

(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2012-165308

(P2012-165308A)

(43) 公開日 平成24年8月30日(2012.8.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04R 3/00 (2006.01)	H04R 3/00 330	5D019
H04R 17/00 (2006.01)	H04R 17/00 330L	5D020
	H04R 17/00 332A	
	H04R 3/00 310	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2011-25803 (P2011-25803)	(71) 出願人	000004075
(22) 出願日	平成23年2月9日(2011.2.9)		ヤマハ株式会社
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号
		(74) 代理人	110000660
			Knowledge Partners
			特許業務法人
		(74) 代理人	100117396
			弁理士 吉田 大
		(72) 発明者	佐藤 優典
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
			ハ株式会社内
		(72) 発明者	杉浦 正浩
			静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
			ハ株式会社内
		Fターム(参考)	5D019 AA01 BB18
			5D020 AC11

(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサー

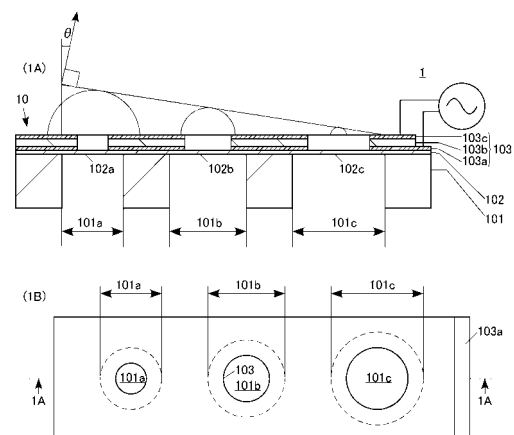
(57) 【要約】

【課題】 超音波暴露を抑制する超音波トランスデューサーを提供する。

【解決手段】

平面に配置され互いに異なる固有振動数を有する複数の振動板(102a、102b、102c)を備える振動板アレイ(10)を備え、前記複数の振動板は、前記振動板の位相が一致しない周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直でない方向に超音波を放射する、超音波トランスデューサー(1)。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

平面に配置され互いに異なる固有振動数を有する複数の振動板を備える振動板アレイを備え、

前記複数の振動板は、前記振動板の位相が一致しない周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直でない方向に超音波を放射する、

超音波トランスデューサー。

【請求項 2】

前記複数の振動板は、並んでいる順番に固有振動数が増加または減少している、

請求項 1 に記載の超音波トランスデューサー。

10

【請求項 3】

前記複数の振動板を互いに一致する位相で振動させる周波数成分と前記複数の振動板を互いに一致しない位相で振動させる周波数成分とを重畳した駆動信号を前記振動板アレイに印加する駆動部を備える、

請求項 1 または 2 に記載の超音波トランスデューサー。

【請求項 4】

前記平面に配置された複数の第二振動板を備え前記第二振動板の位相が一致しない周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直でない方向に超音波を放射する第二振動板アレイを備え、

前記振動板アレイが放射する超音波と前記第二振動板アレイが放射する超音波とが交差することによって前記平面の前方にパラメトリックアレイが形成される、

請求項 1 または 2 に記載の超音波トランスデューサー。

20

【請求項 5】

前記平面に配置された複数の第二振動板を備え前記第二振動板の位相が一致する周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直な方向に超音波を放射する第二振動板アレイを備え、

前記振動板アレイが放射する超音波と前記第二振動板アレイが放射する超音波とが交差することによって前記平面の前方にパラメトリックアレイが形成される、

請求項 1 または 2 に記載の超音波トランスデューサー。

【請求項 6】

支持層と振動層と素子層とを含む積層構造体からなる振動ユニットを備え、

前記支持層には開口が複数形成され、

前記振動板は前記開口を閉塞している前記振動層によって構成され、

前記素子層には前記振動板を振動させる駆動素子が形成されている、

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の超音波トランスデューサー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) として構成される超音波トランスデューサーに関する。

40

【背景技術】

【0002】

従来、超音波トランスデューサーとして機能する MEMS が知られている。(例えば特許文献 1)。周波数の接近した 2 つの大きな振幅の超音波を同方向に同時に放射すると、音を伝える媒質の非線形性によって多くの高調波や結合音が超音波の伝搬とともに発生する。このうち 2 つの超音波の差音の仮想音源をパラメトリックアレイという。鋭い指向性を持って平行に伝搬する 2 つの超音波は、細長く伸びる線状領域においてパラメトリックアレイを形成する。このようなパラメトリックアレイから発生する可聴音は仮想音源の分布範囲に対応する鋭い指向性を示す。超音波トランスデューサーを用いてパラメトリックアレイを発生させるスピーカーはパラメトリックスピーカーと呼ばれている。特許文献 1

50

に記載されたパラメトリックスピーカーは固有振動数が一致しない複数の振動板を備え、2つの周波数の超音波を2種類の振動板から放射することにより、超音波の振幅を大きくしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2008-20429号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

従来のパラメトリックスピーカーは、線状のパラメトリックアレイを形成することによって鋭い指向性を持つ可聴音を放射できるという特性を持つが、可聴音が聴取される領域を自由に設計することができないという問題があった。すなわち、従来のパラメトリックスピーカーによって実質的にパラメトリックアレイが形成される領域は、平行に伝搬する2つの超音波が重なる領域であるから、超音波の距離減衰に依存する。したがって、従来のパラメトリックスピーカーでは、超音波の距離減衰特性から独立して可聴音の聴取可能領域を設計することができない。また、従来のパラメトリックスピーカーでは、可聴音の聴取可能領域をパラメトリックスピーカーから離れた領域に設定することはできない。

本発明は上記問題に鑑みてなされたもので、パラメトリックアレイが形成される領域を柔軟に設計できる超音波トランスデューサーを提供することを目的の1つとする。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

振動板の位相は固有振動数と駆動信号の周波数との差分に応じてずれる。したがって固有振動数が異なる2つの振動板を、一列の駆動信号によって同位相で駆動すると、2つの振動板は異なる位相で振動する。異なる位相で振動する2つの振動板から超音波が放射されると超音波の進行方向は振動板に対して垂直な方向から2つの振動板の位相差に応じてずれる。

【0006】

(1) そこで前記目的を達成するための超音波トランスデューサーは、平面に配置され互いに異なる固有振動数を有する複数の振動板を備える振動板アレイを備え、前記複数の振動板は、前記振動板の位相が一致しない周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直でない方向に超音波を放射する。

30

本発明によると、振動板アレイを構成する複数の振動板の固有振動数が一致しないため、振動板アレイを構成する複数の振動板が異なる位相で振動するように駆動することができる。このため、複数の振動板のそれぞれから放射される超音波が振動板が配置される平面に対して垂直でない方向を主軸が指向する超音波となって振動板アレイから放射されるように駆動できる。したがって、振動板が配置される平面に対して垂直でない方向を主軸が指向する超音波と振動板が配置される平面に対して垂直な方向を主軸が指向する超音波とを重ねることが可能になる。これら2つの超音波が重なる領域は、2つの超音波の主軸が指向する方向の角度差によって制御可能である。すなわち本発明によると、可聴音が発生するパラメトリックアレイが形成される範囲を柔軟に設計することができる。

40

【0007】

(2) 前記目的を達成するための超音波トランスデューサーにおいて、前記複数の振動板は、並んでいる順番に固有振動数が増加または減少していてもよい。

【0008】

(3) 前記目的を達成するための超音波トランスデューサーにおいて、前記複数の振動板を互いに一致する位相で振動させる周波数成分と前記複数の振動板を互いに一致しない位相で振動させる周波数成分とを重ねた駆動信号を前記振動板アレイに印加する駆動部を備えてもよい。

このような駆動部によって振動板アレイを駆動すると、振動板が配置される平面に対し

50

て垂直でない方向を主軸が指向する超音波と振動板が配置される平面に対して垂直な方向を主軸が指向する超音波とを振動板アレイから同時に放射することができる。

【0009】

(4) 前記目的を達成するための超音波トランスデューサーにおいて、前記平面に配置された複数の第二振動板を備え前記第二振動板の位相が一致しない周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直な方向に超音波を放射する第二振動板アレイを備え、前記振動板アレイが放射する超音波と前記第二振動板アレイが放射する超音波とによって前記平面の前方にパラメトリックアレイが形成されてもよい。

2つの振動板アレイのそれぞれからパラメトリックアレイを形成するための超音波を放射することがによって、振動板が配置される平面から離れた領域にパラメトリックアレイを形成することが可能になる。

10

【0010】

(5) 前記目的を達成するための超音波トランスデューサーにおいて、前記平面に配置された複数の第二振動板を備え前記第二振動板の位相が一致する周波数の駆動信号が同時に印加されると前記平面に対して垂直でない方向に超音波を放射する第二振動板アレイを備え、前記振動板アレイが放射する超音波と前記第二振動板アレイが放射する超音波とが交差することによって前記平面の前方にパラメトリックアレイが形成されてもよい。

2つの振動板アレイのそれぞれからパラメトリックアレイを形成するための超音波を放射することがによって、振動板が配置される平面から離れた領域にパラメトリックアレイを形成することが可能になる。

20

【0011】

(6) 前記目的を達成するための超音波トランスデューサーにおいて、支持層と振動層と素子層とを含む積層構造体からなる振動ユニットを備え、前記支持層には開口が複数形成され、前記振動板は前記開口を閉塞している前記振動層によって構成され、前記素子層には前記振動板を振動させる駆動素子が形成されていてもよい。

積層構造体に振動板を形成すると、振動板の固有振動数を正確に調整することが容易になる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1Aは図1Bに示す1A-1A線断面図である。図1Bは本発明の第一実施形態にかかる平面図である。

30

【図2】本発明の第一実施形態にかかる模式図である。

【図3】本発明の第一実施形態にかかるグラフである。

【図4】本発明の第一実施形態にかかるグラフである。

【図5】本発明の第一実施形態にかかる断面図である。

【図6】本発明の第一実施形態にかかる断面図である。

【図7】本発明の第一実施形態にかかる断面図である。

【図8】本発明の第一実施形態にかかる断面図である。

【図9】本発明の第一実施形態にかかる模式図である。

【図10】本発明の第二実施形態にかかる模式図である。

40

【図11】本発明の第三実施形態にかかる模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施の形態を添付図面を参照しながら説明する。なお、各図において対応する構成要素には同一の符号が付され、重複する説明は省略される。

【0014】

1. 第一実施形態

(構成)

図1に本発明による超音波トランスデューサーの第一実施形態としてのパラメトリックスピーカー1を示す。パラメトリックスピーカー1は、図示しないケースに収容された振

50

動ユニット10を備え、博物館等の施設での音声ガイド装置、AV機器、IT機器などに組み込まれ、超指向性スピーカーとして用いられる。振動ユニット10は、半導体製造プロセスを用いて製造され、支持層101と振動層102と素子層103a、103b、103cとを含む積層構造体であってMEMSを構成している。

【0015】

支持層101の厚さは実質的に剛体として振る舞う程度に例えば $200\mu\text{m}\sim 630\mu\text{m}$ とする。支持層101は例えばシリコンからなる。支持層101には支持層101を貫通する孔によって開口101a、101b、101cが形成されている。開口101a、101b、101cは例えば直径 $200\sim 5000\mu\text{m}$ の円形とする。

【0016】

支持層101に結合している振動層102のうち支持層101の開口101a、101b、101cを閉塞している円形の部分が振動板102a、102b、102cを構成している。支持層101の開口101a、101b、101cの縁が振動板102a、102b、102cの振動端となって振動板102a、102b、102cを支持している。振動層102の厚さは振動板102a、102b、102cが弾性膜として振る舞う程度に例えば $0.5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ とする。振動層102は例えば酸化シリコンからなる。

【0017】

振動板102a、102b、102cは、振動層102によって構成されているため、同一平面に配列される。振動板102a、102b、102cの材質、厚さ、面積、平面形状等によって振動板102a、102b、102cの固有振動数が決まる。本実施形態では材質と厚さが共通であるため、振動板102a、102b、102cの固有振動数はこれらの直径によって決まる。1組の振動板アレイを構成している振動板102a、102b、102cのそれぞれの固有振動数は、特定の周波数において圧電素子103が駆動された場合に、振動板102a、102b、102cから放射される超音波の主軸が正面方向と角度 θ をなす方向を指向するように設定される。すなわち、振動板102a、102b、102cの直径は、並んでいる順番(102a、102b、102cの順番)に大きくなっている。

【0018】

圧電素子103は下電極層としての素子層103a、圧電層としての素子層103b、上電極層としての素子層103cからなる。素子層103aは振動板102a、102b、102cのそれぞれの中央領域を除いた振動層102の上面に積層されている。素子層103bは、振動板102a、102b、102cのそれぞれの中央領域と端子領域とを除いた素子層103aの上面に積層されている。素子層103bは例えば厚さ $0.1\sim 100\mu\text{m}$ としチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)等の圧電材料からなる。素子層103cは素子層103bの上面の全域に積層されている。素子層103a、103cはそれぞれ例えば厚さが $0.05\sim 10\mu\text{m}$ であり、白金や金等からなる。

【0019】

(作動)

圧電素子103の振動板102a、102b、102cの上に位置する環状領域が、印加される駆動信号に応じて面方向(振動板と平行な方向)に伸縮することによって振動板102a、102b、102cが撓む。超音波帯域の駆動信号を圧電素子103に印加すると振動板102a、102b、102cのそれぞれから超音波が放射される。

ここで、振動板102a、102b、102cからなる振動板アレイから放射される超音波の主軸方向と正面方向とがなす角 θ と、振動板102a、102b、102cの位相差について説明する。今、図2に示すように長さLの振動板が周波数 ω で振動して波長 λ の超音波を放射し、両端において位相差 $\Delta\phi$ を生じていると仮定する。このとき、 θ は次式(1)によって求まる。なお、 v は音速を表している。

【数 1】

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\Delta\phi}{2\pi} \times \lambda}{L} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{v\Delta\phi}{\omega L} \right) \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

【0020】

したがって例えば同一周波数で振動させる第一の振動板と第二の振動板の中心間距離を L とすれば、目標とする方向 θ を式 (1) に代入すると第一の振動板と第二の振動板の位相差 $\Delta\phi$ が求まる。

【0021】

振動板の位相 ϕ は次式 (2) によって求まる。ただし ω_n は固有振動数、 Q は Q 値を表している。

【数 2】

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega_n \omega}{Q(\omega_n^2 - \omega^2)} \right) \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

【0022】

したがって (2) に基づいて、位相差が $\Delta\phi$ となるように第一の振動板の固有振動数と第二の振動板の固有振動数を相対的に定めれば目標とする方向 θ に主軸が指向する超音波を放射する振動板アレイを設計することができる。また3つ以上の振動板から振動板アレイを構成する場合、隣り合う2つの振動板毎に式 (1) (2) を適用してそれぞれの固有振動数を設定すればよい。

【0023】

また、それぞれの振動板の固有振動数を先に定めておき、隣り合う振動板の中心間距離を目標方向 θ に応じて設定しても良い。またそれぞれの振動板の固有振動数と隣り合う振動板の中心間距離を先に定めておき、駆動周波数 ω を目標方向 θ に応じて設定しても良い。

【0024】

例えば第一の振動板の固有振動数 ω_1 が 50 kHz、第二の振動板の固有振動数 ω_2 が 55 kHz、第一の振動板と第二の振動板の Q 値が 20 とする。この場合、第一の振動板の位相 ϕ_1 と第二の振動板の位相 ϕ_2 と位相差 $\Delta\phi$ と駆動周波数 ω の関係は図 3 に示すようになる。そして第一の振動板と第二の振動板の中心間距離が 3 cm とすると、第一の振動板と第二の振動板からなる振動板アレイから放射される超音波の主軸方向 θ と駆動周波数 ω の関係は図 4 に示すとおりになる。したがって、第一の振動板および第二の振動板の位相差が最大となる一列の駆動信号 (52.5 kHz 付近) で振動板アレイを駆動すると、正面方向となす角 θ が 4.3° となる方向に主軸を持つ超音波を放射することができる。なお、駆動周波数と固有振動数の差が大きくなるほど駆動効率が悪くなるため、振動板アレイを構成する各振動板の固有振動数を近接させることが好ましい。

【0025】

目標方向 θ に超音波を放射するためには、振動板 102 a、102 b、102 c のそれぞれを一定の位相差で振動させる。 $\theta = 0$ の正面方向に超音波を放射するためには、振動板 102 a、102 b、102 c を同一位相で振動させる。

【0026】

位相が異なる複数系列の駆動信号を生成してそれぞれの振動板を独立に駆動すれば、正面方向からずれた方向に超音波を放射することもできるが、位相制御回路が必要になる。しかし本実施形態によると、既に述べたとおり、位相制御回路が不要な 1 系列の駆動信号を用いて複数の振動板を異なる位相で振動させることができる。

【0027】

10

20

30

40

50

(製造方法)

振動ユニット 10 は、例えば次のように製造することができる。

はじめに支持層となるシリコンウエハ 101 を準備する。

【0028】

次に図 5 に示すようにシリコンウエハ 101 の一方の主面に振動層となる酸化膜 102 を熱酸化法等によって形成する。

【0029】

次に図 6 に示すように酸化膜 102 の主面上に、素子層 103a となる導電膜、素子層 103b となる圧電膜、素子層 103c となる導電膜を順次スパッタ法等によって積層する。

【0030】

次に図 7 に示すように素子層 103a、103b、103c をエッチングすることによって圧電素子 103 を形成する。

【0031】

次に図 8 に示すように支持層 101 を他方の主面から異方的にエッチングすることによって支持層 101 に開口 101a、101b、101c を形成する。

【0032】

その後、ダイシング、パッケージング等の後工程を実施すると振動ユニット 10 が完成する。圧電素子 103 に駆動信号を印加する駆動部は、振動ユニット 10 と同一のパッケージに収容しても良いし、振動ユニット 10 のパッケージとは別のパッケージに収容しても良い。

【0033】

(使用方法)

パラメトリックスピーカー 1 は例えば次のように使用することができる。博物館等の施設内の展示物の上方壁面に、振動板の正面方向が展示物の正面方向と一致するようにパラメトリックスピーカー 1 を設置する。このように設置したパラメトリックスピーカー 1 の振動板アレイを、周波数が近接した 2 系列の超音波帯域信号を重畳した 1 系列の駆動信号 S を用いて駆動する。一方の超音波帯域信号は、振動板 102a、102b、102c のそれぞれが異なる位相で振動する周波数 H_1 に設定する。他方の超音波帯域信号は、振動板 102a、102b、102c が同一位相で振動する周波数 H_2 に設定する。これら 2 系列の超音波帯域信号を変調した 1 系列の駆動信号 S を用いて駆動すると、振動板に対して垂直でない方向に周波数 H_1 の超音波が放射されるとともに、振動板に対して垂直な方向に周波数 H_2 の超音波が放射される。すると、周波数 H_1 の超音波と周波数 H_2 の超音波とが重なる図 9 に示す領域 A にパラメトリックアレイが形成される。

【0034】

このため、可聴音が差音として発生するように駆動信号 S を生成すると、領域 A およびその周辺領域において可聴音を聴取可能になる。なお、領域 A において発生した可聴音は領域 A の外でも聞き取ることができるが、領域 A の外における可聴音の音圧は領域 A における可聴音の音圧よりも低くなる。領域 A の面積は、振動板 102a、102b、102c の固有振動数と配列、そして駆動信号によって制御することができる。すなわち、パラメトリックスピーカー 1 を用いることによって、可聴音を聞き取ることのできる範囲を柔軟に設計することができる。

【0035】

2. 第二実施形態

第二実施形態としてのパラメトリックスピーカー 2 では、図 10 に示すように、第一実施形態で説明した振動ユニット 10a、10b を、それぞれから放射される超音波の主軸が交差するように配置する。振動ユニット 10a、10b には別系列の駆動信号 S_1 、 S_2 が印加される。駆動信号 S_1 、 S_2 は互いに近接した超音波領域の周波数を有する。振動ユニット 10a、10b から放射される超音波が交差する領域 E では、駆動信号 S_1 に応じて振動ユニット 10a から放射される超音波と、駆動信号 S_2 に応じて振動ユニット

10

20

30

40

50

10bから放射される超音波との差音が発生する。したがって、可聴音が差音として発生するように駆動信号 S_1 、 S_2 を生成することによって、パラメトリックスピーカー2から離れた領域Eにパラメトリックアレイの形成領域を設定することができる。

【0036】

3. 第三実施形態

図10に示すように、正面方向からずれた方向に超音波を放射する振動ユニット10と、正面方向に超音波を放射する振動ユニット11とを組み合わせるパラメトリックスピーカー3を構成しても良い。振動ユニット11には、振動板の固有振動数が一致している一般的な構成を採用できる。振動ユニット10、11は、それぞれから放射される超音波が交差するように配置される。振動ユニット10、11には別系列の駆動信号 S_3 、 S_4 が印加される。駆動信号 S_3 、 S_4 は互いに近接した超音波領域の周波数を有する。振動ユニット10、11から放射される超音波が交差する領域Gでは、駆動信号 S_3 に応じて振動ユニット11から放射される超音波と、駆動信号 S_4 に応じて振動ユニット10から放射される超音波との差音によって可聴音を発生させることができる。

【0037】

4. 他の実施形態

なお、本発明の技術的範囲は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

例えば、超音波の放射方向が異なる2つの振動ユニットは、図10、図11に示したように別体に形成しても良いし、一体に形成しても良い。

また、駆動素子は、図1に示したように振動板の周縁部に配置していても良いし、振動板の中央部に配置しても良い。また、圧電材料として有機圧電材料を用いても良いし、駆動素子として静電容量を用いても良い。

【0038】

また、振動層はポリイミド、PVD F (PolyVinylidene DiFluoride)、ゴム等の有機材料から構成してもよいし、単結晶シリコン、ポリシリコン、セラミック(ジルコニア(ZrO_2))、アルミナ(Al_2O_3)など)、金属(Cuなど)等の無機材料で構成してもよい。さらに振動板は円形に限らず、矩形であってもよいし、振動層に通孔が形成されていてもよいし、2辺が支持層に固定された帯形状であってもよい。振動板ユニットを構成する振動板の数は3つに限らず、2つでもよいし、4つ以上でもよい。また振動板アレイを構成する振動板は2次元に配列してもよい。また、シリコンウエハの代わりにSOI (Silicon On Insulator) ウエハを用いてもよい。

【0039】

また本発明による超音波トランスデューサーは、パラメトリックスピーカー以外にも、距離等を検出するための超音波発信器などに適用することもできる。

また本発明による超音波トランスデューサーをMEMSとして構成することによって各振動板の固有振動数の調整が容易になるが、例えば振動板が支持部材に機械的に組み付けられる構造を採用しても良い。

【0040】

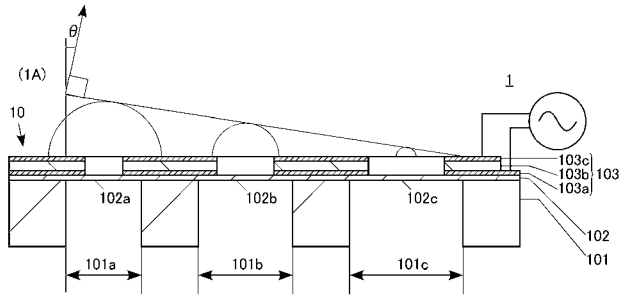
尚、駆動素子を可聴域周波数の駆動信号で駆動することにより振動板アレイそのものから可聴音を放射することも勿論可能である。この場合であっても、本発明に係る振動板アレイの構成を採用すると、主軸が振動板の正面方向からずれた指向性を持つ可聴音を放射することができる。

【符号の説明】

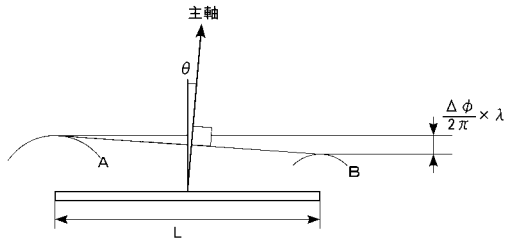
【0041】

10・10a・10b・11…振動ユニット、101…支持層、101a・101b・101c…開口、102…振動層、102a・102b・102c…振動板、103…圧電素子、103a…素子層、103b…素子層、103c…素子層

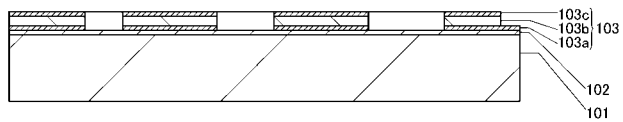
【図 1】



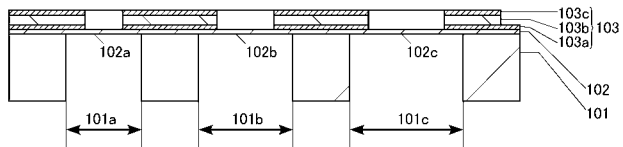
【図 2】



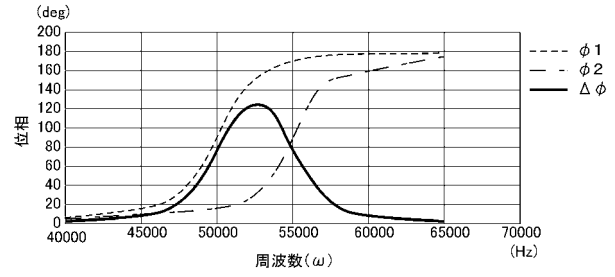
【図 7】



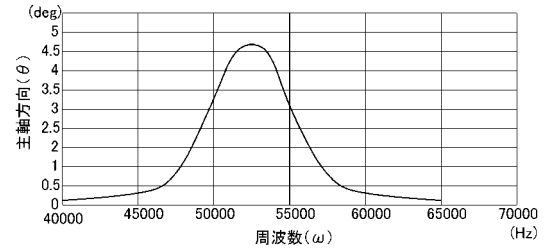
【図 8】



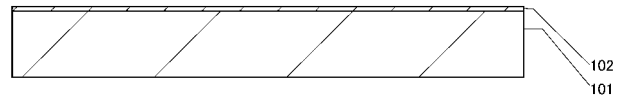
【図 3】



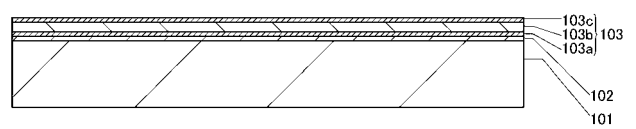
【図 4】



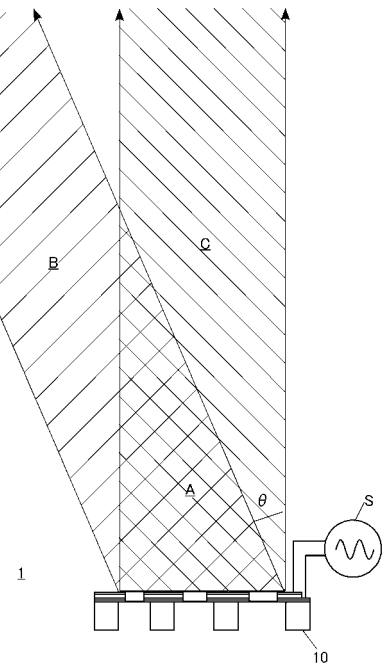
【図 5】



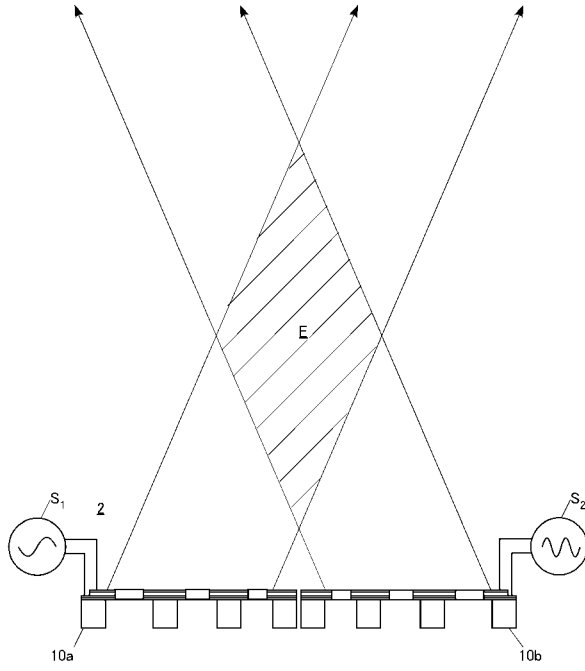
【図 6】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

