

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4508030号
(P4508030)

(45) 発行日 平成22年7月21日(2010.7.21)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int.Cl. F I
H04R 19/00 (2006.01) H04R 19/00 330

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2005-226278 (P2005-226278)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成17年8月4日(2005.8.4)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2007-43523 (P2007-43523A)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(43) 公開日	平成19年2月15日(2007.2.15)	(74) 代理人	100095728
審査請求日	平成20年1月11日(2008.1.11)		弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100107261
			弁理士 須澤 修
		(72) 発明者	松澤 欣也
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		審査官	大野 弘
		(56) 参考文献	特開平10-234098 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電型超音波トランスデューサ及びこれを用いた超音波スピーカ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の穴が形成された第1の固定電極と、
前記第1の固定電極に形成された前記複数の穴に対向する位置に複数の穴が形成された第2の固定電極と、

前記第1及び第2の固定電極に挟持され且つ導電層を有し、該導電層に直流バイアス電圧が印加される振動膜と、

前記第1及び第2の固定電極と前記振動膜を保持する保持部材とを有し、

前記第1及び第2の固定電極間には交流信号が印加される静電型超音波トランスデューサであって、

前記第1及び第2の固定電極のうち一方の固定電極の厚さ t_1 が、 $(\lambda/4) \cdot n - \lambda/8$ 以上で且つ $(\lambda/4) \cdot n + \lambda/8$ 以下(但し、 λ は前記静電型超音波トランスデューサから発生される超音波の波長、 n は正の奇数)の範囲内の厚さであり、

前記第1及び第2の固定電極のうち前記一方以外の他方の固定電極の厚さ t_2 が、 $(\lambda/4) \cdot m - \lambda/8$ 以上で且つ $(\lambda/4) \cdot m + \lambda/8$ 以下(但し、 λ は前記静電型超音波トランスデューサから発生される超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。)の範囲内の厚さであることを特徴とする静電型超音波トランスデューサ。

【請求項2】

前記厚さ t_1 が略、 $(\lambda/4) \cdot n$ であり、

10

20

前記厚さ t_2 が略、 $(\quad / 4) \cdot m$ であることを特徴とする請求項 1 記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 3】

前記 n が 1 であることを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 4】

前記第 1 及び第 2 の固定電極に形成された穴は円柱状に形成された貫通穴であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 の固定電極は、単一の導電性部材で形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

10

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の固定電極は、導電性部材と絶縁部材とで形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 7】

前記振動膜は、絶縁性高分子フィルムの両面に電極層が形成された膜であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 8】

前記振動膜は、電極層が 2 枚の絶縁性高分子フィルムで挟むように形成された膜であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

20

【請求項 9】

前記振動膜は、前記絶縁性高分子フィルムの片面に電極層が形成された第 1 及び第 2 の薄膜を有し、前記第 1 の薄膜の電極層と前記第 2 の薄膜の電極層とを密着させて形成されていることを特徴とする請求項 7 に記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 10】

前記振動膜は、エレクトレットフィルムで構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 11】

前記第 1 及び第 2 の固定電極の前記振動膜側に電氣的絶縁処理が施されていることを特徴とする請求項 6 又は 10 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

30

【請求項 12】

前記振動膜には、単一極性の直流バイアス電圧が印加されることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 13】

前記保持部材は絶縁材料で構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 14】

前記振動膜は該振動膜表面における直角四方向に張力をかけた状態で固定されることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサ。

【請求項 15】

40

請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の静電型超音波トランスデューサと、
可聴周波数帯の信号波を生成する信号源と、
超音波周波数帯のキャリア波を生成し、出力するキャリア波供給手段と、
前記キャリア波を前記信号源から出力される可聴周波数帯の信号波により変調する変調手段とを有し、

前記静電型超音波トランスデューサは、前記固定電極と前記振動膜の電極層との間に印加される前記変調手段から出力される変調信号により駆動されることを特徴とする超音波スピーカ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、広周波数帯域に渡って一定の高音圧を発生する静電型超音波トランスデューサ及びこれを用いた超音波スピーカに関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

従来の超音波トランスデューサは圧電セラミックを用いた共振型がほとんどである。

ここで、従来の超音波トランスデューサの構成を図 8 に示す。従来の超音波トランスデューサは、振動素子として圧電セラミックを用いた共振型がほとんどである。図 8 に示す超音波トランスデューサは、振動素子として圧電セラミックを用いて電気信号から超音波への変換と、超音波から電気信号への変換（超音波の送信と受信）の両方を行う。図 8 に示すバイモフル型の超音波トランスデューサは、2 枚の圧電セラミック 6 1 および 6 2 と、コーン 6 3 と、ケース 6 4 と、リード 6 5 および 6 6 と、スクリーン 6 7 とから構成されている。

10

【 0 0 0 3 】

圧電セラミック 6 1 および 6 2 は、互いに貼り合わされていて、その貼り合わせ面と反対側の面にそれぞれリード 6 5 とリード 6 6 が接続されている。

共振型の超音波トランスデューサは、圧電セラミックの共振現象を利用しているので、超音波の送信および受信の特性がその共振周波数周辺の比較的狭い周波数帯域で良好となる。

【 0 0 0 4 】

20

上述した図 8 に示す共振型の超音波トランスデューサと異なり、従来より静電方式の超音波トランスデューサは高周波数帯域にわたって高い音圧を発生可能な広帯域発振型超音波トランスデューサとして知られている。この静電型の超音波トランスデューサは、振動膜が固定電極側に引き付けられる方向のみ働くことから Pull 型と呼ばれている。

図 9 に広帯域発振型超音波トランスデューサ（Pull 型）の具体的構成を示す。

【 0 0 0 5 】

図 9 に示す静電型の超音波トランスデューサは、振動体として 3 ~ 10 μm 程度の厚さの PET（ポリ・エチレン・テレフタレート樹脂）等の誘電体 1 3 1（絶縁体）を用いている。誘電体 1 3 1 に対しては、アルミ等の金属箔として形成される上電極 1 3 2 がその上面部に蒸着等の処理によって一体形成されるとともに、真鍮で形成された下電極 1 3 3 が誘電体 1 3 1 の下面部に接触するように設けられている。この下電極 1 3 3 は、リード 1 5 2 が接続されるとともに、ベークライト等からなるベース板 1 3 5 に固定されている。

30

【 0 0 0 6 】

また、上電極 1 3 2 は、リード 1 5 3 が接続されており、このリード 1 5 3 は直流バイアス電源 1 5 0 に接続されている。この直流バイアス電源 1 5 0 により上電極 1 3 2 には 50 ~ 150 V 程度の上電極吸着用の直流バイアス電圧が常時、印加され上電極 1 3 2 が下電極 1 3 3 側に吸着されるようになっている。1 5 1 は信号源である。

【 0 0 0 7 】

誘電体 1 3 1 および上電極 1 3 2 ならびにベース板 1 3 5 は、メタルリング 1 3 6、1 3 7、および 1 3 8、ならびにメッシュ 1 3 9 とともに、ケース 1 3 0 によってかしめられている。

40

下電極 1 3 3 の誘電体 1 3 1 側の面には不均一な形状を有する数十 ~ 数百 μm 程度の微小な溝が複数形成されている。この微小な溝は、下電極 1 3 3 と誘電体 1 3 1 との間の空隙となるので、上電極 1 3 2 および下電極 1 3 3 間の静電容量の分布が微小に変化する。

【 0 0 0 8 】

このランダムな微小な溝は、下電極 1 3 3 の表面を手作業でヤスリにより荒らすことで形成されている。静電方式の超音波トランスデューサでは、このようにして空隙の大きさや深さの異なる無数のコンデンサを形成することによって、図 7 に示す超音波トランスデューサの周波数特性が図 10 において曲線 Q 1 に示すように広帯域となっている。

50

【 0 0 0 9 】

上記構成の超音波トランスデューサでは、上電極 1 3 2 に直流バイアス電圧が印加された状態で上電極 1 2 と下電極 1 3 3 との間に矩形波信号 (5 0 ~ 1 5 0 V p-p) が印加されるようになっている。因みに、図 1 0 に曲線 Q 1 で示すように共振型の超音波トランスデューサの周波数特性は、中心周波数 (圧電セラミックの共振周波数) が例えば、4 0 kHz であり、最大音圧となる中心周波数に対して ± 5 kHz の周波数において最大音圧に対して - 3 0 dB である。

これに対して、上記構成の広帯域発振型の超音波トランスデューサの周波数特性は、4 0 kHz から 1 0 0 kHz 付近まで平坦で、1 0 0 kHz で最大音圧に比して ± 6 dB 程度である (特許文献 1、2 参照)。

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 5 0 3 8 7 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 - 5 0 3 9 2 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

上述したように、図 8 に示す共振型の超音波トランスデューサと違い、図 9 に示す静電方式の超音波トランスデューサは従来から広周波数帯に渡って比較的高い音圧を発生させることが可能な広帯域超音波トランスデューサ (P u l l 型) として知られている。

しかしながら、音圧の最大値は図 1 0 に示すように、共振型の超音波トランスデューサが 1 3 0 dB 以上であるのに比べ、静電型の超音波トランスデューサでは 1 2 0 dB 以下と音圧が低く、超音波スピーカとして利用するには若干音圧が不足していた。

【 0 0 1 1 】

ここで、超音波スピーカについて説明しておく。キャリア波と呼ばれる超音波周波数帯域の信号にオーディオ信号 (可聴周波数帯の信号) で AM 変調をかけ、この変調信号で超音波トランスデューサを駆動することにより、超音波を信号源のオーディオ信号で変調した状態の音波が空中に放射され、空気の非線形により、空中で元のオーディオ信号が自己再生される、というものである。

【 0 0 1 2 】

つまり、音波は空気を媒体として伝播する粗密波であるので、変調された超音波が伝播する過程で、空気の密な部分と疎な部分に顕著に表れ、密な部分は音速が速く、疎な部分は音速が遅くなるので変調波自身に歪が生じ、その結果キャリア波 (超音波) と可聴波 (元オーディオ信号) に波形分離され、我々人間は 2 0 kHz 以下の可聴音 (元オーディオ信号) のみを聴くことができるという原理であり、一般にはパラメトリックアレイ効果と呼ばれている。

【 0 0 1 3 】

上記のパラメトリック効果が十分現れるためには 1 2 0 dB 以上の超音波音圧が必要であるが、静電型の超音波トランスデューサではこの数値を達成することが難しく、もっぱら P Z T などのセラミック圧電素子や P V D F などの高分子圧電素子が超音波発信体として用いられてきた。

しかし、圧電素子はその材質を問わず鋭い共振点を有しており、その共振周波数で駆動して超音波スピーカとして実用化しているため、高い音圧を確保出来る周波数領域が極めて狭い。すなわち狭帯域であるといえる。

【 0 0 1 4 】

一般に、人間の最大可聴周波数帯域は 2 0 Hz ~ 2 0 kHz と云われており約 2 0 kHz の帯域を持つ。すなわち超音波スピーカにおいては、超音波領域で 2 0 kHz の周波数帯域に渡って高い音圧を確保しないと、元のオーディオ信号を忠実に復調することは不可能となる。従来の圧電素子を用いた共振型の超音波スピーカでは到底この 2 0 kHz という広帯域を忠実に再生 (復調) することは困難であることは容易に理解できるであろう。

【 0 0 1 5 】

実際、従来の共振型の超音波トランスデューサを用いた超音波スピーカでは、(1) 帯

10

20

30

40

50

域が狭く再生音質が悪い、(2) AM変調度をあまり大きくすると復調音が歪むため最大でも0.5程度までしか変調度を上げられない、(3) 入力電圧を上げると(ボリュームを上げると) 圧電素子の振動が不安定となり、音が割れる。さらに電圧を上げると圧電素子自身が破壊され易い、(4) アレイ化や大型化、小型化が困難であり、それが故にコストが高い、といった問題があった。

【0016】

これに対し図9に示した静電型の超音波トランスデューサ(Pull型)を用いた超音波スピーカは、上記従来技術の抱える課題をほぼ解決できるが、帯域を広くカバーできる反面、復調音が十分な音量であるためには絶対的な音圧が不足しているという問題を抱えていた。

10

また、Pull型の超音波トランスデューサは、静電力は固定電極側へのみ引き付ける方向にしか働かず振動膜(図9における上電極132に相当する。)の振動の対称性が保たれないため、超音波スピーカに用いる場合、振動膜の振動が直接、可聴音を発生させるという問題があった。

【0017】

これに対して、我々は、広周波数帯域にわたってパラメトリックアレイ効果を得るのに十分に高い音圧レベルの音響信号を発生することができる超音波トランスデューサを既に提案している。この超音波トランスデューサは、導電層を有する振動膜を対向する位置に貫通穴が形成された一对の固定電極により挟持し、振動膜に直流バイアス電圧が印加された状態で一对の固定電極に交流信号を印加するように構成したものである。

20

【0018】

この超音波トランスデューサは、Push-Pull型の超音波トランスデューサと呼ばれており、一对の固定電極により挟持された振動膜が交流信号の極性に応じた方向において静電吸引力と静電斥力を同方向にかつ同時に受けるために、振動膜の振動をパラメトリックアレイ効果を得るのに十分に大きくすることができるだけでなく、振動の対称性が確保されるため、従来のPull型超音波トランスデューサに比して高い音圧を広周波数帯域にわたって発生させることができる。

しかしながら、このPush-Pull型の超音波トランスデューサは、音が抜ける貫通穴が比較的小面積であるためこのままでは、十分な音圧を空中に発生させることは困難であるという問題がある。

30

したがって、このような構造を有するPush-Pull型の超音波トランスデューサにおいても十分な音圧を発生させるための技術が必要とされていた。

また、Push-Pull型の超音波トランスデューサでは、前面だけでなく背面にも音が放出されてしまうため、そのまま使用する場合には背面から放出される音が活かされないため非効率的であり、また、背面から放出される音を活用する場合には、超音波トランスデューサの背面に反射板や遮音材を設ける等の対策が必要であった。

【0019】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、同一の駆動条件でより強力な超音波を前面に発生することができ、かつ不必要な背面からの音の放出を小さく抑制するようにしたPush-Pull型の静電型超音波トランスデューサ及びこれを用いた超音波スピーカを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記目的を達成するために本発明の静電型超音波トランスデューサは、複数の穴が形成された第1の固定電極と、前記第1の固定電極と対をなす複数の穴が形成された第2の固定電極と、前記一对の固定電極に挟持され導電層を有し、該導電層に直流バイアス電圧が印加される振動膜と、前記一对の固定電極と前記振動膜を保持する保持部材とを有し、前記一对の固定電極間には交流信号が印加される静電型超音波トランスデューサであって、前記一对の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を略、 $(\lambda/4) \cdot n$ (但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数)とし、他方の厚さ t_2 を略、 $(\lambda/4) \cdot m$ (但し、 λ は超音波の波

50

長、 m は正の偶数)としたことを特徴とする。

【0021】

上記構成からなる本発明の静電型超音波トランスデューサでは、第1の固定電極と、第2の固定電極の対向する位置に複数の穴が形成され、振動膜の導電層に直流バイアス電圧が印加された状態で、第1、第2の固定電極からなる一対の固定電極に駆動信号である交流信号が印加されるために、一対の固定電極に挟持された振動膜は、交流信号の極性に応じた方向において、静電吸引力と静電斥力が同方向に同時に受けるために、振動膜の振動をパラメトリック効果を得るのに十分大きくすることができるだけでなく、振動の対称性が確保されるため、高い音圧を広周波数帯域にわたって発生させることができる。

さらに、前記一対の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を略、 $(\lambda/4) \cdot n$ (但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数)とし、他方の厚さ t_2 を略、 $(\lambda/4) \cdot m$ (但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数)とすることにより、高い音圧の音を放射したい一方(前面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分が共鳴管を構成し、固定電極出口付近で音圧を最大とし、かつ音の放射を必要としない他方(背面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分では固定電極出口付近で音圧が最小とすることができる。したがって、Push-Pull型の超音波トランスデューサにおいて、同一の駆動条件でより強力な超音波を一方(前面側)の固定電極から発生することができるだけでなく、他方(背面側)の固定電極からの音の放射を小さく抑制することができる。

【0022】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、複数の穴が形成された第1の固定電極と、前記第1の固定電極と対をなす複数の穴が形成された第2の固定電極と、前記一対の固定電極に挟持され導電層を有し、該導電層に直流バイアス電圧が印加される振動膜と、前記一対の固定電極と前記振動膜を保持する保持部材とを有し、前記一対の固定電極間には交流信号が印加される静電型超音波トランスデューサであって、前記一対の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を、 $(\lambda/4) \cdot n - \lambda/8$ 、 $t_1 = (\lambda/4) \cdot n + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数)とし、他方の厚さ t_2 を $(\lambda/4) \cdot m - \lambda/8$ 、 $t_2 = (\lambda/4) \cdot m + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。)としたことを特徴とする。

上記構成からなる本発明の静電型超音波トランスデューサでは、第1の固定電極と、第2の固定電極の対向する位置に複数の穴が形成され、振動膜の導電層に直流バイアス電圧が印加された状態で、第1、第2の固定電極からなる一対の固定電極に駆動信号である交流信号が印加されるために、一対の固定電極に挟持された振動膜は、交流信号の極性に応じた方向において、静電吸引力と静電斥力が同方向に同時に受けるために、振動膜の振動をパラメトリック効果を得るのに十分大きくすることができるだけでなく、振動の対称性が確保されるため、高い音圧を広周波数帯域にわたって発生させることができる。

さらに、前記一対の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を、 $(\lambda/4) \cdot n - \lambda/8$ 、 $t_1 = (\lambda/4) \cdot n + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数)とし、他方の厚さ t_2 を $(\lambda/4) \cdot m - \lambda/8$ 、 $t_2 = (\lambda/4) \cdot m + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。)とすることにより、高い音圧の音を放射したい一方(前面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分が共鳴管を構成し、固定電極出口付近で音圧を略、最大値近傍の値に設定することができる。かつ音の放射を必要としない他方(背面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分では固定電極出口付近で音圧を略、最小値近傍に設定することができる。したがって、Push-Pull型の超音波トランスデューサにおいて、同一の駆動条件でより強力な超音波を一方(前面側)の固定電極から発生することができるだけでなく、他方(背面側)の固定電極からの音の放射を小さく抑制することができる。

【0023】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一対の固定電極に形成された穴は円柱状に形成された貫通穴であることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、振動膜の振動により

10

20

30

40

50

発生する超音波が一对の固定電極に形成された円柱状の貫通穴を介して放射される。この円柱状に形成された貫通穴は、製造が最も簡単であるという長所を有するが、振動膜と対向する電極部分が固定電極側に存在しないために振動膜の導電層との間に作用する静電力が弱いという欠点を有している。

【 0 0 2 4 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極に形成された穴は、直径及び深さが各々異なる少なくとも二種類以上のサイズの同心円柱状の穴が連なって形成された貫通穴であることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極に直径および深さが各々異なる少なくとも二種類以上のサイズの同心円柱状の穴が連なった貫通穴が形成される。したがって、一对の固定電極に形成された上記二種類以上のサイズの同心円柱状の各穴の縁部分に並行する固定電極部分が振動膜の導電層と対向するように構成されるため、平行コンデンサが形成される。したがって、振動膜の前記各穴の縁部分に対向する部分が、持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため振動膜の振動を大きくすることができる。

10

【 0 0 2 5 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極に形成された穴は、断面がテーパ状に形成されていることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極に断面がテーパ状の貫通穴が形成されているため、この固定電極のテーパ部分部分が、振動膜の導電層と対向するように構成され、平行コンデンサが形成される。したがって、前記固定電極のテーパ部分に対向する振動膜の部分が、持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため振動膜の振動を大きくすることができる。

20

【 0 0 2 6 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極に形成された穴は、平面が矩形状の貫通穴であることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、振動膜の振動により発生する超音波が一对の固定電極に形成された平面が矩形状の貫通穴を介して放射される。この平面が矩形状に形成された貫通穴は、製造が最も簡単であるという長所を有するが、振動膜と対向する電極部分が固定電極側に存在しないために振動膜の導電層との間に作用する静電力が弱いという欠点を有している。

30

【 0 0 2 7 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極に形成された穴は、同一中心線上に形成され長さが同一で幅および深さが各々異なる少なくとも二種類以上のサイズの矩形状穴が連なって形成された貫通穴であることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極に同一中心線上に形成され長さが同一で幅および深さが各々異なる少なくとも二種類以上のサイズの矩形状の穴が連なった貫通穴が形成される。したがって、一对の固定電極に形成された上記二種類以上のサイズの矩形状の各穴の縁部分に並行する固定電極部分が振動膜の導電層と対向するように構成されるため、平行コンデンサが形成される。したがって、振動膜の前記各穴の縁部分に対向する部分が、持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため振動膜の振動を大きくすることができる。

40

【 0 0 2 8 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極に形成された穴は、前記一对の固定電極に形成された矩形状の貫通穴は断面がテーパ状に形成されていることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極に平面が矩形状で、かつ断面がテーパ状の貫通穴が形成されているため、この固定電極のテーパ部分部分が、振動膜の導電層と対向するように構成されるので、平行コンデンサが形成される。

50

したがって、前記固定電極のテーパ - 部分に対向する振動膜の部分が、持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため振動膜の振動を大きくすることができる。

【 0 0 2 9 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記固定電極に形成された穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方が穴径が大きく、かつ深さが浅いことを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、固定電極に形成された穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方の穴径が大きく、且つ深さが浅いので、上記二種類以上のサイズの同心円柱状の各穴の縁部分に並行する固定電極部分が振動膜の導電層と対向するように構成されることにより平行コンデンサが形成されるので、振動膜の導電層に働く静電吸引力及び静電斥力を大きくすることができる。

10

【 0 0 3 0 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記固定電極に形成された矩形穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方が、幅が大きくかつ深さが浅いことを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、固定電極に形成された矩形穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方の幅が大きく、且つ深さが浅いので、上記二種類以上のサイズの矩形の各穴の縁部分に並行する固定電極部分、または固定電極のテーパ - 部分が振動膜の導電層と対向するように構成されることにより平行コンデンサが形成されるので、振動膜の導電層に働く静電吸引力及び静電斥力を大きくすることができる。

【 0 0 3 1 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記複数個の貫通穴は、各々同一サイズであることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極に各々、同一サイズの貫通穴が形成される。したがって、穴加工が容易であり、製造コストの低減が図れる。

20

【 0 0 3 2 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記複数個の貫通穴は、各々対向する位置では同一サイズであり、複数の穴サイズを有することを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、一对の固定電極において各々対向する位置では同一サイズであり、複数の穴サイズの貫通穴が形成される。したがって、穴加工が容易であり、製造コストの低減が図れる。

30

【 0 0 3 3 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極は、単一の導電性部材からなることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、前記一对の固定電極は、単一の導電性部材、例えば、S U S、真鍮、鉄、ニッケル等の導電性材料で形成することができる。

【 0 0 3 4 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極は、複数の導電性部材からなることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、前記一对の固定電極は、複数の導電性部材で形成することができる。

40

【 0 0 3 5 】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記一对の固定電極は、導電性部材と絶縁部材とからなることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、前記一对の固定電極は、導電性部材と絶縁部材から構成される。例えば、ガラスエポキシ基板や紙フェノール基板等の絶縁部材に所望の穴加工をした後、ニッケルや金、銀、銅等でメッキ処理をすることにより、固定電極を導電性部材と絶縁部材で形成することができる。これにより、超音波トランスデューサの軽量化が図れる。

50

【0036】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記振動膜は、絶縁性高分子フィルムの両面に電極層が形成された薄膜であることを特徴とする。

このように構成した本発明の超音波トランスデューサでは、振動膜は絶縁性高分子フィルムの両面に電極層が形成される。そしてこの場合に後述するように振動膜に対向する固定電極側には絶縁層が設けられる。したがって、振動膜の作製が容易になる。

【0037】

また、本発明の静電型超音波トランス絶縁性高分子フィルムの両面に電極層が形成された薄膜デューサは、前記振動膜は、電極層が2枚の絶縁性高分子フィルムで挟むように形成された薄膜であることを特徴とする。

このように構成した本発明の超音波トランスデューサでは、電極層を絶縁層（絶縁高分子フィルム）で挟むように振動膜が形成される。したがって、固定電極側の絶縁処理が不要になり、超音波トランスデューサの製造が容易になる。また、振動膜に対する固定電極の配置の対称性の確保が容易になる。

【0038】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記振動膜は、絶縁性高分子フィルムの片面に電極層が形成された薄膜を2枚使用し、各々電極層同士を密着させて構成されていることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、絶縁性高分子フィルムの片面に電極層が形成された薄膜を2枚使用し、各々電極層同士を密着させることにより振動膜が形成される。したがって、振動膜の作製が容易となる。

【0039】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記振動膜は、エレクトレットフィルムを用いていることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、前記振動膜は、エレクトレットフィルムが用いられる。この場合に固定電極側には絶縁層が形成される。したがって、振動膜の作製が容易となる。

【0040】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、絶縁性高分子フィルムの両面に電極層が形成された薄膜である振動膜、またはエレクトレットフィルムを用いた振動膜を用いる場合は、前記一対の固定電極の各々振動膜側に電氣的絶縁処理を施すことを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、振動膜として絶縁層（絶縁フィルム）の両面に導電層（電極層）が形成された振動膜を使用する場合、あるいは振動膜としてエレクトレットフィルムを使用する場合には固定電極の振動膜側に電氣的絶縁処理が施される。したがって、絶縁層（絶縁フィルム）の両面に導電層（電極層）が形成された両面電極蒸着膜や、エレクトレットフィルムを振動膜として使用することが可能となる。

【0041】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記振動膜には、単一極性の直流バイアス電圧が印加されていることを特徴とする。

このように構成した本発明の静電型超音波トランスデューサでは、前記振動膜には、単一極性の直流バイアス電圧が印加される。したがって、振動膜の電極層には常に同極性の電荷が蓄積されるので、前記一対の固定電極に印加される交流信号により変化する固定電極の電圧の極性に応じて、振動膜が静電吸引力及び静電斥力を受け、振動する。

【0042】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記固定電極と前記振動膜を保持する部材は絶縁材料で構成することを特徴とする。

このように構成した本発明の超音波トランスデューサでは、前記固定電極と振動膜を保持する部材は絶縁材料で構成される。したがって、固定電極と振動膜との間の電氣的絶縁

10

20

30

40

50

が保持される。

【0043】

また、本発明の静電型超音波トランスデューサは、前記振動膜は膜表面上における直角四方向に張力をかけて固定されていることを特徴とする。

このように構成した本発明の超音波トランスデューサでは、前記振動膜は膜平面上における直角四方向に張力をかけて固定される。したがって、従来、振動膜を固定電極側に吸着させるために数百ボルトの直流バイアス電圧を振動膜に印加する必要があったが、振動膜の膜ユニット作製時に膜に張力をかけて固定することにより、従来、上記直流バイアス電圧が担っていた引張り張力と同様の作用をもたらすため、上記直流バイアス電圧を低減することができる。

10

【0044】

また、本発明の超音波スピーカは、上記いずれかの静電型超音波トランスデューサと、可聴周波数帯の信号波を生成する信号源と、超音波周波数帯のキャリア波を生成し、出力するキャリア波供給手段と、前記キャリア波を前記信号源から出力される可聴周波数帯の信号波により変調する変調手段とを有し、前記静電型超音波トランスデューサは、前記固定電極と前記振動膜の電極層との間に印加される前記変調手段から出力される変調信号により駆動されることを特徴とする。

【0045】

このように構成した本発明の超音波スピーカでは、信号源により可聴周波数帯の信号波が生成され、キャリア波供給手段により超音波周波数帯のキャリア波が生成され、出力される。さらに、変調手段によりキャリア波が前記信号源から出力される可聴周波数帯の信号波により変調され、この変調手段から出力される変調信号が前記固定電極と前記振動膜の電極層との間に印加され、駆動される。

20

【0046】

本発明の超音波スピーカでは、上記構成の静電型超音波トランスデューサを用いて構成したので、広周波数帯域にわたってパラメトリックアレイ効果を得るのに十分高い音圧レベルの音響信号を発生することができる超音波スピーカを実現できる。

また、本発明の超音波スピーカでは、一对の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を、 $(\lambda/4) \cdot n - \lambda/8$ 、 $t_1 = (\lambda/4) \cdot n + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数) とし、他方の厚さ t_2 を $(\lambda/4) \cdot m - \lambda/8$ 、 $t_2 = (\lambda/4) \cdot m + \lambda/8$ (但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。) とした静電型超音波トランスデューサを用いているので、高い音圧の音を放射したい一方(前面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分が共鳴管を構成し、固定電極出口付近で音圧を略、最大値近傍の値に設定することができ、かつ音の放射を必要としない他方(背面側)の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分では固定電極出口付近で音圧を略、最小値近傍に設定することができる。したがって、Push-Pull型の超音波トランスデューサを搭載した超音波スピーカにおいて、同一の駆動条件でより強力な超音波を一方(前面側)の固定電極から発生することができるだけでなく、他方(背面側)の固定電極からの音の放射を小さく抑制することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0047】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。以下、本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサの構成を図1に示す。図1(A)は、静電型超音波トランスデューサの構成を示し、同図(B)は、超音波トランスデューサの一部を破断した平面図を示している。

図1において、本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサ1は、電極として機能する導電性材料で形成された導電部材を含む一对の固定電極10A、10Bと、一对の固定電極に挟持され、導電層121を有する振動膜12と、一对の固定電極10A、10Bと振動膜を保持する部材(図示せず)とを有している。

【0048】

50

振動膜 12 は、絶縁体 120 で形成され、導電性材料で形成された電極層 121 を有しており、該電極層 121 には、直流バイアス電源 16 により単一極性（正極性でも負極性のいずれでもよい。）の直流バイアス電圧が印加されるようになっており、さらに、この直流バイアス電圧に重畳して固定電極 10A と固定電極 10B には信号源 18 から出力される相互に位相反転した交流信号 18A, 18B が振動膜 12 の電極層 121 との間に印加されるようになっており、

【0049】

また、一对の固定電極 10A、10B は振動膜 12 を介して対向する位置に同数かつ複数の穴 14 を有しており、一对の固定電極 10A、10B の導電部材間には信号源 18 により相互に位相反転した交流信号 18A, 18B が印加されるようになっており、

10

固定電極 10A と電極層 121、固定電極 10B と電極層 121 は、それぞれコンデンサが形成されている。

【0050】

上記構成において、超音波トランスデューサ 1 は、振動膜 12 の電極層に、直流バイアス電源 16 により単一極性の（本実施形態では正極性の）直流バイアス電圧に信号源 18 から出力される相互に位相反転した交流信号 18A, 18B が重畳された状態で印加される。

一方、一对の固定電極 10A、10B には、信号源 18 より交流信号 18A, 18B が印加される。

【0051】

20

この結果、信号源 18 から出力される交流信号 18A の正の半サイクルでは、固定電極 10A に正の電圧が印加されるために、振動膜 12 の固定電極で挟持されていない表面部分 12A には、静電反発力が作用し、表面部分部分 12A は、図 1 上、下方に引っ張られる。

また、このとき、対向する固定電極 10B には、交流信号 18B が負のサイクルとなり、負の電圧が印加されるために、振動膜 12 の前記表面部分 12A の裏面側である裏面部分 12B には、静電吸引力が作用し、裏面部分 12B は、図 1 上、さらに下方に引っ張られる。

【0052】

したがって、振動膜 12 の一对の固定電極 10A、10B により挟持されていない膜部分は、同方向に静電反発力と静電斥力を受ける。これは、信号源 18 から出力される交流信号の負の半サイクルについても同様に、振動膜 12 の表面部分 12A には図 1 上、上方に静電吸引力が、また裏面部分 12B には、図 1 上、上方に静電反発力が作用し、振動膜 12 の一对の固定電極 10A、10B により挟持されていない膜部分は、同方向に静電反発力と静電斥力を受ける。このようにして、交流信号の極性の変化に応じて振動膜 12 が同方向に静電反発力と静電斥力を受けながら、交互に静電力が働く方向が変化するので、大きな膜振動、すなわち、パラメトリックアレイ効果を得るのに十分な音圧レベルの音響信号を発生することができる。

30

【0053】

このように本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサ 1 は、振動膜 12 が一对の固定電極 10A、10B から力を受けて振動することからプッシュプル（Push Pull）型と呼ばれている。

40

本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサ 1 は、従来の、振動膜に静電吸引力のみしか作用しない静電型の超音波トランスデューサ（Pull型）に比して、広帯域性と高音圧を同時に満たす能力を持っている。

【0054】

本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサの周波数特性を図 10 に示す。同図において、曲線 Q3 が本実施形態に係る超音波トランスデューサの周波数特性である。同図から明らかなように、従来の広帯域型の静電型超音波トランスデューサの周波数特性に比して、より広い周波数帯にわたって、高い音圧レベルが得られることが分かる。具体的に

50

は、20 kHz～120 kHzの周波数帯域においてパラメトリック効果が得られる120 dB以上の音圧レベルが得られることが分かる。

【0055】

本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサ1は一对の固定電極10A、10Bに挟持された薄膜の振動膜12が静電吸引力と静電斥力の両方を受けるため、大きな振動が発生するばかりでなく、振動の対称性が確保されるため、高い音圧を広帯域に渡って発生させることができるのである。

【0056】

次に、本実施形態に係る超音波トランスデューサの固定電極について説明する。図2は円柱状固定電極（一对の固定電極のうち片方の電極のみ）のいくつかの構成例（断面図）を示している。

10

図2(a)は貫通穴タイプであり、具体的には、一对の固定電極10A、10Bに形成された穴は、円柱状に形成された貫通穴である。この貫通穴が形成された固定電極は、製造は最も簡単であるが振動膜12と対向する電極に相当する部分がないため、静電力が弱いという欠点を有している。

【0057】

図2(b)は2段貫通穴構造の固定電極の構造を示している。すなわち、一对の固定電極10A、10Bに形成された穴は、直径および深さが各々異なる少なくとも二種類以上（本実施形態では二種類）のサイズの同心円柱状の穴が連なって形成された貫通穴である。固定電極に形成された穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方の穴径が大きく、且つ深さが浅く形成されている。

20

この場合各穴の淵部分に並行する場所が振動膜12と対向しており、この部分が平行板コンデンサを構成している。

【0058】

したがって振動膜12の淵部分が持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため膜振動を大きくさせることができる。また図2(c)は断面がテーパ状の貫通穴を示している。この形状を固定電極として採用した場合の効果も図(b)における構成により得られる効果と同様である。

【0059】

図3は溝形状の貫通穴を有する固定電極のいくつかの構成例（一对の固定電極のうち片方の電極のみ）を示している。図3(a)は貫通溝穴タイプで、一对の固定電極10A、10Bに形成された穴は、平面が矩形状の貫通穴である。この貫通穴が形成された固定電極も製造は最も簡単であるが振動膜12と対向する電極に相当する部分がないため、静電力が弱いという欠点を有している。

30

【0060】

図3(b)は2段貫通溝穴構造の固定電極の構成を示している。すなわち、一对の固定電極10A、10Bに形成された穴は、同一中心線上に形成され長さが同一で幅および深さが各々異なる少なくとも二種類以上（本実施形態では二種類）のサイズの平面が矩形状の穴が連なって形成された貫通穴である。

この場合、丸穴形状のときと同様に各溝穴の淵部分に並行する場所が振動膜12と対向しており、ここが平行板コンデンサを構成している。

40

したがって振動膜12の淵部分が持ち上げられると同時に、引き下げられる力が働くため振動膜12の膜振動を大きくさせることができる。

【0061】

また、図3(c)はテーパ状の貫通溝穴を示している。すなわち、一对の固定電極10A、10Bに形成された矩形状の貫通穴は断面がテーパ状に形成されている。この形状を固定電極として採用した場合の効果も図3(b)における構成の固定電極と同様の効果が得られる。

なお、図3(b)、(c)の構成例において、固定電極に形成された矩形穴は、反振動膜側に対して振動膜側の方の幅が大きく、且つ深さが浅くなるように形成されている。

50

【 0 0 6 2 】

また、図 2、図 3 に示した各構成例に示した、固定電極に形成された複数個の貫通穴は、各々同一サイズとしてもよい。

また、前記複数個の貫通穴は、各々対向する位置では同一サイズであり、複数の穴サイズを有するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

本実施形態に係る超音波トランスデューサを構成する固定電極は、単一の導電性部材で構成してもよいし、複数の導電性部材で形成してもよい。

また、本実施形態に係る超音波トランスデューサを構成する固定電極は、導電性部材と絶縁部材から構成してもよい。

【 0 0 6 4 】

具体的には、本実施形態に係る超音波トランスデューサの固定電極の材質は導電性であればよく例えば S U S や真鍮、鉄、ニッケルの単体構成も可能である。

また、軽量化を図る必要があるため、回路基板などで一般的に用いられるガラスエポキシ基板や紙フェノール基板に所望の穴加工を施した後、ニッケルや金、銀、銅などでメッキ処理をすることなども可能である。また、この場合成型後のソリを防止するために基板へのメッキ加工は両面に施すなどの工夫も有効である。

【 0 0 6 5 】

ただし、振動膜 1 2 に、両面電極蒸着膜やエレクトレットフィルムを使う場合は、図 1 に示した超音波トランスデューサ 1 において、一對の固定電極 1 0 A , 1 0 B の振動膜 1 2 側には何らかの絶縁処理が必要となる。例えば、アルミナ、珪素ポリマー系材料、アモルファス・カーボン膜、S i O ₂ などで絶縁薄膜処理を施すなどの必要がある。

【 0 0 6 6 】

次に、振動膜 1 2 について説明する。振動膜 1 2 の機能は常に同極性の電荷を蓄積しておき（+の極性でも-の極性でもかまわない）、交流電圧で変化する固定電極 1 0 A , 1 0 B 間で静電力により振動することである。本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサにおける振動膜 1 2 の具体的構成例を、図 4 を参照して説明する。

【 0 0 6 7 】

図 4 (a) は絶縁フィルム 1 2 0 の両面に電極蒸着処理を施し、電極層 1 2 1 を形成した振動膜 1 2 の断面構造を示している。中心の絶縁フィルム 1 2 0 は高分子材料、例えばポリ・エチレン・テレフタレート (P E T)、ポリ・エステル、ポリ・エチレン・ナフタレート (P E N)、ポリ・フェニレン・サルファイド (P P S) などが伸縮性、電気耐圧的に好ましい。

【 0 0 6 8 】

電極層 1 2 1 を形成する電極蒸着材料は A l が最も一般的で、その他、N i、C u、S U S、T i などが上記高分子材料との相性、コストなどの面から望ましい。振動膜 1 2 を形成する絶縁フィルム 1 2 0 としての絶縁性高分子フィルムの厚みは駆動周波数や固定電極に設けた穴サイズなどにより最適値が異なるため一意には決めかねるが、一般には 1 μ m 以上 1 0 0 μ m 以下の範囲でおおよそ十分であると思われる。

【 0 0 6 9 】

電極層 1 2 1 としての電極蒸着層の厚みも 4 0 n m ~ 2 0 0 n m の範囲が望ましい。電極厚みは薄すぎると電荷がほとんど蓄積できず、また厚すぎると膜が硬くなって振幅が小さくなるという問題につながってしまう。また、電極材料としては透明導電膜 I T O / I n , S n , Z n 酸化物などでも良い。

【 0 0 7 0 】

図 4 (b) は電極層 1 2 1 を絶縁フィルム 1 2 0 としての絶縁性高分子フィルムで挟み込んだ構造を示している。このときの電極層 1 2 1 の厚みも図 4 (a) の場合と同様に 4 0 n m ~ 2 0 0 n m の範囲が望ましい。また、電極層 1 2 1 それを挟む絶縁フィルム 1 2 0 の材質、厚さも図 4 (a) の両面電極蒸着膜と同様にポリ・エチレン・テレフタレート (P E T)、ポリ・エステル、ポリ・エチレン・ナフタレート (P E N)、ポリ・フェニ

10

20

30

40

50

レン・サルファイド (P P S)、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下が望ましい。

【 0 0 7 1 】

図 4 (c) は片面電極蒸着膜を電極面が接触するように 2 枚張り合わせたものである。このときの絶縁膜および電極部の条件は上述した他の振動膜と同様の条件が望ましい。また、振動膜 1 2 には数百ボルトの直流バイアス電圧が必要となるが、膜ユニット作製時に振動膜 1 2 の膜表面上における直角四方向に張力をかけて固定することにより、前記バイアス電圧は低減できる。

【 0 0 7 2 】

これはあらかじめ膜に張力をかけておくことで、従来バイアス電圧が担っていた引っ張り張力と同様の作用をもたらすためであり、低電圧化のためには非常に有効な手段である。

10

この場合も膜電極材料としては、Al が最も一般的で、その他、Ni、Cu、SUS、Ti などが上記高分子材料との相性、コストなどの面から望ましい。さらに透明導電膜ITO/In, Sn, Zn 酸化物などでも良い。

【 0 0 7 3 】

次に、上記固定電極あるいは振動膜の固定材料であるが、アクリル、ペークライト、ポリアセタール (ポリオキシメチレン) 樹脂 (POM) などのプラスチック系材料が、軽量、非導電性という観点から好ましい。

【 0 0 7 4 】

次に、本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサの要部の構成について説明する。図 2 及び図 3 を参照して既に固定電極の構造について説明したが、本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサにおける一对の固定電極のうち高い音圧の音を放射したい面 (前面側) の固定電極の厚み部分が共鳴現象を生じる音響管である共鳴管を構成するようにその長さ t が設定されている (図 2 参照)。本実施形態では高い音圧の音を放射したい面 (前面側) の固定電極は 10 A であり、音の放射を必要としない面 (背面側) の固定電極を 10 B とする。

20

図 5 は、貫通穴 (共鳴管) 14 が設けられた固定電極 (共鳴管ユニット) 10 A の平面図であり、固定電極 10 A に設けられた貫通穴の配置の一例を示している。貫通穴の配置は図 5 に示したように規則的に配列されるとは限らない。

【 0 0 7 5 】

また、貫通穴の長さは、構造上、固定電極の厚み部分の長さ (厚み) t が支配的であり、したがって、固定電極の貫通穴部分を共鳴管として使用するためには固定電極 10 A の厚み部分の長さ (厚さ) t が共鳴管を構成するように決定される必要がある。

30

図 6 は、共鳴管の集合体である共鳴管ユニットとしての固定電極における音の共鳴状態を示した正面断面図である。図中 t は共鳴管の長さを示しており、本例では $1/2$ 波長の音波が伝播する様子を示している。

【 0 0 7 6 】

共鳴現象を起こす最小の波長単位は $1/2$ 波長であり、両端開口端の共鳴現象の理論式は以下のようなものである。すなわち、 f を超音波周波数、 c を音速 (約 340 m/s)、 λ を波長とすると、

$$\lambda = m c / f \quad (1)$$

の関係がある (ただし、 m は整数)。

ここで、最適音響管長を opt 、 n を奇数の自然数とすると、

$$opt = (n c / 4) \quad (2)$$

で表せる。

【 0 0 7 7 】

音波の波長 λ が式 (2) を満たすとき、音圧は音響管出口で最大となり、これが求める音響管 (共鳴管) 長、すなわち固定電極 10 A の厚み部分の長さ t である。したがって、図 6 (b) が共鳴管ユニット、すなわち固定電極を最もコンパクトにする形態であるが、図中 t は $1/4$ 波長の正の自然数倍であればいかなる値をとっても良い。

50

【 0 0 7 8 】

一例を示せば、超音波の周波数が 4 0 k H z の場合、波長は 8 . 5 m m であるので、その 1 / 4 の 2 . 1 2 5 m m の共鳴管長（固定電極厚） t があればよい。発生させるのが超音波であるので、2 0 k H z を基準に取れば、波長は 1 7 m m である。したがって、その 1 / 4 の 4 . 2 5 m m の共鳴管長（固定電極厚） t があればよい。また、1 0 0 k H z を基準に取れば、波長は 3 . 4 m m である。したがって、その 1 / 4 の 0 . 8 5 m m の共鳴管長（固定電極厚） t があればよい。

【 0 0 7 9 】

現実的には、次式（3）に示すように、固定電極 1 0 A の厚さ t_1 の選択値にある程度の幅を持たせることがよい。

$$\left(\frac{\lambda}{4} \right) \cdot n - \frac{\lambda}{8} \leq t_1 \leq \left(\frac{\lambda}{4} \right) \cdot n + \frac{\lambda}{8} \quad (3)$$

ただし、 λ は、超音波の波長（H z）、 n は正の奇数である。

また、

$$\lambda = c / f \quad (4)$$

ただし、 c は音速であり、 $c = 3 3 1 . 3 + 0 . 6 T$ （ m / s ）（ただし、 T は空気温度（ $^{\circ}C$ ））、 f は超音波の周波数（H z）である。

【 0 0 8 0 】

式（3）の意味するところは、共鳴管長の最適値の前後（ \pm ） $1 / 8$ 波長の範囲で共鳴管長（固定電極厚）を選択する、ということである。 $1 / 8$ 波長というのは、最適値の約 7 0 % に相当し、それ以上ならその値を選択しても効率的には大きな損失は無いと推測される限界値である。

これに対して、音の放射を必要としない他方（背面側）の固定電極 1 0 B の厚さ t_2 は、次式を満たすように設定される。

$$\left(\frac{\lambda}{4} \right) \cdot m - \frac{\lambda}{8} \leq t_2 \leq \left(\frac{\lambda}{4} \right) \cdot m + \frac{\lambda}{8} \quad (5)$$

（但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。）

これにより、固定電極 1 0 B の出口付近で音圧を略、最小値近傍に設定することができる。

【 0 0 8 1 】

なお、本実施形態では、図 1 において、固定電極（共鳴管ユニット）1 0 A の底部と振動膜との間には実際には若干の隙間が設けられている（図面では隙間がなく、密着した状態になっているが）。この隙間は、開口端補正であり、一般には共鳴管半径の 0 . 6 ~ 0 . 8 5 倍程度必要である。

【 0 0 8 2 】

また、本原理を利用する場合には、共鳴管内径は音波長より十分小さく、管内では平面波が発生することが前提とされている。本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサの場合、発生する超音波は平面波であり、また管内径は大きくても 2 . 1 m m 程度であるのでキャリア波として発振する超音波の周波数が 2 0 k H z の時の波長 1 7 m m に対して十分に小さい値であるので、全く問題ないと考えられる。

【 0 0 8 3 】

このように、本発明の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサによれば、音の共鳴現象を利用して P u s h - P u l l タイプの静電型超音波トランスデューサにおける固定電極 1 0 A の厚さ t_1 を式（3）を満たすようにし、かつ固定電極 1 0 B の厚さ t_2 を式（5）を満たすように固定電極の厚さを決定することにより、高い音圧の音を放射したい一方（前面側）の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分が共鳴管を構成し、固定電極出口付近で音圧を略、最大値近傍の値に設定することができ、かつ音の放射を必要としない他方（背面側）の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分では固定電極出口付近で音圧を略、最小値近傍に設定することができる。したがって、P u s h - P u l l 型の超音波トランスデューサにおいて、同一の駆動条件でより強力な超音波を一方（前面側）の固定電極から発生することができるだけでなく、他方（背面側）の固定

10

20

30

40

50

電極からの音の放射を小さく抑制することができる。

【 0 0 8 4 】

次に、本発明の実施形態に係る超音波スピーカの構成を図 7 に示す。本実施形態に係る超音波スピーカは、上述した本発の実施形態に係る静電型超音波トランスデューサ（図 1）を超音波トランスデューサ 5 5 として用いたものである。

【 0 0 8 5 】

図 7 において、本実施形態に係る超音波スピーカは、可聴波周波数帯の信号波を生成する可聴周波数波発振源（信号源）5 1 と、超音波周波数帯のキャリア波を生成し、出力するキャリア波発振源（キャリア波供給手段）5 2 と、変調器（変調手段）5 3 と、パワーアンプ 5 4 と、超音波トランスデューサ 5 5 とを有している。

変調器 5 3 は、キャリア波発振源 5 2 から出力されるキャリア波を可聴周波数波発振源 5 1 から出力される可聴波周波数帯の信号波により変調し、パワーアンプ 5 4 を介して超音波トランスデューサ 5 5 に供給する。

【 0 0 8 6 】

上記構成において、可聴周波数波発振源 5 1 より出力される信号波によってキャリア波発振源 5 2 から出力される超音波周波数帯のキャリア波を変調器 5 3 により変調し、パワーアンプ 5 4 で増幅した変調信号により超音波トランスデューサ 5 5 を駆動する。この結果、上記変調信号が超音波トランスデューサ 5 5 により有限振幅レベルの音波に変換され、この音波は媒質中（空気中）に放射されて媒質（空気）の非線形効果によって元の可聴周波数帯の信号音が自己再生される。

【 0 0 8 7 】

すなわち、音波は空気を媒体として伝播する粗密波であるので、変調された超音波が伝播する過程で、空気の密な部分と疎な部分に顕著に表れ、密な部分は音速が速く、疎な部分は音速が遅くなるので変調波自身に歪が生じ、その結果キャリア波（超音波周波数帯）とに波形分離され、可聴波周波数帯の信号波（信号音）が再生される。

【 0 0 8 8 】

以上のように高音圧の広帯域性が確保されると様々な用途にスピーカとして利用することが可能となる。超音波は空中では減衰が激しく、その周波数の二乗に比例して減衰する。したがって、キャリア周波数（超音波）が低いと減衰も少なくビーム状に遠くまで音の届く超音波スピーカを提供することができる。

逆にキャリア周波数が高いと減衰が激しいのでパラメトリックアレイ効果が十分に起きず、音が広がる超音波スピーカを提供することができる。これらは同じ超音波スピーカでも用途に応じて使い分けることが可能なため大変有効な機能である。

【 0 0 8 9 】

また、ペットとして人間と生活をともにすることの多い犬は 4 0 kHz まで、猫は 1 0 0 k Hz までの音を聴くことが可能であるため、それ以上のキャリア周波数を持ちいれば、ペットに及ぼす影響もなくなるという利点も有する。いずれにせよ色々な周波数で利用できるということは多くのメリットをもたらす。

【 0 0 9 0 】

本発明の実施形態に係る超音波スピーカによれば、広周波数帯域にわたってパラメトリックアレイ効果を得るのに十分に高い音圧レベルの音響信号を発生することができる。

【 0 0 9 1 】

また、本発明の実施形態に係る超音波スピーカでは、一对の固定電極のうち一方の厚さ t_1 を、 $(\lambda/4) \cdot n - \lambda/8$ t_1 $(\lambda/4) \cdot n + \lambda/8$ （但し、 λ は超音波の波長、 n は正の奇数）とし、他方の厚さ t_2 を $(\lambda/4) \cdot m - \lambda/8$ t_2 $(\lambda/4) \cdot m + \lambda/8$ （但し、 λ は超音波の波長、 m は正の偶数であり、 $m = 0$ のとき、 t_2 は右辺の値のみとり得る。）とした静電型超音波トランスデューサを用いているので、高い音圧の音を放射したい一方（前面側）の固定電極の貫通穴部分における固定電極の厚み部分が共鳴管を構成し、固定電極出口付近で音圧を略、最大値近傍の値に設定することができ、かつ音の放射を必要としない他方（背面側）の固定電極の貫通穴部分における固定電

10

20

30

40

50

極の厚み部分では固定電極出口付近で音圧を略、最小値近傍に設定することができる。したがって、Push-Pull型の超音波トランスデューサを搭載した超音波スピーカにおいて、同一の駆動条件でより強力な超音波を一方（前面側）の固定電極から発生することができるだけでなく、他方（背面側）の固定電極からの音の放射を小さく抑制することができる。

【産業上の利用可能性】

【0092】

本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサは、各種センサ、例えば、測距センサ等に利用可能であり、また、既述したように、指向性スピーカ用の音源や、理想的なインパルス信号発生源等に利用可能である。

10

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサの構成を示す図。

【図2】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサにおける固定電極の形状の具体例を示す説明図。

【図3】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサにおける固定電極の貫通溝構造の具体例を示す説明図。

【図4】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサにおける振動膜の構造の具体例を示す説明図。

【図5】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサにおける貫通穴が設けられた固定電極の構成を示す平面図。

20

【図6】共鳴管の集合体である共鳴管ユニットとしての固定電極における音の共鳴状態を示す正面断面図。

【図7】本発明の実施形態に係る超音波スピーカの構成を示すブロック図。

【図8】従来の共振型の超音波トランスデューサの構成を示す図。

【図9】従来の静電型の広帯域発振型超音波トランスデューサの具体的構成を示す図。

【図10】本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサの周波数特性を従来の超音波トランスデューサの周波数特性と共に示した図。

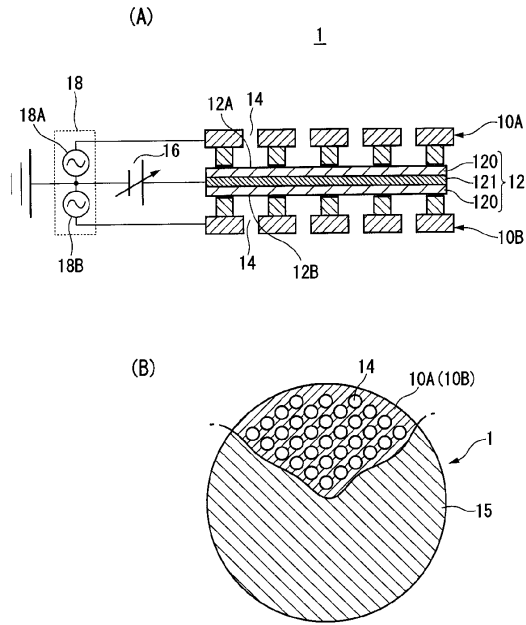
【符号の説明】

【0094】

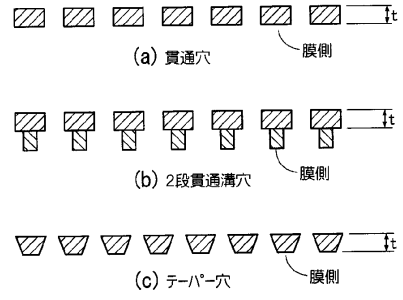
1 ... 超音波トランスデューサ、10A、10B ... 固定電極、12 ... 振動膜、14 ... 穴、16 ... 直流バイアス電源、18 ... 信号源、51 ... 可聴周波数波発振源、52 ... キャリア波発振源、53 ... 変調器、54 ... パワーアンプ、55 ... 超音波トランスデューサ、120 ... 絶縁フィルム、121 ... 電極層。

30

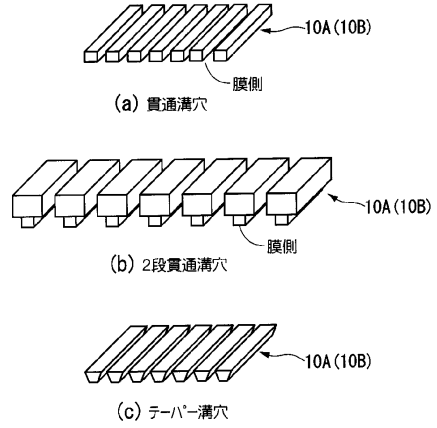
【図1】



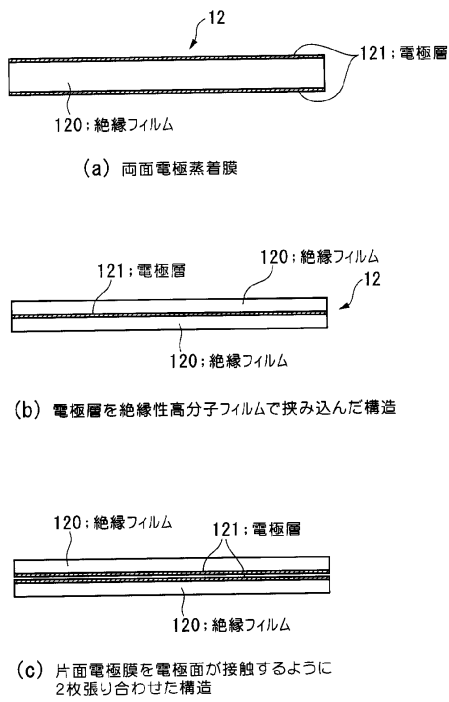
【図2】



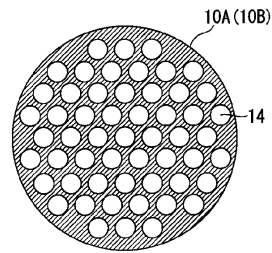
【図3】



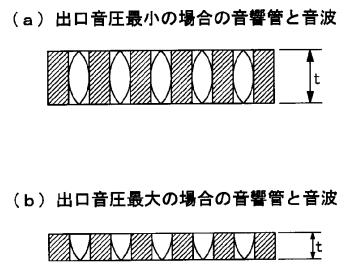
【図4】



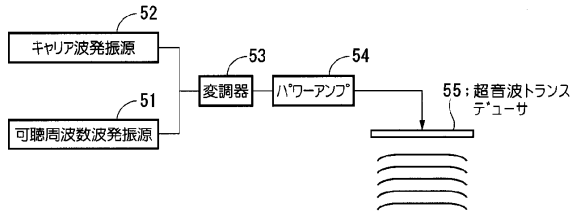
【図5】



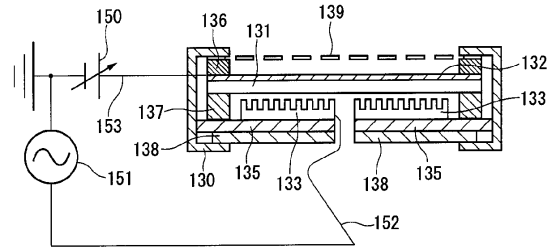
【図6】



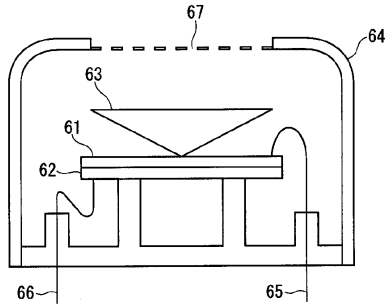
【図7】



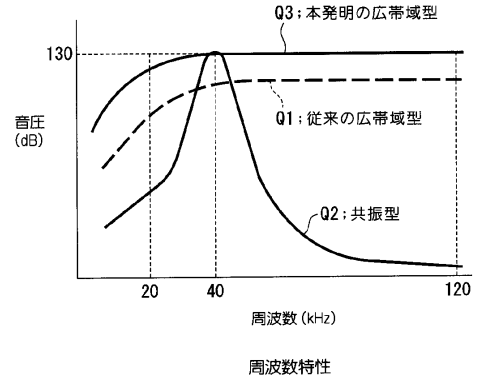
【図9】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H04R 19/00