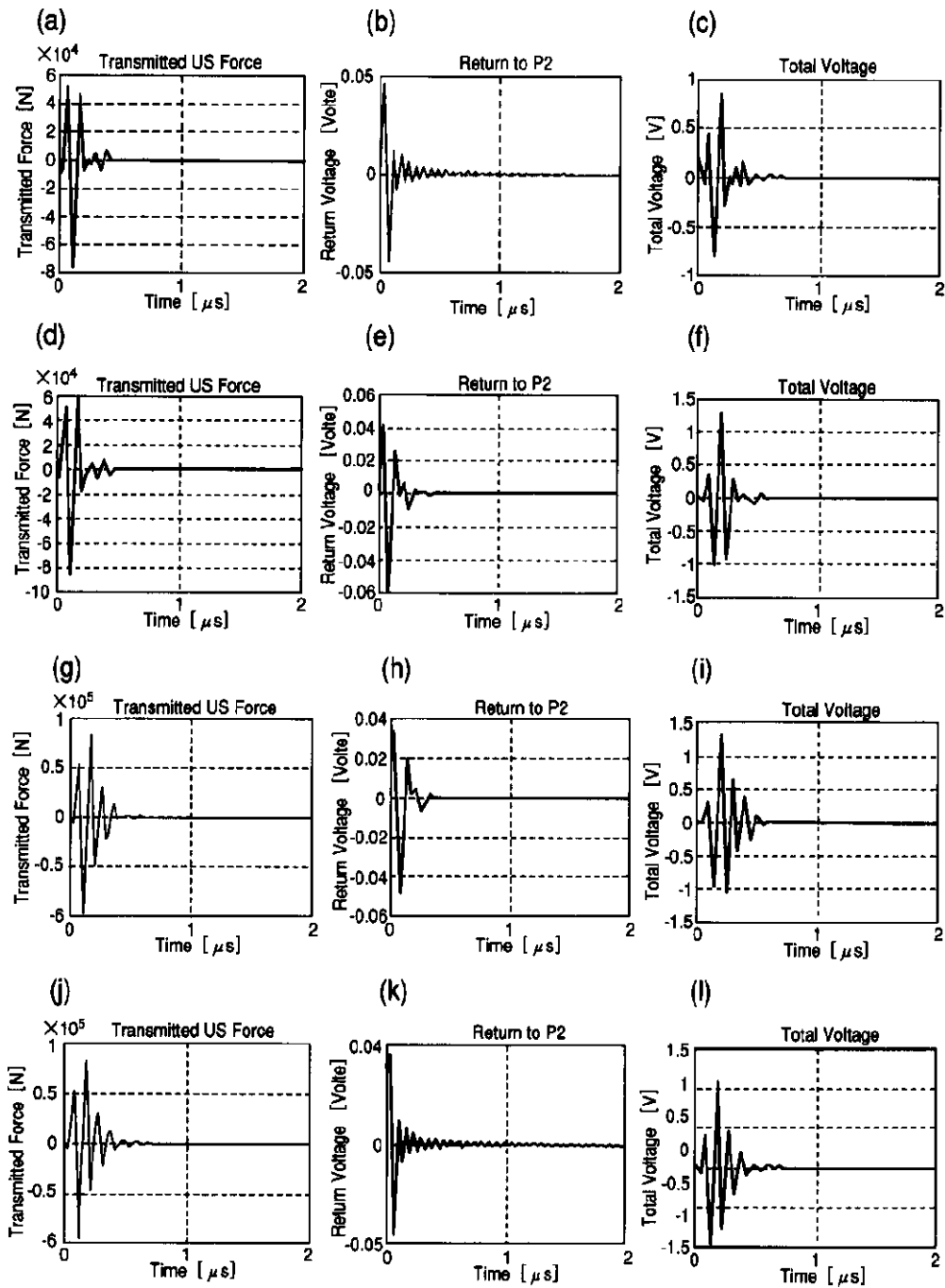
【図7】



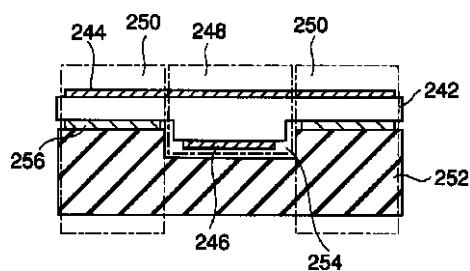
【図9】



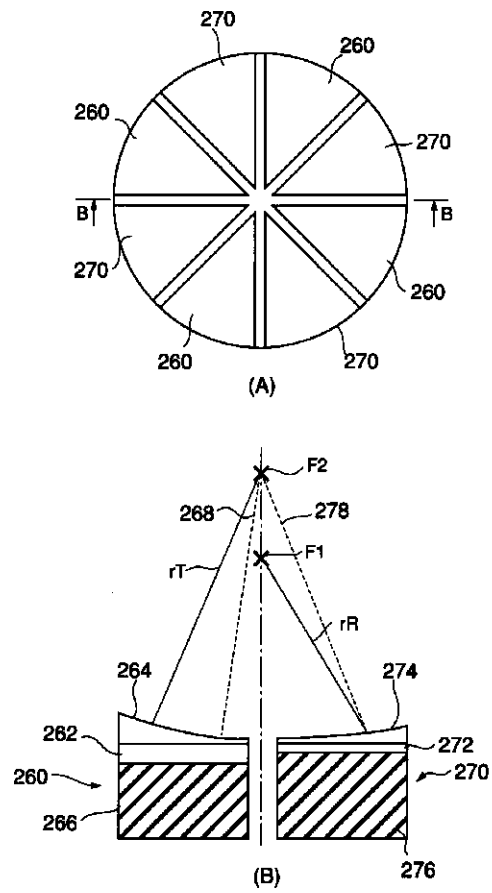
【図8】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
H 0 4 R 17/00

識別記号
3 3 0

F I
H 0 4 R 17/00

テ-マコ-ト' (参考)
3 3 0 J

专利名称(译)	超声换能器系统和超声换能器		
公开(公告)号	JP2001258879A	公开(公告)日	2001-09-25
申请号	JP2000072854	申请日	2000-03-15
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパス光学工业株式会社		
[标]发明人	安達日出夫		
发明人	安達 日出夫		
IPC分类号	A61B8/00 B06B1/06 H04R1/34 H04R3/00 H04R17/00		
FI分类号	A61B8/00 B06B1/06.Z H04R1/34.330.A H04R3/00.330 H04R17/00.330.A H04R17/00.330.J		
F-TERM分类号	4C301/AA03 4C301/EE06 4C301/GA20 4C301/GB16 4C301/HH01 5D019/AA21 5D019/BB02 5D019/BB12 5D019/FF04 5D019/GG01 5D019/GG03 5D107/AA20 5D107/BB09 5D107/CC01 5D107/CC10 5D107/CC12 5D107/CD02 5D107/FF01 5D107/FF07 4C601/DE08 4C601/DE12 4C601/DE15 4C601/EE03 4C601/GB01 4C601/GB14 4C601/HH04 4C601/HH06		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：本发明提供一种超声波换能器技术允许的谐波信号的检测用比以往更高的灵敏度。解决方案：此超声换能器具有发送压电振动器102，接收压电振动器104，用于容纳该压电振子102，104的壳体106，以及一个凹声透镜108的发送压电振动器102具有共振频率 f ，并且接收压电振动器104具有共振频率 nft [(n) 是2或更大的整数]。驱动电压仅在时间 t_1 施加到发送压电振动器102。在从驱动电压的施加规定的时间 T_2 ($> T_1$)，包括短路的低电阻状态被保持在接收压电振动器104的电极之间，并且直到以下驱动电压之后施加到发送压电振动器102的规定时间 t_2 的经过，包括释放高电阻状态被维持的发送压电振动器102的电极之间。

