

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6693941号
(P6693941)

(45) 発行日 令和2年5月13日(2020.5.13)

(24) 登録日 令和2年4月20日(2020.4.20)

| | |
|-----------------------|-----------------|
| (51) Int.Cl. | F I |
| HO4R 17/00 (2006.01) | HO4R 17/00 332A |
| HO4R 31/00 (2006.01) | HO4R 17/00 330J |
| HO1L 41/09 (2006.01) | HO4R 31/00 330 |
| HO1L 41/113 (2006.01) | HO1L 41/09 |
| HO1L 41/187 (2006.01) | HO1L 41/113 |

請求項の数 23 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2017-500378 (P2017-500378)
 (86) (22) 出願日 平成27年7月10日 (2015.7.10)
 (65) 公表番号 特表2017-528026 (P2017-528026A)
 (43) 公表日 平成29年9月21日 (2017.9.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2015/001724
 (87) 国際公開番号 W02016/005819
 (87) 国際公開日 平成28年1月14日 (2016.1.14)
 審査請求日 平成30年6月29日 (2018.6.29)
 (31) 優先権主張番号 62/023,449
 (32) 優先日 平成26年7月11日 (2014.7.11)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(73) 特許権者 515238507
 マイクロテック メディカル テクノロジ
 ーズ リミテッド
 イスラエル国 テルアビブ 615810
 1 キリアト アティディム ビルディン
 グ 8
 (74) 代理人 110001346
 特許業務法人 松原・村木国際特許事務所
 (72) 発明者 サヴォイア、アレッサンドロ ストゥアル
 ト
 イタリア共和国 ローマ イー84-00
 146 ヴィア デッラ ヴァスカ ナヴ
 ァーレ ディパルティメント ディ イン
 ジェニェリア ウニヴェルシター デリ
 ストゥーディ ローマ トレ
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチセル・トランスデューサー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

屈曲性プレートと、

複数の圧電ディスクであって、当該圧電ディスクは、前記屈曲性プレート上に平面アレイとして配置されて取り付けられ、前記圧電ディスクのそれぞれおよび屈曲性プレートが二重層ユニットを画定する、圧電ディスクと、

複数の孔を画定する複数のレールを有するレール層であって、当該レール層は、前記屈曲性プレートに取り付けられている、レール層と、

を備え、前記複数の圧電ディスクのそれぞれが、前記複数の孔のそれぞれの中で中央に配置されており、前記レールは、複数の二重層電気音響セルの壁を画定する

ことを特徴とするマルチセル電気音響トランスデューサー。

【請求項2】

各二重層ユニットの前記屈曲性プレートおよび圧電ディスクが同じ鉛直方向の高さを有することを特徴とする請求項1のトランスデューサー。

【請求項3】

前記屈曲性プレートが、炭素鋼、ステンレス鋼、アルミナ、シリコン、ガラスからなる群から選択されることを特徴とする請求項1のトランスデューサー。

【請求項4】

前記複数の圧電ディスクのそれぞれがPZTセラミックを含むことを特徴とする請求項1または2のトランスデューサー。

【請求項 5】

前記 P Z T セラミックが、P Z T 5 A および P Z T 5 H からなる P Z T セラミックス群 から選択されることを特徴とする請求項 4 のトランスデューサー。

【請求項 6】

前記 P Z T セラミックが、P Z T 4、P Z T 7 A、P Z T 8 からなる群から選択される P Z T セラミックス群 から選択されることを特徴とする請求項 4 のトランスデューサー。

【請求項 7】

前記屈曲性プレートに隣接した第 1 面側に整合層をさらに有する、請求項 1 ~ 6 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 8】

前記レーン層に隣接した第 2 面側にバッキング層をさらに有する、請求項 1 ~ 7 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 9】

前記複数の 二重層電気音響セル がそれぞれ同じサイズを有し、六角形、円形、正方形からなる群から選択された形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 10】

前記屈曲性プレートが中実の円形ディスク形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか一項のトランスデューサー。

【請求項 11】

前記屈曲性プレートが中央孔を有するドーナツ形ディスク形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか一項のトランスデューサー。

【請求項 12】

前記屈曲性プレートが約 80 mm の直径を有することを特徴とする請求項 10 または 11 のトランスデューサー。

【請求項 13】

前記屈曲性プレートが約 120 mm の直径を有することを特徴とする請求項 10 または 11 のトランスデューサー。

【請求項 14】

前記トランスデューサーが多周波トランスデューサーであることを特徴とする請求項 1 ~ 13 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 15】

a) 平坦な表面上に、複数の均等に離間配置された孔を有する真空保持ベースを配置すること、

b) 圧電ディスクのアレイを、当該圧電ディスクのそれぞれを互いに均等に離間配置するように、前記真空保持ベースの孔の上に位置合わせすること、

c) 前記真空保持ベースを介して真空を生成すること、

d) 第 1 面と第 2 面と直径を有するレーン層を、前記第 1 面が前記真空保持ベースに接触するように配置し、前記レーン層が前記圧電ディスクのアレイに対応するアレイ状の複数の孔を有し、前記レーン層の孔の直径が前記圧電ディスクの直径よりも大きく、前記レーン層が、前記複数のレーン層の孔に対応する複数のキャビティを画定する鉛直方向の高さを有すること、

e) 前記複数のキャビティに硬化性ポリマー充填材を充填すること、

f) 前記充填後のキャビティを平板ツールで覆うこと、

g) 前記硬化性ポリマーを硬化させること、

h) 前記真空を除去すること、

i) 前記真空保持ベースを取り外して第 1 のアセンブリーを形成すること、

j) 別途、プレートホルダーを用意し、第 1 面と第 2 面と前記レーン層の直径に等しい直径を有する屈曲性プレートを、当該プレートホルダー上に配置すること、

k) 前記屈曲性プレートの前記第 1 面に硬化性接着剤を塗布して、前記屈曲性プレート

10

20

30

40

50

の前記第 1 面を被覆して第 2 のアセンブリーを形成すること、

l) 前記第 1 のアセンブリーを、前記レーン層の前記第 1 面が前記屈曲プレートの前記第 1 面上の前記接着剤に接触するように、前記第 2 のアセンブリー上に配置すること、

m) 前記接着剤を硬化させること、

n) 前記平板ツールを取り外すこと、

o) 前記硬化後のポリマー充填材を除去すること、そして、

p) 前記プレートホルダーを取り外すこと

を有するマルチセル電気音響トランスデューサーを製造する方法。

【請求項 16】

前記位置合わせベースが複数の均等な大きさで均等に離間配置された孔を有する位置合わせツールを前記複数の真空保持ベース上に配置すること、および

前記生成するステップ後に前記位置合わせツールを取り外すこと

をさらに有し、

前記位置合わせするステップが、前記位置合わせツールを用いて前記真空保持ベース上の前記真空保持ベースの孔の上に前記圧電ディスクのアレイをセットすることを含み、前記圧電ディスクがそれぞれ対応する位置合わせツールの孔径よりもやや小さい直径を有することで前記圧電ディスクが前記対応する位置合わせツールの孔内に嵌まることを特徴とする請求項 15 の方法。

【請求項 17】

前記屈曲性プレートおよび前記複数の圧電ディスクに電線を取り付けることをさらに有する請求項 15 または 16 の方法。

【請求項 18】

前記屈曲性プレートの前記第 2 面に整合層を接着することをさらに有する請求項 17 の方法。

【請求項 19】

前記レーン層の前記第 2 面にバッキング層を接着することをさらに有する請求項 17 または 18 の方法。

【請求項 20】

前記屈曲性プレートが平坦な幾何学形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 21】

前記マルチセル電気音響トランスデューサーの各セルが独立に励起可能であることを特徴とする請求項 1 ~ 14 または 20 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 22】

前記マルチセル電気音響トランスデューサーの任意の数のセルが互いに連携して励起可能であることを特徴とする請求項 1 ~ 14 または 20 のいずれかのトランスデューサー。

【請求項 23】

前記屈曲性プレート及び圧電ディスクのそれぞれは、同程度のヤング率を有することを特徴とする請求項 1 ~ 14 または 20 ~ 22 のいずれかのトランスデューサー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[発明の分野]

本発明は、新規の電気音響トランスデューサーに関し、特に、マルチセル・トランスデューサー、そのマルチセル・トランスデューサーを含む超音波トランスミッター、および、その電気音響トランスデューサーを製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

[発明の背景]

電気音響トランスデューサーは、電気エネルギーを、音響領域（たとえば、音波領域ま

10

20

30

40

50

たは超音波領域)の周波数の機械的な振動に変換するが、それに加えて、または、それに代えて、そのような音波を受波して機械的なエネルギーを電気エネルギーに変換するものもある。そのような変換は、たとえば、圧電デバイスによって達成できる。圧電デバイスは、1枚ないし2枚の圧電層と、振動可能なフレックス層(通常、金属であるが、非金属材料であってもよい)とを備えた積層構造を有するものとすることができる。

【0003】

音響トランスミッターの効率は、放射とデバイスの機械的変換効率の関数であり、トランスデューサーを1つ有する単一素子トランスミッターは、機械的変換率が高いときでも、全体効率が低くなることがある。トランスデューサーをいくつかあわせてアレイにすることで、単一素子トランスミッターの弱みの一部(利用可能な音響パワーが集中してビームになることでソースレベルの上昇を来すことを含む)を克服可能である。Decarpigny, J.N. et al., "The design of low-frequency underwater acoustic projectors: Present status and future trends," IEEE J. Oceanic Eng., vol. 16, no. 1, pp. 107-122, January, 1991; Wilson, O.B., "Introduction to Theory and Design of Sonar Transducers", at 159, Peninsula Publishing, Los Altos, CA, 1988.参照。また、アレイは、SN比と感度の向上をもたらすかもしれない。所与の音響信号に対して、アレイは、ユニットが直列接続されている場合は高い電圧を生成可能であり、ユニットが並列接続されている場合は高い電流を生成可能である。Abbott, W.L., "Performance testing of sonar transducers", Sound and Vibration, vol. 19, no. 12, p. 8, 1985.参照。しかしながら、稠密に集積させたアレイの個々の素子間の相互作用が、各トランスデューサー素子に、そのアレイ中の位置により、異なる音響負荷を与えることになりかねず、アレイ中の各素子の体積速度をばらつかせる可能性がある。Sherman, C.H., "Analysis of acoustic interactions in transducer arrays," IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, SU-13, no. 1, p. 9-15, 1966.参照。これによって、各アレイ素子の体積強度に大幅なばらつきを生ずる可能性がある。したがって、トランスデューサーアレイが提供するパワーとSN比の向上にもかかわらず、アレイの素子間の相互作用が、実際には音響出力パワーを低下させてしまう可能性があり、極端な場合、アレイの個々の素子が負の放射抵抗を持ち、実際に音響パワーを吸収してしまうかもしれない。このような相互作用は、トランスデューサー素子が放射場の波長に比べて小さいとき、およびそれらが高い効率をもつとき、特に問題となる可能性がある。

【0004】

電気音響トランスデューサーは、スピーカーやマイクロフォンや超音波トランスミッターに用いることができる。医療機器分野においては、そのようなトランスデューサーは、植込型共振センサー(たとえば、Girmonskyの米国特許第7,134,341号、Kaplanの米国特許第5,619,997号、およびKaplanの米国特許第5,989,190号に記載されているような受動共振超音波励起センサー)とともに用いることができる。このようなシステムにおいて、電気音響トランスデューサーは、超音波を植込型センサーへの入力として生成し、センサーにより検出された測定量の情報を表す超音波信号を植込型センサーから受信可能で、その信号をユーザー可読形式に処理するために電気信号に変換する外部ユニットである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

市販されている電気音響トランスデューサーを備えた超音波放射デバイスは、一般に、大きくてかさばり、送波感度と帯域幅が植込型センサーに最適な態様で使用するのに充分ではない。高い送波感度と広い帯域幅は、外部ユニットと植込型センサーとの間の通信をより正確かつ効率的にするものなので、望ましい特性である。そのような適用分野においては、トランスデューサーは人体に取り付けられたり着用されたりすることがあるので、薄型、軽量等、他の物理的特性も、望ましい特性である。したがって、そのような物理的特性を備えた電気音響トランスデューサーに対する技術的ニーズが存在する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

[発明の概要]

本発明は、電気音響トランスデューサーデバイスおよび製造方法に関する。本発明の電気音響トランスデューサーデバイスは、実質的に平面状のパネルレイに配置された複数の電気音響セルを備える音響トランスミッターである。デバイスの各トランスデューサーコンポーネントは、能動素子と不活性ベースとを備える「二重層 (bilayer)」を含むセルである。能動素子は、好ましくは、圧電ディスクである。不活性ベースは、屈曲性プレートであり、好ましくは導電性で、一方の面を金属被覆したものでよい。特に、本発明のトランスデューサーデバイスの各セルは、屈曲性プレートに取り付けられ、電線に接続された圧電ディスクを含み、圧電二重層ユニットを形成するものであってもよい。

10

【0007】

レール層は、複数の孔を形成する材料の層を備え、その位置と形状と直径は、セルに対応する。レール層の高さは、セルキャビティの深さを規定する。レールは、本明細書では、壁とも呼ばれ、隣接するセルの間を仕切る。

【0008】

本発明のトランスデューサーデバイスは、超音波が送波される身体または環境に対面する第1面（これをデバイスの「前」とも呼んでもよい）を有する。第1面は、オプションとして、整合層を含み、整合層は、たとえば身体と接触する面を有する。トランスデューサーデバイスは、第2面を有する。第2面は、一部の実施形態においては、レール層に取り付けられるバッキング層を有する。バッキング層は、機械的な支持とプレートの拘束を提供することができる。理論に縛られずにいえば、バッキング層の質量は、トランスデューサーの裏側に向かって放射されるエネルギーの吸収を促進するかもしれない。裏側に放出される放射エネルギーを低減することで、超音波エネルギーが指向性を持つものであることが意図され、デバイスの前に向かうので、より効率的なデバイスとなる。バッキング層の質量は、デバイスの前に向かって伝送される圧力応答の周波数帯域を大きくするのに役立つかもしれない。

20

【0009】

トランスデューサーデバイスの材料および設計によって、音響トランスミッターは、可聴周波数の広い帯域にわたり高い送波感度を達成することができるとともに、同じ表面積をもつ従来型電気音響トランスデューサーよりも、薄型かつ軽量に維持することができるというメリットがある。

30

【0010】

トランスデューサーデバイスは、適用範囲が広い。電気音響トランスデューサーデバイスは、比較的小さく、平面剛性が低いので、超音波が身体内に効果的に伝送されるようにするため、皮膚に密着させることが望ましい場合に特に有用である。医療診断デバイスのような用途に加え、本発明のトランスデューサーデバイスは、民生用もしくは軍事用のアンダーウェアへの応用がありうる。たとえば、合成開口ソナー (SAR) 水中ナビゲーションや、音響測深や、海洋マッピングや、水中通信などである。

【0011】

本発明のトランスデューサーの非限定的例示的な一つの応用例に、植込型超音波センサー、特に、超音波励起受動共振センサーがある。そのような超音波励起受動共振センサーは、膜などの共振素子を含み、直接電気入力なしで動作する。植込型センサーの共振素子は、身体の外側からの超音波エネルギーにより励振され、測定環境の生理的変数の関数として変動する周波数で共振し、超音波信号を返す。この超音波信号から共振周波数が算出可能である。本発明が適用可能な超音波励起受動共振センサーの例としては、Kaplanの米国特許第5,619,997号、第5,989,190号、第6,083,165号、第6,331,163号、7,415,883号、第8,162,839号や、Girmonsky et al.の米国特許第7,134,341号が挙げられる（これらの文献は、ここにその全体を引用により補充するものとする）。そのセンサーの作動周波数の帯域全体を通じて高

40

50

い送波感度で動作可能なので、本発明の電気音響トランスデューサーデバイスは、植込型超音波励起受動共振センサーに問い合わせしてデータを取得するのに特に適している。

【0012】

本願の音響トランスミッターは、電気信号から遠隔配置された（たとえば植込まれた）共振センサーと通信する超音波（たとえば振動膜などのセンサーの共振素子を励起超音波ビームで励起するための低周波超音波信号を含む）を生成するために使用可能である。また、トランスデューサーデバイスは、高周波搬送波のセンサーへの送波、および/または、センサーからの超音波信号（たとえば、反射信号または被変調信号）の受信とセンサー出力読み取りのための電気信号への変換も可能である。音響デバイスは、広帯域音場を有するものであっても、狭帯域音場を有するものであってもよい。トランスデューサーを、広帯域音場を有するものとして設計すれば、広域の超音波励起が可能となる。たとえば、ドップラー偏移法を用いて、共振するものと共振しないものとを区別し、超音波励起共振センサーの共振周波数を測定するような場合（たとえば、Girmonskyの米国特許第7, 134, 341号に詳述されている）に望ましい。特定の方向に励起場を操作したい場合には、トランスデューサーを、低域音場を有するものとして設計することが有用である。

10

【0013】

したがって、本発明は、薄型だが、高い感度と広い周波数帯域と広い音場とを備えた、軽量の電気音響トランスデューサーを提供することを目的とする。

【0014】

また、トランスデューサーは、励起場を、より集束させることで、より操作可能となるよう設計してもよい。したがって、薄型で、高い感度と広い周波数帯域と狭い音場とを備えた、軽量の電気音響トランスデューサーを提供することも本発明の目的である。

20

【0015】

また、複数の動作範囲を有する多素子トランスデューサー、特に、多周波数トランスデューサーを提供することも本発明の目的である。異なる周波数範囲は、独立に、もしくは、同時に作動させることができる。

【0016】

また、本発明は、屈曲性プレートのアセンブリと、それとは別の複数のセルのための圧電ディスクのアセンブリとを作成してから、両アセンブリを一つに結合させることを含む電気音響トランスデューサーの製造方法に関するものでもある。

30

【0017】

薄型で、高い感度と広い音場を備えた電気音響トランスデューサーを製造する方法を提供することも、本発明の別の目的である。

【0018】

薄型で、高い感度と狭い音場を備えた電気音響トランスデューサーを製造する方法を提供することも、本発明のさらに別の目的である。

【0019】

本発明によるセルの平面アレイの集積効果は、トランスデューサーデバイスに、単一セルのトランスデューサーに比べ、広い帯域にわたって動作し、感度が高いという利点を提供する。このトランスデューサーの構成は、プロトタイプに対して比較的安価なフレキシブルな設計を有する薄型で軽量のデバイスを提供するものでもある。本発明のトランスデューサーは、適切な、場の強度（field strength）と場の振幅（field width）と周波数（もしくは、様々な用途に対応する周波数の組み合わせ）とを提供するよう設計することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0020】

本発明は、次の図面を参照して以下に記載する詳細な説明から、より完全に理解されるだろう。

【0021】

【図1】図1A～1Cは、本発明によるマルチセル化したトランスデューサーの実施形態

50

の各層を、上から見た斜視図で示す。

【図 2 A】図 2 A は、本発明による 1 つの圧電セルを断面図で示す模式図である。

【図 2 B】図 2 B は、本発明による他の圧電セルを断面図で示す模式図である。

【図 2 C】図 2 C は、本発明による他の圧電セルを断面図で示す模式図である。

【図 3】図 3 は、本発明による 2 つの隣接した圧電セルを本発明にしたがって断面図で示す模式図である。

【図 4】図 4 は、単一の圧電セルの送波感度を、様々な P Z T 材料に対する周波数の関数として示す。

【図 5】図 5 は、単一の圧電セルの送波感度を、ディスク対プレートの直径比の関数として示す。

【図 6 A】図 6 A は、単一の圧電セルの送波感度を、ピッチの関数として示す。

【図 6 B】図 6 B は、単一の圧電セルのピッチと送波感度との相関を示す。

【図 7】本発明によるマルチセル・トランスデューサーのセルレイアウトデザインの実施形態である中実ディスクを示す。

【図 8】図 8 A および 8 B は、本発明によるマルチセル・トランスデューサーのセルレイアウトデザインの実施形態として、中央に穴（開口）を有するディスクを示すものであり、図 8 B の実施形態は、図 8 A の実施形態より、ディスクの径が大きく、したがって、セル数が多い。

【図 9】図 9 は、電気音響デザインの図 7 に示すような実施形態の、異なる周波数でのビームパターンを示す。

【図 10】図 10 は、電気音響デザインの図 8 A に示すような実施形態の、異なる周波数でのビームパターンを示す。

【図 11】図 11 は、電気音響デザインの図 8 B に示すような他の実施形態の、異なる周波数でのビームパターンを示す。

【図 12】図 12 は、本発明によるトランスデューサーデバイスに使用される真鍮製の背の高いレールを有するセルの実施形態に対する送波感度チャートである。

【図 13 A】図 13 A は、本発明によるトランスデューサーデバイスに使用されるレール層よりも厚いバッキング層を有するセルの実施形態であって、レール層とバッキング層とが、ともに同じ材料すなわち真鍮からなる実施形態に対する送波感度チャートである。

【図 13 B】図 13 B は、本発明によるトランスデューサーデバイスに使用されるレール層よりも厚いバッキング層を有するセルの実施形態であって、レール層とバッキング層とが、異なる材料すなわち真鍮とタングステン - エポキシとからなる実施形態に対する送波感度チャートである。

【図 13 C】図 13 C は、本発明によるトランスデューサーデバイスに使用されるレール層よりも厚いバッキング層を有するセルの実施形態であって、レール層とバッキング層とが、ともに同じ材料すなわちタングステン - エポキシからなる実施形態に対する送波感度チャートである。

【図 13 D】図 13 D は、本発明によるトランスデューサーデバイスに使用されるレール層よりも厚いバッキング層を有するセルの実施形態であって、レール層とバッキング層とが、異なる材料すなわちタングステン - エポキシ複合材料と真鍮複合材料とからなる実施形態に対する送波感度チャートである。

【図 14】図 14 A ~ P は、本発明によるマルチセル・トランスデューサーの製造方法の実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【0022】

[発明の詳細な説明]

本発明は、マルチセル電気音響トランスデューサーおよびそのようなトランスデューサーの製造方法を提供する。本発明の電気音響トランスデューサーデバイスは、実質的に平坦で、一平面内に複数のセルを有する。トランスデューサーコンポーネントは、セルを有し、各セルは、二重層ユニットを有するものであってもよい。具体的に、圧電ディスクの

10

20

30

40

50

アレイを、屈曲性プレートに取り付け、平面内にタイリングして二重層ユニット（セル）のマトリックスを提供してもよい。圧電ディスクへの電気入力、電線を通じて供給される。電気音響セルは、電気信号を超音波音響信号に変換するが、この信号は、デバイスの設計のため、エネルギーロスを最小限に抑えつつ指向性をもって送信することができる。複数のセルの集積効果を通じて、トランスデューサーデバイスは、広帯域をカバーする高い送波感度を達成し、広い音場を提供することができる。また、アレイは、指向性を強化することで音響パワーの集束ビームを可能にするデザインとすることもできる。

【 0 0 2 3 】

本発明のマルチセル・トランスデューサーのための二重層トランスデューサーコンポーネントの平面アレイを用いる利点としては、高い感度、個々の用途に対する広帯域で薄型で軽量で低価格なプロトタイピングの可能性、そして、柔軟性のあるトランスデューサーのデザインが挙げられる。本発明の有利な広帯域のおかげで、広域の周波数をカバーする効率的な音響伝送を提供する伝送振幅応答が提供される。

10

【 0 0 2 4 】

特に、本発明のトランスデューサーの二重層トランスデューサーコンポーネントは、不活性ベースおよび圧電素子を有するものとしてもよい。二重層アレイは、複数の孔を画定するレールを有するレール層によって複数のセルに分割され、各孔は、セルキャビティを画定する。本明細書において、レールは壁ともいう。各セルは、それぞれの直径が、レールによって規定され、各セルが、独立して作動するが、複数のセルは、並行して駆動されるようにしてもよい。また、レール層は、鉛直方向の高さを有し、トランスデューサーコンポーネント二重層からの音響エネルギーの直接伝送を助けるものとしてもよい。

20

【 0 0 2 5 】

本発明のマルチセル・トランスデューサーの圧電セルは、何らかの回転対称形状（セルの中心により規定される軸線に沿って対称）を有するものであってもよい。一実施形態において、セルは同一の形状と大きさを有する。一実施形態において、セルは円形である。他の実施形態において、セルは六角形である。さらに他の実施形態においては、セルは正方形である。各セルのレール間の直径は、所望の周波数を得るための寸法を有するものとしてすることができる。一部の実施形態においては、各セルの直径は、約 4 ~ 10 mm の間、たとえば、6 mm または 7 mm、とすることができる。セルは、任意のセルの中心から任意の隣接するセルの中心までの距離が等しくなるように、タイリングしてもよい（たとえば、六角形のタイリング）。一実施形態において、セルの分布は、トランスデューサーディスク上の複数のセルの最大集積密度となるようなもの、すなわち、セル間の距離が最小となるものであってもよい。ピッチ（隣接するセルの中心間の距離）を小さくするためにレールの幅を最小化することで、所与の直径を有するトランスデューサーデバイスに対する作動周波数の帯域を大きくすることができる。セルが六角形の場合、各レールは、等しい幅を有するものであってもよい。したがって、理論に縛られずにいえば、本発明のトランスデューサーは、単位面積当たりのパワーもしくはパワー密度が所望の値となるセル密度を有するよう設計することができる。

30

【 0 0 2 6 】

トランスデューサーデバイスは、さらに、アレイの第 1 の側に整合層を、アレイの第 2 の側にバッキング層を有するものとしてもよい。

40

【 0 0 2 7 】

トランスデューサーデバイスは、好ましくは、整合層を有する。整合層は、トランスデューサーデバイスの第 1 の側 - 特に、トランスデューサーの「表」側（超音波がデバイスから出射され環境から入射する側） - に配置され、一方で、バッキング層は、トランスデューサーデバイスの第 2 の側に配置される。整合層は、超音波に対し透明であり、好ましくは、音波が環境と整合層と屈曲性プレートとの間の界面を横切るときの音響インピーダンスの不整合を最小化する材料から構成される。換言すれば、音波の反射または屈折を最小化し、同時に、強度（たとえば、音響エネルギー、音波の周波数）への悪影響を最小化するために、整合層の音響インピーダンスは、環境および屈曲性プレートとほぼ同等でな

50

ければならない。トランスデューサーデバイスが、植込型センサーとともに、たとえば、センサーを励起するため（そして、任意選択的に、センサーから信号を受信するため、あるいは、センサーの位置を特定するため）の外付け部品として用いられる場合、整合層の材料は、身体の軟組織とほぼ同じ音響インピーダンスを有するものとするのが望ましい。したがって、たとえば、この用途では、整合層は、水、組織、または血液、のうちの一つ以上にほぼ同等の、たとえば、 $1.5 \sim 1.54 \text{ MRayls}$ の範囲の、音響インピーダンスを有するものとするができる。トランスデューサーを使用する環境の音響インピーダンスの決定は、当業者の技能の範疇にある。医療診断用途において、整合層は、皮膚に直接接触してもよい。したがって、整合層は、軟質高分子材料を含むものとしてもよく、それが接触する身体表面と生体適合性を有するものとしてもよい。

10

【0028】

バック層は、キャビティを有効に封止して閉じたセルを形成するために、ルール層に - デバイスの第2の側に - 取り付けられてもよい。バック層を有するものとする利点は、効率が低く、デバイスの帯域幅を変えるかもしれない、デバイスの裏側からの - 意図する方向とは逆方向からの - 音響エネルギー伝送を制限することである。バック層の適切な材料は、使用される音響エネルギーの周波数およびトランスデューサーの全体構造にある程度は依存する。

【0029】

トランスデューサーは、低周波数の超音波を、もしくは、医療用途以外の場合、音波を、生成および受波するよう設計してもよい。低周波数波は、たとえば、約 $30 \sim 200 \text{ kHz}$ 、約 $20 \sim 160 \text{ kHz}$ 、約 $30 \sim 100 \text{ kHz}$ 、約 $50 \sim 100 \text{ kHz}$ または約 $20 \sim 80 \text{ kHz}$ の範囲とすることができ、あるいは、 10 kHz まで下げた周波数ないし個々の用途が要求する程度まで低くした周波数を含むものでもよい。

20

【0030】

本発明のマルチセル設計は、同じ表面積の従来型電気音響トランスデューサーよりも、実現される送波感度が高いことが分かっている。たとえば、マルチセル設計は、約 $30 \sim 200 \text{ kHz}$ の周波数範囲内で使用されるとき、特に、受動的に超音波励起可能な共振センサーと一緒に使用するのに適している。

【0031】

本発明の装置/方法について、添付の図面を参照して、以下に検討し説明する。図面は、本発明の代表例の理解として、かつ、本発明の個別の諸実施形態を模式的に例示するために提供されていることに留意されたい。当業者であれば、他のほぼ同等の例が等しく本発明の範囲に含まれるものであることを認識するであろう。図面は、添付の特許請求の範囲において定義された本発明の範囲を限定することを意図するものではない。

30

【0032】

図1A~1Cに示すように、下から見た斜視図において、トランスデューサーデバイスは、その必須要素として、屈曲性プレート11と、当該屈曲性プレート11上に平面アレイとして配置された複数の圧電素子、圧電ディスク12a~12cと、ルール層13とを備える。二重層素子のアレイ - 不活性な屈曲性プレートに結合された能動圧電ディスク12a~12c - は、デバイスのトランスデューサーコンポーネントを有する。

40

【0033】

図1Aに示すように、屈曲性プレート11は、トランスデューサーの全領域に広がっている。特に、図1Aに示す屈曲性プレート11は、圧電ディスク12a~12cのアレイが取り付けられている不活性ベースである。図1B。

【0034】

一般に、二重層20の不活性な屈曲性プレート11, 111および圧電ディスク12, 112の層120(図2)は、ほぼ同等の機械的特性を有するだけでなく、ほぼ同等の厚み(鉛直方向の高さ)を有するものでもある。したがって、たとえば、 0.2 mm の圧電ディスクを、 0.2 mm の屈曲性プレートとペアにしてもよい。ここで使用しているように、「高い」もしくは「鉛直方向の高さ」という用語は、「厚い」もしくは「厚さ/厚み

50

」と交換可能に用いられる。一実施形態において、屈曲性プレート11, 111および圧電ディスク12, 112の機械的特性は、トランスデューサーデバイスの屈曲変形中において界面での低い応力を実現するために屈曲性プレートおよび圧電ディスクの材料のヤング率が同程度の大きさであるという点で、ほぼ同等である。ヤング率の差は、2層の厚み（本明細書では、鉛直方向高さともいう）に操作を加えることによって、補償可能である。たとえば、屈曲性プレートがステンレス鋼で形成され、圧電ディスクがPZT-5Hで形成されるとすると、ヤング率は、それぞれ、190GPa、61GPaである。完全に均衡の取れた構造をもつようにするために、一実施形態において、各二重層の屈曲性プレートと圧電ディスクは、ほぼ同等の機械的特性と鉛直方向の高さをもつ。たとえば、屈曲性プレートは、140 μ mまたはそれに近い厚みで形成してもよく、圧電ディスクは、200 μ mに等しいまたはそれに近い厚みで形成してもよい。この実施形態において、屈曲性プレートおよび圧電ディスクは、ともに、全く同じ（identical）ヤング率を有する。屈曲性プレートおよび圧電ディスクは、一ないし複数の機械的特性において全く同じ特性を有するものであってもよい。他の実施形態において、屈曲性プレートおよび圧電ディスクとともに、200 μ mという全く同じ厚み（すなわち鉛直方向高さ）で形成してもよい。屈曲性プレートおよび圧電ディスクは、ヤング率が1対4の比に保たれるのであれば、屈曲性プレートおよび圧電ディスクを複数の代替寸法で形成することができると想定される。ここで用いているほぼ同等（similar）という用語は、ヤング率が1対4の比に保たれる限りにおいて、屈曲性プレートおよび圧電ディスクの任意の寸法を包含する。

10

20

【0035】

屈曲性プレート11は、導電性プレート（たとえば、少なくとも一方の側を金属被覆したものであってもよく、圧電材料と関連して一般に用いられている任意の材料から製造することができる。屈曲性プレートの材料を選択するにあたり以下の基準を考慮すべきである：導電性、圧電材料への接着性能、厚み調整、コスト、入手しやすさ。したがって、たとえば、屈曲性プレート材料は、圧電ディスクの材料に（たとえば、圧電ディスクが二重層に用いられる場合、セラミックスに）確実に接着可能でなければならない。また、正確な厚みの調整を可能にする材料が好ましい。本発明による屈曲性プレートに有用な例示的・非制限的材料としては、炭素鋼（たとえば、グレード1.1274炭素鋼）、ステンレス鋼（たとえば、グレード1.4310ステンレス鋼）、アルミナ（たとえば、金属被覆したアルミナ）、ガラス（たとえば、金属被覆したガラス）、シリコンが挙げられる。

30

【0036】

圧電ディスク12は、その圧電効果のために一般に用いられる任意の材料から製造することができる。圧電ディスクの材料を選択するにあたり以下の基準を考慮すべきである：機械的特性（たとえば、高い圧電定数 d_{31} 、低い機械損失、低い電気損失）、電氣的特性（たとえば、導電性）、形状およびサイズ、技術的信頼性、コスト、入手しやすさ。圧電ディスクの非制限的・例示的材料としては、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）が挙げられ、たとえば、PZT5AやPZT5Hなどの軟質PZT材料、および、PZT4、PZT7A、PZT8などの硬質PZT材料が、たとえば、エンジニアリング・ファンダメンタルズ社（Engineering Fundamentals, Inc.）ウェブサイト www.efunda.com に記載されており、PZT5Hは、たとえば、Heinonen, E., Juuti, J., and Leppavuori, S. Characterization and modelling of 3D piezoelectric ceramic structures with ATILA software. Journal of European Ceramic Society, 25, 2467-2470 (2005)に記載されている。このような材料は、たとえば、ボストン・ピエゾ・オプティクス社（Boston Piezo Optics Inc.；米国マサチューセッツ州ベリングハム）から入手可能であり、材料特性が、そのウェブサイト <http://bostonpiezooptics.com/ceramic-materials-pzt> に記載されている。また、Bar - Chaim, N., M. Brunstein, J. Grünberg, and A. Seidman, "Electric field dependence of the dielectric constant of PZT ferroelectric ceramics," J. Appl. Phys. 45, 2398 (1974); D. Berlincourt and H. H. A. Krueger, (revised by C. Near), PROPERTIES OF MORGAN ELECTRO CERAMIC CERAMICS, Technical Publication TP-226, Morgan Electro Ceramics (<http://www.morganelectroceramics.com/resources/technical-publications/>より入手可能)；Berlincourt, D., "Recent Developments in Ferroelectric Transducer Materials," Transactions of the IRE Professional Group on Ultrasonic Engineering, Vol. 4, Issue: 1, pp. 53-65, Aug. 1956; Berlincourt, D.; B. Jaffe, H. Jaffe, H.H.A. Krueger, "Transducer Properties of Lead Titanate Zirconate Ceramics," IRE Transactions on Ultrasonic Engineering, Volume: 7, Issue: 1, pp. 1-6, Feb. 1960; Jaffe, H., D.A. Berlincourt, "Piezoelectric transducer materials," Proceedings of the IEEE, Volume: 53, Issue 10, pp. 1372-1386, Oct. 1965; Lamberti, N., M. Pappalardo, "A general approximated two-dimensional model for piezoelectric array elements," IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 42, Issue: 2, pp. 243-252, Mar. 1995も参照されたい。

40

【0037】

ルール層13は、屈曲性プレート11に取り付けられ、図1Cに示したマルチセル・トランスデューサーの複数のセルに対応する複数の孔を備えている。ルール層13の孔周りの材料が、セルの間にルールすなわち壁を形成し、それによって、二重層電気音響セルの

50

境界を画定する。最も効率的な実施形態において、孔は、全く同じサイズで、均等間隔に配置されている。図2および3により詳しく示されているように、各孔は、屈曲性プレート111およびレール113により境界を区切られたキャビティ115a, 115bを画定し、レールはセル10, 10a, 10bの壁を画定する。各圧電ディスク12a~12cは、屈曲性プレート11に取り付けられており(図1B)、レール層13の孔内の、すなわち、各キャビティ内の中央に配置されている(図1C)。各圧電ディスク12a~12c, 112, 112a, 112bは、図2および3に示すように、それを収容しているセル10, 10a, 10bの境界と形状は同じだが直径が小さいものであってもよい。電線が接続されると、圧電ユニット-セル-は、電気信号を超音波に、そして超音波を電気信号に変換することができる。

10

【0038】

圧電素子は、屈曲性プレートを作動させ、屈曲させる。一実施形態において、圧電ディスクは、電話の受話器およびブザーに使用されるものとはほぼ同等の圧電プレートであってもよい。現在の技術では、そのような圧電プレートの製造は、約0.1mmの厚さにすることができる。複合二重層プレートの全体の厚みは、約0.2mm程度とすることができる。したがって、複合プレートは、電圧が印加されるときに、大きなひずみと低い曲げ剛性を有するものであってもよい。屈曲性プレートの存在が、AC電流を通電させたときに、圧電セラミックがラジアル方向に振動するのを防ぐ。それによって生成される非対称力は、二重層プレートに伝わりそれを屈曲させる。

20

【0039】

理論に縛られずにいえば、セルの屈曲性プレートの共振周波数の第1の近似値が、下式により与えられる。

【0040】

$$f = \frac{2 \cdot \lambda^2}{\pi \cdot d_c^2} \cdot \sqrt{\frac{\bar{E} \cdot r^3}{12 \cdot (1 - \bar{\nu}^2) \cdot \bar{\rho}}} = \frac{2 \cdot \lambda^2}{\pi \cdot d_c^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{\bar{\rho}}}$$

【0041】

ここで、 \bar{E} は、厚み(鉛直方向の高さ)、 d_c は二重層の直径、 \bar{E} はヤング率、 $\bar{\nu}$ はポアソン比、 $\bar{\rho}$ は重量対表面比である。オーバーラインを付して示した量は、圧電ディスクと屈曲性プレートの量の間の平均値である。定数 λ^2 は、共振モードと圧電ディスクを屈曲性プレートに取り付けるのに用いる接着剤の種類に依存する。Caliano, G., A. Iula, N. Lamberti, M. Pappalardo, "A Piezoelectric Bimorph Static Pressure Sensor," Sensors & Actuators A, 46-47, pp. 176-178 (1995) 参照。第1の屈曲モードにおいて、 λ^2 は、境界上で支持されているプレートに対する約4.9から、クランプされているプレートに対する約10.2まで変動し得る。

30

【0042】

一実施形態において、マルチ素子トランスデューサーの素子は、動作範囲が異なってもよく、それぞれ別々のケーブルおよび電子機器により動作されるものであってもよい。このような構成にすれば、各共振周波数範囲のセルを独立に動作させることも互いに関連付けて動作させることもできるようなマルチ周波数トランスデューサーとなる。この実施形態は、たとえば、2つの周波数(たとえば励起には低い周波数、ドップラー問い合わせには高い周波数)が不可欠な音響振動測定のような特定の用途には有利となるかもしれない。2つの別の周波数範囲を同じソースから媒体を同軸伝播するように操作することができるので、問い合わせがなされている環境の体積が励起されている環境の体積の上に最適に配置されることが保証される。

40

【0043】

このマルチ周波数-マルチトランスデューサーの実施形態において、セルのグループは、異なる周波数で振動するよう設計されていてもよい。一部の用途に対しては、同じ周波数範囲をもつセルを、異なる周波数範囲をもつセルの間で、トランスデューサーの隅々まで均等に分布させてもよい。他の用途に対しては、同じ動作周波数範囲をもつセルを、ト

50

ランスデューサーの特定のエリア群にまとまるように配置してもよい。

【0044】

図2Aに、本発明のランスデューサーデバイスの実施形態の一つのセル10の断面図を模式的に示す。この実施形態においては、セル10は、屈曲性プレート111および圧電ディスク112の二重層120と、セルの境界を画定するレール113と、レール113、屈曲性プレート111、バッキング層114の各層間に画定されたキャビティ115を閉鎖するバッキング層114とを備える。

【0045】

図2Bに、背の高いレール層を備え、バッキング層を備えない実施形態のセル10を模式的に示す。

【0046】

図2Cに、レール層とバッキング層が同じ材料でつくられているセル10を模式的に示す。

【0047】

図3に、本発明のランスデューサーデバイスの実施形態の2つの隣接するセルの境界をレール113a, 113b, 113cがどのように画定されるかを断面図で模式的に示す。この実施形態は、図2Aに示した形態と同様、屈曲性プレート111と、圧電ディスク112a, 112bと、各セルのキャビティ115aおよび115bを閉鎖するバッキング層114とを備える。また、図3には、各圧電ディスク112a, 112bの直径がそれを収容するセル10a, 10bの直径より小さいことが示されている。

【0048】

この実施形態において、圧電ディスク12aおよび12bは、全く同じで、それぞれ直径が d_1 である。セル10aおよび10bの、そして、レール13a, 13b, 13c間の屈曲性プレートの直径は、 d_2 である。 $d_1 : d_2$ の比(ディスク:プレート)は、0.5から1の範囲とすることができる。 d_1 がたとえば5mmの場合、 d_2 は、6mmとすることができる。そのような $d_1 : d_2$ の比が5:6(すなわち0.83)のセルは、図5に示すように約85%という高い送波感度を達成した。レールの幅(d_3)は、セル10aの中心から隣接するセル10bの中心までの距離として測定されるセル間距離(d_4)に影響を与える。したがって、レール層を d_3 が小さくなるように設計すれば、セルの平面アレイにおける d_4 を小さくすることができる。一実施形態において、たとえば、 d_3 は1mmでよい。

【0049】

図4に示すように、本発明の圧電ディスクに対して評価したさまざまな材料(PZT4, PZT5A, PZT5H, PZT7A, PZT8)のうちで、単一セルの実施形態については、PZT5Hが、最も高い d_{31} (横圧電係数、圧電ひずみとも呼ばれる)を示した。図4のデータおよび本明細書で提示している他のデータを生成するためのランスデューサーセルの諸実施形態として、グレード1.1274炭素鋼から製造される屈曲性プレート(たとえば、ドイツ、ベルナウのHasberg Schneider GmbH社から入手可能)を含む二重層を備えたものを使用した。

【0050】

図5、6A、6B、9~11、12、13A~Dのデータを生成するためのランスデューサーの諸実施形態として、PZT5Hから製造された圧電セラミックおよびグレード1.1274炭素鋼から製造された屈曲性プレートを備えたものを使用した。

【0051】

上述のように、圧電ディスクは、直径(d_1)が、プレートが収容されるセルの直径(d_2)よりも小さいものとするることができる。セル、またはプレート、の直径(d_2)は、図5に示されている本発明による単一セルに対して $d_1 : d_2$ の比の範囲に対して得られた送波感度の二重層ユニットに対する屈曲性プレートの領域の直径である。PZT5Hから製造された圧電ディスクプレートを有する実施形態において、 $d_1 : d_2$ の比が5:

10

20

30

40

50

6 のとき、約 160 kHz 以下の良好な音響周波数が提供された。

【0052】

隣接するセルの中心の間の距離（セル間距離）を、「ピッチ」と呼ぶ。ピッチの範囲に対する送波感度を、単一のセルに対して評価した結果を、図 6 A に示す。図 6 B に示すように、周波数帯域幅およびピッチ値は、反比例している。円形のセルを六角形のタイリングパターンに配置することができる。代替的に、六角形のセル形状を採用してもよい。円形または六角形のセル形状は、たとえば正方形よりも、セル間の隙間を詰めることができる。80 mm 直径のディスクは、120 ~ 150 個の六角形または円形のセルを有することができる。円形セルを六角形アレイに配置した一実施形態において、7 mm のピッチが 85 % の比帯域幅を提供可能であると判定された。セルの形状を考慮に入れて、できるだけ 100 % に近い比帯域幅を達成するために、他のピッチを採用してもよい。ピッチ値を小さくすれば、帯域幅の向上が見込めるが、セル数が多くなってしまい、より多くの圧電材料が必要になって、コスト高を招くだろう。

10

【0053】

本発明のトランスデューサーは、特定の直径や形状またはその組み合わせに限定されないもので、音響パワーおよび周波数範囲の最適な組み合わせを得ることができるという点で有利である。したがって、たとえば、トランスデューサーを、用途により、たとえば組織内に特定の深さまで貫入し、特定のフィールド幅をもち、特定の作動周波数範囲を有するよう設計することができる。

【0054】

トランスデューサーは、任意の平面形状をもつものであってよいが、ほぼ丸すなわち円形のディスクが、セルの効率的なタイリングを実現するものであることが分かっている。ディスクは、図 7 に示すような中実のものであってよく、あるいは、図 8 A および 8 B に示すように、ドーナツの穴のような中央孔を有するものであってよい。複合ディスクの直径の非限定的な例としては、約 30 ~ 90 mm、約 50 ~ 100 mm、約 60 ~ 90 mm、たとえば、直径 80 mm や直径 92 mm、とすることができる。中央孔は、約 10 ~ 30 mm、たとえば、25 mm の直径を有するものとする。ディスクの厚みは、約 5 ~ 40 mm、たとえば、レーン層とバックリング層と整合層とを含み 15 mm 厚とすることができる。バックリング層を除き、ディスクの厚みは、約 1.5 ~ 40 mm とすることができる。二重層は、0.2 ~ 1 mm、たとえば、0.4 mm の厚みを有するもの

20

30

【0055】

本発明によるセルアレイのプロトタイプに対する電気インピーダンスおよび放射圧力場を評価するために、2つのモデリング法を採用することができる。たとえば、有限要素法（FEM）を用いて、インパルス応答、すなわち、電圧インパルス励起に対するトランスデューサーの時間領域加速応答、を評価してもよい。FIELD II モデル（http://field-ii.dk/?./downloading_7_12.html参照。また、J. A. Jensen. "Field: A program for simulating ultrasound systems." Med. Biol. Eng. Comp., 10th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Imaging, Vol. 4, Supplement 1, Part 1:351-353, 1996bも参照されたい。）によれば、正弦波や持続波やパルス波のための媒体中に、有限サイズの任意の形状のトランスデューサーによって生成する放射圧力場の算出が可能である。

40

【0056】

一実施形態において、本発明による低周波電気音響トランスデューサーは、100%に近い6 dBの比帯域幅と、対象となる長さ約160 mm、直径約40 mmの円筒形容積の中で、所望の周波数範囲（たとえば、30 ~ 100 kHz）内で、数十ボルトの大きさ（amplitude）の駆動信号を用いて100 kPaを確保できる十分な高さの感度とをもつだろう。

【0057】

50

形状の異なるトランスデューサーディスク上の平面セルアレイの例示的レイアウトは、図7、8A、8Bに示すように設計し、トランスデューサー実施形態の浸漬中電気インピーダンス(FEM)を評価した。これらの非限定的実施形態において、各セルの最小直径は6mmであり、各レールの最小幅は1mmである。

【0058】

図7に、中実ディスク形状を有するトランスデューサー130の一実施形態と、セル10a~10cの平面アレイをどのように配置可能かを示す。この非制限的例において、トランスデューサーディスク130は、約80mmの外径を有し、直径がそれぞれ6mmの円形セル約121個の平面アレイが配置可能となっている。図7の実施形態の1kHzでのキャパシタンス(C)は245.7nF、インピーダンス(Z)は、30kHzで1.82~21.2i、60kHzで2.79~12.48i、100kHzでは、0.33~8.06iであった。電気インピーダンス角は、-90度近くであると測定された。損失は、主として音響エネルギー放射によるものであった。他の実施形態において、トランスデューサーディスクは、120mmまたはそれに近い外径を有する。

【0059】

図8Aに、トランスデューサー135のドーナツ形状を有する実施形態におけるセル10a~10cの平面アレイの他の実施形態を模式的に示す。この非制限的な例においては、トランスデューサーディスク135は、外径が約80mm、内径(中央孔の径)が約25mmであり、直径が6mmの円形セルが約90個配置可能となっている。図8Aの実施形態については、次のキャパシタンスおよびインピーダンスが測定された：C=182.8nF(1kHz)、Z=2.46~28.57i(30kHz)、3.75~16.79i(60kHz)、0.44~10.84i(100kHz)。

【0060】

図8Bに、中央孔を有するトランスデューサー235の他の実施形態においてセル10a~10cの平面アレイをどのように配置し得るか模式的に示す。この非制限的な例においては、トランスデューサーディスク235は、外径が大きく約92mm、内径が約30mmである。このデザインによれば、直径が6mmの円形セルが約132個配置可能である。図8Bの実施形態については、次のキャパシタンスおよびインピーダンスが測定された：C=268.1nF(1kHz)、Z=1.67~19.48i(30kHz)、2.56~11.44i(60kHz)、0.30~7.39i(100kHz)。

【0061】

図7、8A、8Bの実施形態について、1V正弦持続波の放射圧力場(FIELD II)モデルにおいてテストし、異なる3周波数(30kHz、60kHz、100kHz)で対象容積300に対して場の大きさを算出した。結果を、それぞれ、図9、10、11に示す。図9、10、11のそれぞれに、対象音響容積300を、右端のパネルに長方形で示している。これらのテストに対する対象音響容積300は、直径約40mmの実質的に円柱形の空間であり、トランスデューサーデバイスの表面から約40mm~160mmの範囲を延びている。そのような対象容積は、植込型超音波励起センサーとともに使用される外部音響トランスミッターに適したものとなり得る超音波放射の範囲を提供することが期待される。図9、10、11のデータは、テストされた周波数における各実施形態のトランスデューサーにより生成された超音波場を示している。3周波数それぞれの超音波の大きさは、各図の右側のバーにより色で示されている。3周波数それぞれの超音波の直径は、x軸上に示されている。

【0062】

図9は、図7のトランスデューサーデバイス130から放出されたそれぞれ30kHz、60kHz、100kHzの超音波の空間場分布(ビームパターン)を示している。図9は、3つすべての周波数で、有意の大きさ(約5dB)の超音波が対象音響場に到達することを示している。

【0063】

図10は、図8Aのトランスデューサーデバイス135から放出されたそれぞれ30k

10

20

30

40

50

Hz、60kHz、100kHzの超音波の空間場分布（ビームパターン）を示している。図10は、3つすべての周波数で、有意の大きさ（約5dB）の超音波が対象音響場に到達することを示している。

【0064】

図11は、図8Bのトランスデューサーデバイス235から放出されたそれぞれ30kHz、60kHz、100kHzの超音波の空間場分布（ビームパターン）を示している。図11は、3つすべての周波数で、有意の大きさ（約5dB）の超音波が対象音響場に到達することを示している。図11および図10の比較により、平面アレイ中のセルの数が大きな直径のディスクを横切る場合であっても、音響場伝送にどのように影響をあたえるかが実証される。

10

【0065】

デバイスの効率、レーン層とバック層と整合層の特定の設計により強化することができる。

【0066】

整合層は、患者の身体との電気的な接触を防ぐためだけに使用されているだけでなく、測定環境（たとえば、体組織）に、トランスミッターを音響的に整合させてエネルギー伝送を最大化するように設計されている。したがって、図示されていない整合層として、超音波が伝送される何らかの媒体とほぼ同等の音響インピーダンスを有するものを備えるのが好ましい。このように音響インピーダンスを整合させることで、トランスデューサーデバイスから送受波される超音波の反射、屈折、散逸を最小化することができる。したがって、たとえば、トランスミッターが身体の軟組織を介して超音波を送波および/または受波する適用例においては、整合層は、水、組織、または血液のうちの一つまたはそれ以上とほぼ同等の音響インピーダンス（たとえば、 $1.5 \sim 1.54 \text{ Mrayls}$ の範囲、もしくは、 $1.2 \sim 1.72 \text{ Mrayls}$ または $0.18 \sim 1.72 \text{ Mrayls}$ の範囲）を有するものとする。トランスデューサーが使用される環境の音響インピーダンスの判定は、当業者の技能の範囲内にある。整合層は、必要ではないが、セル間の音響相互作用から生じる可能性のある共振を徐々に減少させるのに役立つ。

20

【0067】

整合層は、当該技術分野で公知の硬質または軟質のポリマー材料でつくられていてもよく、また、電気的な絶縁を含むことでセル間の音響的相互作用の減少をもたらすものであってもよい。このような硬質または軟質のポリマー材料の非限定的な例としては、シリコンパウダー化合物やエラストマーなど、適切な音響インピーダンスを有する適切な化合物が挙げられる。シリコンナノパウダーは、 1.48 Mrayls の音響インピーダンスを有する。整合層は、医療診断用途において、たとえば、皮膚などに接触する表面としても有用である。適切な生体適合性が、そのような用途には望まれる。当業者であれば、個々の目的に対して適切な材料を選択すること（たとえば、デバイスを腐食性環境で使用するような場合には不活性材料を選択すること）を知っているだろう。

30

【0068】

同じ音響特性を有する軟質ポリマー材料と硬質ポリマー材料と（プラスチックとゴムと）を、FEMモデルを使用して比較したところ、硬質材料の方が、セルの屈曲振動モードに影響を与える傾向があるため、軟質材料よりも望ましくないと考えられることがわかった。音響拳動が流体により近い軟質材料は、より良好な結果をもたらした。生体適合性シリコンナノパウダー化合物を含み、音響インピーダンスが 1.48 Mrayls の整合層は、音響エネルギー損失が非常に低くなることが明らかになった。整合層の厚みは、 $1 \sim 20 \text{ mm}$ の範囲とすることができる。

40

【0069】

トランスデューサーデバイスをレーン層とバック層の構造および材料の適切な組み合わせで設計することにより、音響エネルギー波を誘導し、それによって音響エネルギーの損失を抑えることができる。バック層は、トランスデューサーに機械的支持とプレート拘束手段を提供するだけでなく、後方に放射されるエネルギー、すなわち、意図され

50

ている方向と反対方向に - デバイスの前方に向かって - 進行する音波を吸収し減衰させるよう設計してもよい。バッキング層の特殊設計は、トランスデューサーデバイスの周波数帯の形状に影響することがあり得る。材料と鉛直方向の高さの異なる組み合わせを採用し、利用可能なスペース、広帯域励起の要件、電氣的相互接続といったパラメーターを考慮して、バッキング層の所望の特性を実現することができる。レール層およびバッキング層の材料の非制限的な例としては、たとえば、真鍮およびプラスチックが挙げられる。非制限的例示的なプラスチックとしては、エポキシ樹脂およびタングステン入りエポキシ樹脂がある。

【0070】

レール層およびバッキング層の構造の様々な組み合わせが、本発明にしたがって、所望の結果を得るために、採用可能である。一実施形態において、トランスデューサーデバイスは、背の高いレール層を備え、キャビティは開口している、すなわち、バッキング層は存在しない。他の実施形態において、デバイスは、背の低いレール層と背の高いバッキング層を備えている。そのようなバッキング層を含む実施形態においては、キャビティは隔離、すなわち閉鎖されている。キャビティが閉鎖されたさらに別の実施形態として、デバイスは、背の高いレール層と背の低いバッキング層を備えていてもよい。薄型で軽量のデバイスを維持するため、音響トランスミッター全体の厚みを15mm、たとえば、10mmや11mmとしてもよい。したがって、背の高い層は、8~10mm程度、背の低い層は、1~2mm程度とすることができる。高さや材料の他の組み合わせが、個々の用途にしたがって採用可能であり、本願明細書の説明に基づいて当該技術分野の通常の技能を有する者により決定することができる。

【0071】

上記構造設計および材料の一部を例示的に組み合わせた単一セルのプロトタイプを作成しテストした。その結果を図12および13A~Dに示す。

【0072】

図12に、図2Bに示したような背の高いレール層を備えバッキング層を設けないシンプルな構造設計のFEMによりシミュレートした送波感度を示す。トランスデューサーデバイスのこの実施形態において、レール層は、真鍮を含み、レール層の高さは、約10mmである。作動帯域において送波感度は、変化しないが、高周波でピーキングがある。作動中トランスデューサー表面への有効圧力によって励起されるレール構造の放射モードによって、特定の周波数で放射パターンが変化することはありうる。

【0073】

図13A~Dに、背の低いレール層と背の高いバッキング層を有する構造設計と様々な材料の組み合わせの実施形態のFEMによりシミュレートした送波感度を示す。

【0074】

図13Aに、図2Cに示したような同じ材料からなるレール層およびバッキング層を含むセルの実施形態から採ったデータを示す。レール層の高さは、約1mmであり、バッキング層の高さは約10mmである。この組み合わせの性能は良好で、送波感度は、変化しない。この実施形態でバッキング放射モードの励起があるので、特定の周波数で放射パターンの変化があるようにすることができる。

【0075】

図13Bに、異なる材料からなるレール層およびバッキング層を含むセルの実施形態から採ったデータを示す。レール層は、真鍮を含み、バッキング層は、タングステンの入ったエポキシ樹脂を含む。図2Cのデバイスと同様、この実施形態においては、レール層の高さは約1mmであり、バッキング層の高さは約10mmである。この実施形態の送波感度は、大幅に変化する。

【0076】

図13Cに、同じ材料(タングステン入りエポキシ樹脂)からなるレール層およびバッキング層を含むセルの第2の実施形態から採ったデータを示す。レール層の高さは約1mmであり、バッキング層の高さは約10mmである。

【 0 0 7 7 】

図 1 3 D に、異なる材料からなるレール層およびバックキング層を含むセルの第 2 の実施形態から採ったデータを示す。レール層は、タングステン入りエポキシ樹脂を含み、バックキング層は真鍮を含む。この実施形態において、レール層の高さは約 1 mm であり、バックキング層の高さは、約 1 0 mm である。この実施形態において、送波感度は、変化するが、高周波数でのピークが、帯域幅を大きくすることができるので役に立つ。低損失真鍮バックキングの放射モードにより、特定の周波数での放射パターンの変化が可能となる。

【 0 0 7 8 】

当該技術分野の通常の技能を有する者であれば理解するように、アレイ内の各セルの個々の設計は、使用される個々の周波数によって変わってくるだろう。広範囲の周波数が使用される場合、すべての周波数で動作する特定の設計を得るのは複雑な作業である。同じ材料から製造された背の低いレール層および背の高いバックキング層の組み合わせは、後述するように、広い範囲の周波数に対し良好な（85%の）効率を実現することがわかった。

【 0 0 7 9 】

本発明の他の態様は、トランスデューサーデバイスを製造するプロセスに関連する。図 1 4 A ~ P は、本発明によるトランスデューサーデバイスの製造方法の一実施形態を模式的に示すものであり、2セルの例を用いた構造を断面図で示す。当業者であれば、本明細書の説明を活用して、この方法を、上述のような 80 ~ 1 5 0 の二重層ユニットのアレイを有するマルチセル・デバイスに、スケールアップすることができるだろう。一般的に、圧電ディスクおよびレール層は、レール層の各孔中央に一つの圧電ディスクを置いた一つのアセンブリーとして、形成される。屈曲性プレートは、別体の第 2 のアセンブリーとして形成される。そして、レール層および圧電ディスクを屈曲性プレートに取り付けることにより、2つのアセンブリーが合体させられる。

【 0 0 8 0 】

図 1 4 A に示すように、複数の隣接する真空保持ベース要素 4 0 0 a ~ c を有する真空保持ベース 4 0 0 が、平坦な表面にまず載置される。真空保持ベース 4 0 0 a ~ c は、互いに等間隔に離間配置されている。そして、接触部 4 0 1 a ~ c の間に複数の孔を有する位置合わせツール 4 0 1 が、各真空保持ベース要素 4 0 0 a ~ c の上面に載置される。位置合わせツール孔はそれぞれ直径を有する。図 1 4 B に示すように、接触部 4 0 1 a は、真空保持ベース要素 4 0 0 a に位置合わせされ中心に位置決めされ、接触部 4 0 1 b は、真空保持ベース要素 4 0 0 b に位置合わせされ中心に位置決めされ、...等々。位置合わせツール 4 0 1 の位置決め後、複数の圧電ディスク 4 1 2 a ~ b が、図 1 4 C に示すように、真空保持ベース要素 4 0 0 a ~ c 上の位置合わせツール 4 0 1 の接触部 4 0 1 a ~ c の間に配置される。位置合わせツール 4 0 1 は、圧電ディスク 4 1 2 a , 4 1 2 b のアレイを位置決めするために用いられる。したがって、位置合わせツール接触部 4 0 1 a ~ c のエッジ間の距離（孔径）は、図 1 4 C に示すように、おおよそ、圧電ディスク 4 1 2 a ~ b の直径と等しく、圧電ディスク 4 1 2 a ~ b が、位置合わせツールの孔の直径を差し渡して、真空保持ベース 4 0 0 a ~ c 間のギャップをカバーするようになっている。圧電ディスク 4 1 2 a , 4 1 2 b を真空保持ベース要素 4 0 0 a ~ c 上に保持するために真空を与えてから、位置合わせツール 4 0 1 を取り外す。図 1 4 D に、所望のアレイに位置決めされ、位置合わせツールを取り外した後の真空保持ベース要素 4 0 0 a ~ c に保持された圧電ディスク 4 1 2 a ~ b を示す。そして、第 1 面と第 2 面と直径と複数の孔を有するレール層 4 1 3 を、図 1 4 E に示すように、圧電ディスク 4 1 2 a ~ b がレール 4 1 3 a ~ c の間のレール層の孔内で中心に位置合わせされ、レール層 4 1 3 の第 1 面が真空保持ベース 4 0 0 に接触して、複数のキャビティ 4 1 5 a , 4 1 5 b を形成するように配置する。次に、図 1 4 F に示すように、硬化性ポリマー 4 0 2 を、キャビティ 4 1 5 a , 4 1 5 b を、レール 4 1 3 a ~ c の高さまで充填する。硬化性ポリマー 4 0 2 の非限定的な例としては、RTVシリコンなどの金属やプラスチックや圧電セラミックに付着しないポリマーが挙げられる。好ましくは、硬化性ポリマーは、比較的低温で注入可能かつ硬化可能で

10

20

30

40

50

ある。その後、充填後のキャビティを、図14Gに示すように平板ツール403で覆い、硬化プロセスを開始する。ポリマー402が硬化し、真空が解除されると、図14Hに示すように、真空保持ベース400を取り外すことができる。これで、第1のアセンブリー405の製造が完了する。

【0081】

第2のアセンブリーを用意するために、図14Iに示すように、平坦な表面にプレートホルダー406を配置する。第1面と第2面と直径を有する屈曲性プレート411を、図14Jに示すように、プレートホルダー406上に配置する。そして、図14Kに示すように、屈曲性プレート411の第1面全体に、接着剤407を塗布する。これで、第2のアセンブリー408の製造が完了する。そして、図14Lに示すように、レール層413の第1面が屈曲性プレート411の第1面上の接着剤407に接触するように、第1のアセンブリー405を、第2のアセンブリー408上に配置する。そして、接着剤407を硬化させることによって、第1のアセンブリー405を第2のアセンブリー408に取り付ける。すなわち、レール層413および圧電ディスク412a~bのアレイを屈曲性プレート411に接着し、マルチセルアレイを形成する。図14Mに示すように、平板ツール403を取り外す。図14Nに示すように、硬化性ポリマー402を除去する。続けて、図14Oに示すように、プレートホルダー406を取り外す。そして、最後に、図14Pに示すように、圧電ディスク412のそれぞれのキャビティ側と、屈曲性プレート411の第2面とに、たとえば、はんだづけで、電線420a~cを取り付けてもよい。これで、本発明によるバッキング層を備えない実施形態の圧電セルの平面アレイを備えたマルチセル・トランスデューサー410の製造が完了する。

【0082】

そして、屈曲性プレートに整合層を取り付けて、身体等の環境に超音波エネルギーを放射するのに有用な本発明の新規な超音波トランスミッターを形成することができる。バッキング層を使用する場合は、バッキング層をレール層の直径に合わせて切削し、セルアレイが完成した後(図14P)もしくは第1のアセンブリーにレール層を追加する前に、レール層に取り付けられればよい。後者の場合、ステップ(図14E)の前に、レール層バッキング層アセンブリーによって形成されるキャビティに、RTVシリコンを充填してもよい。バッキング層は、整合層を備える実施形態にも整合層を備えない実施形態にも組み込むことができる。バッキング層と整合層をと組み合わせて使用する場合は、整合層は、「表面モード(surface modes)」を減衰させ、浸漬したデバイスの送波周波数応答を変化させてしまう可能性のあるセル間音響クロストークを防ぐのに役立つ。

【0083】

このように、一実施形態において、本発明の方法は、複数の等間隔に離間配置された孔を有する真空保持ベースを平坦な表面に配置すること、前記複数の真空保持ベース上に位置合わせツールを配置すること(前記位置合わせベースは複数の等しい大きさで等間隔に離間配置された孔を有する)、前記位置合わせツールを使用して、前記真空保持要素上に前記真空保持ベースの孔を覆うように圧電ディスクのアレイをセットし、前記圧電ディスクをそれぞれ互いに等間隔に離間配置すること(前記圧電ディスクのそれぞれが対応する位置合わせツールの孔径よりもやや小さな直径を有することで、前記圧電ディスクを前記対応する位置合わせツールの孔内に嵌め込むことができる)、前記真空保持ベースを介して真空を生成し、前記位置合わせツールを取り外すこと、第1面と第2面と直径を有するレール層を前記真空保持ベース上に、前記第1面が前記真空保持ベースに接触するように配置すること(前記レール層は、前記圧電ディスクのアレイに対応するアレイ状に複数の孔を有し、前記レール層の孔径は、前記圧電ディスクの径よりも大きく、前記レール層は、前記複数のレール層の孔に対応する複数のキャビティを画定する鉛直方向の高さを有する)、前記複数のキャビティに硬化性ポリマー充填材を充填すること、前記充填されたキャビティを平板ツールで覆うこと、前記硬化性ポリマーを硬化させること、前記真空を除くこと、前記真空保持ベースを取り外して第1のアセンブリーを形成すること、別途、プレートホルダーを用意し、当該プレートホルダー上に、第1面と第2面と前記レール層の

直径と同等の直径を有する屈曲性プレートを設置すること、前記屈曲性プレートの前記第1面に硬化性接着剤を塗布して、前記屈曲性プレートの第1面を覆って第2のアセンブリーを形成すること、前記ルール層の前記第1面が前記屈曲性プレートの前記第1面上の前記接着剤に接触するように前記第2のアセンブリー上に前記第1のアセンブリーを配置すること、前記接着剤を硬化させること、前記平板ツールを取り外すこと、前記硬化させたポリマー充填材を取り除くこと、そして、前記プレートホルダーを取り外すこと、を含む。この方法は、さらに、前記屈曲性プレートの前記第2面に整合層を接着することを含んでもよい。前記方法は、さらに、前記ルール層の前記第2面にバック層を接着することを含んでもよい。

【0084】

10

接着剤に関連するシステムへの二次的な影響（ピーキング効果および、その結果としての感度および/または帯域幅の減少）が観察された。たとえば、屈曲性プレートおよびルール層および圧電ディスクの間の接着剤により生成する弾性拘束がある。さらに、接着剤の厚みは、約10〜50μmの間となり、送波感度に影響するかもしれない。

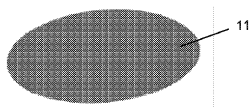
【0085】

当該技術分野の通常の技能を有する技術者であれば、実施形態として本明細書に詳細に示され記載された内容に、本発明の趣旨ないし範囲を逸脱することなく、多くの変更や追加や変形および他の適用がなされ得ることが理解されるだろう。したがって、以下の特許請求の範囲により規定された本発明の範囲は、あらゆる予見可能な変更、追加、変形および適用用途を含むことが意図されている。

20

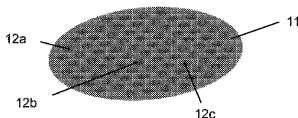
【図1A】

FIG. 1A



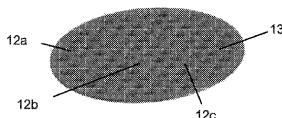
【図1B】

FIG. 1B



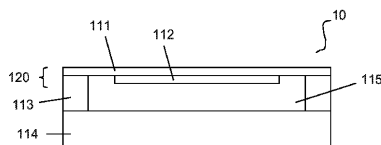
【図1C】

FIG. 1C



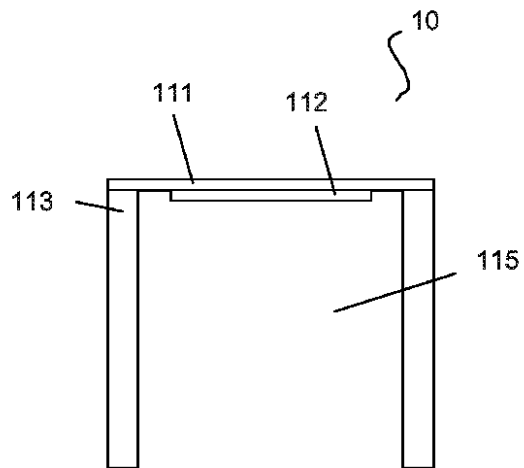
【図2A】

FIG. 2A

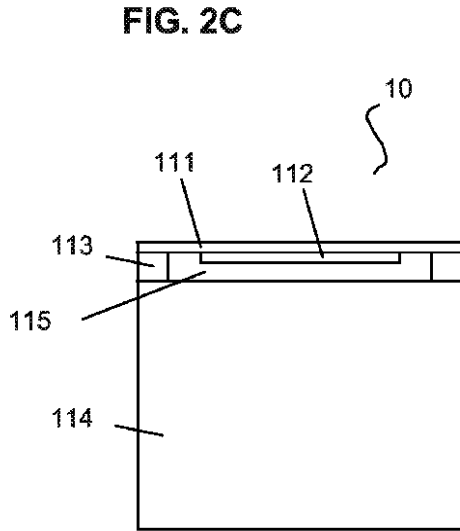


【図2B】

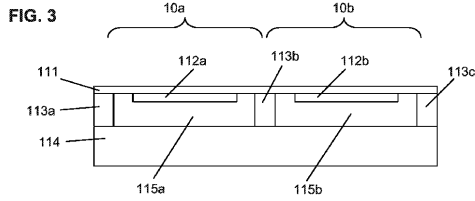
FIG. 2B



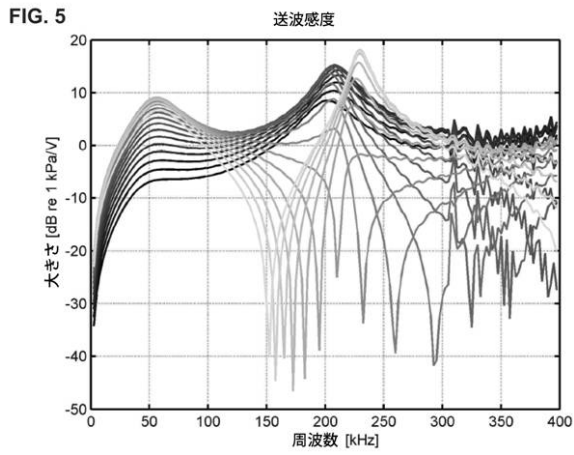
【図2C】



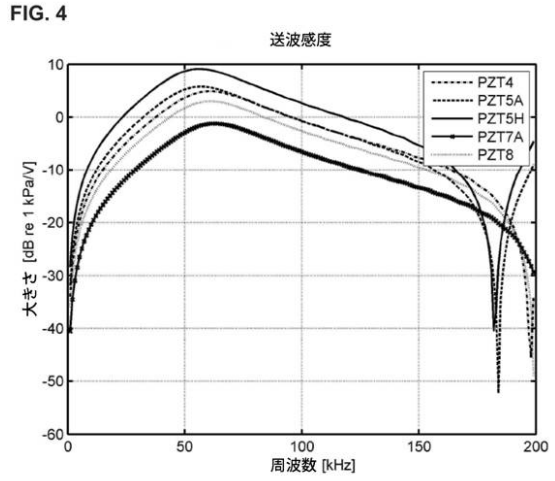
【図3】



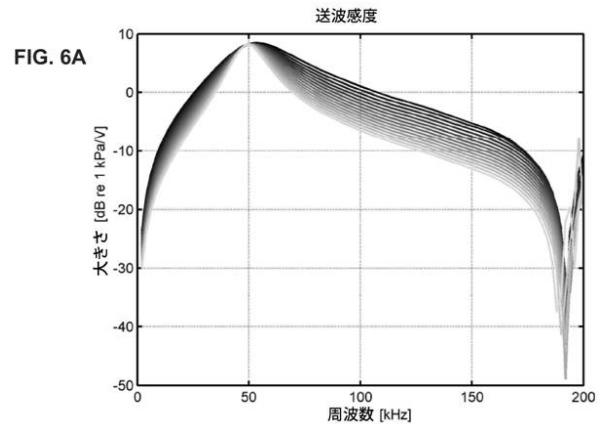
【図5】



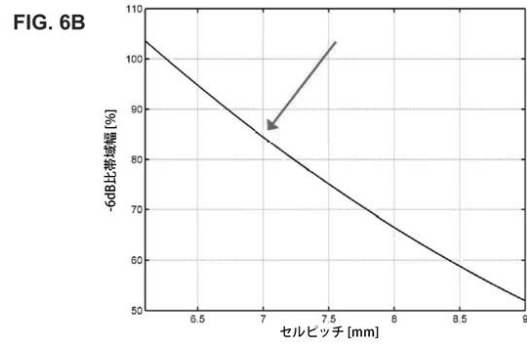
【図4】



【図6A】

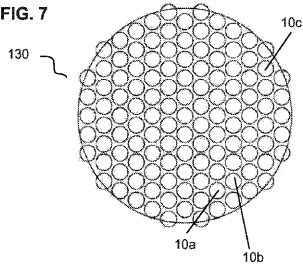


【図6B】



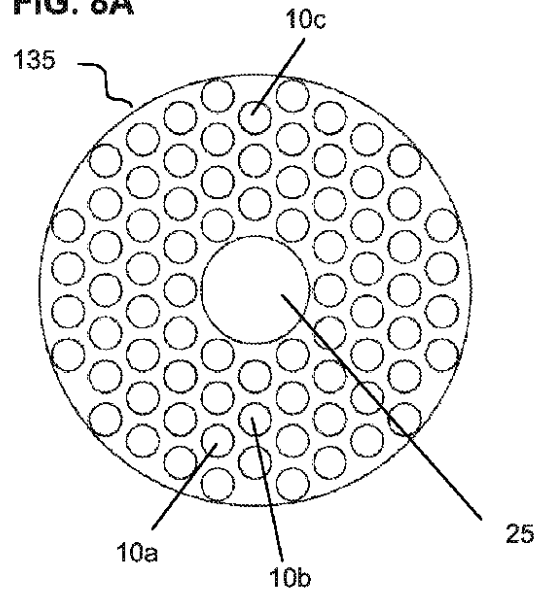
【 図 7 】

FIG. 7



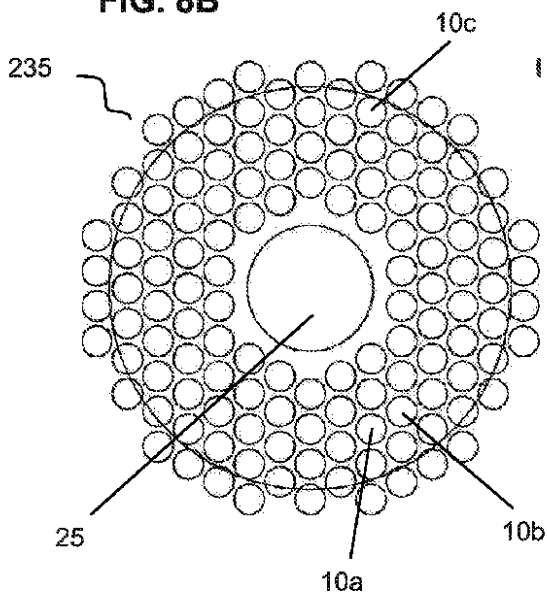
【 図 8 A 】

FIG. 8A



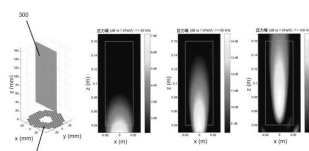
【 図 8 B 】

FIG. 8B



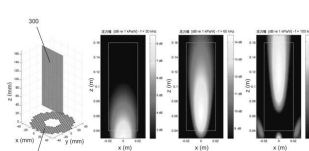
【 図 1 0 】

FIG. 10



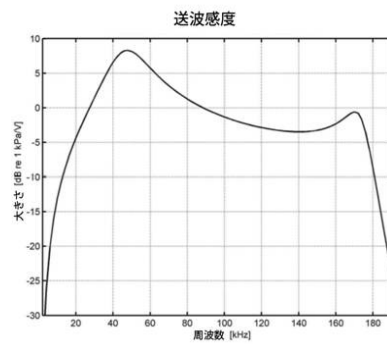
【 図 1 1 】

FIG. 11



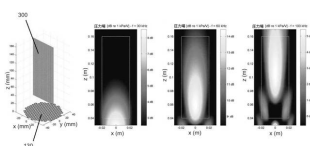
【 図 1 2 】

FIG. 12

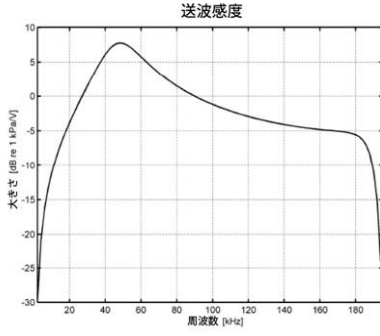


【 図 9 】

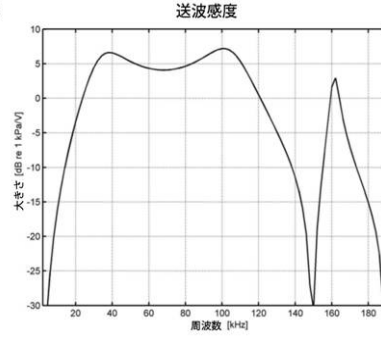
FIG. 9



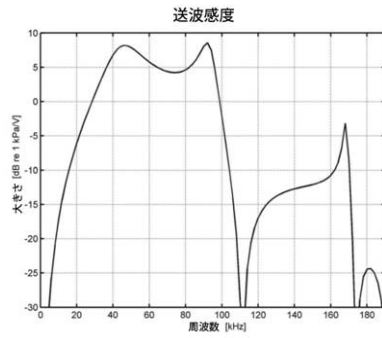
【図 13 A】
FIG. 13A



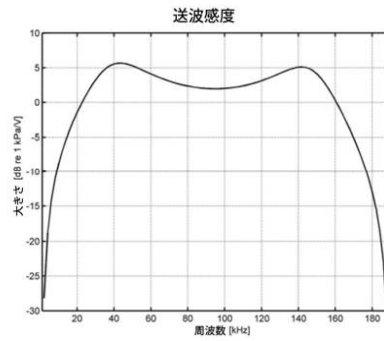
【図 13 C】
FIG. 13C



【図 13 B】
FIG. 13B

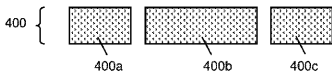


【図 13 D】
FIG. 13D



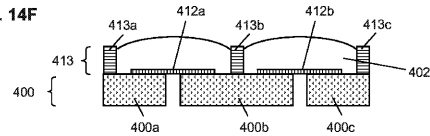
【図 14 A】

FIG. 14A



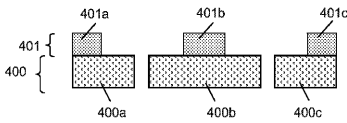
【図 14 F】

FIG. 14F



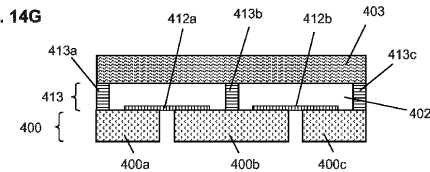
【図 14 B】

FIG. 14B



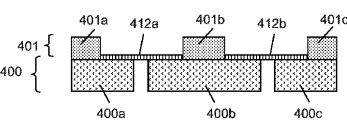
【図 14 G】

FIG. 14G



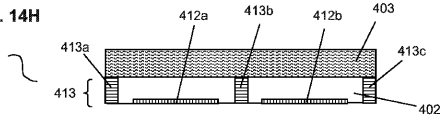
【図 14 C】

FIG. 14C



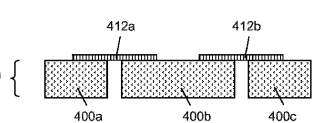
【図 14 H】

FIG. 14H



【図 14 D】

FIG. 14D



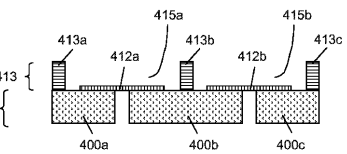
【図 14 I】

FIG. 14I



【図 14 E】

FIG. 14E



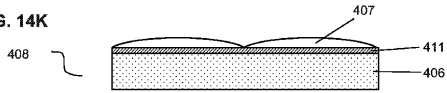
【図 14 J】

FIG. 14J



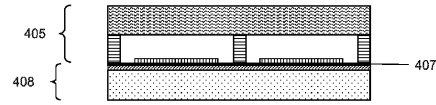
【 1 4 K 】

FIG. 14K



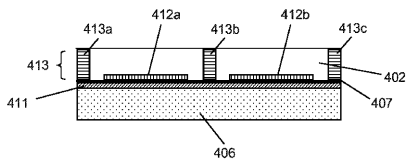
【 1 4 L 】

FIG. 14L



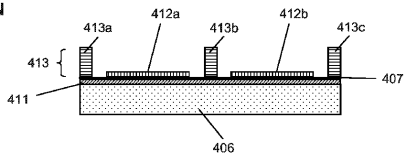
【 1 4 M 】

FIG. 14M



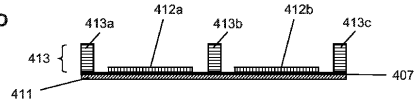
【 1 4 N 】

FIG. 14N



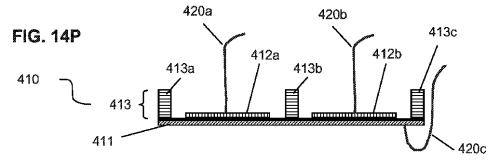
【 1 4 O 】

FIG. 14O



【 1 4 P 】

FIG. 14P



フロントページの続き

| | | |
|----------------|-----------|----------------|
| (51)Int.Cl. | | F I |
| H 0 1 L 41/311 | (2013.01) | H 0 1 L 41/187 |
| H 0 1 L 41/29 | (2013.01) | H 0 1 L 41/311 |
| | | H 0 1 L 41/29 |

(72)発明者 カリアーノ、ジョズエ
 イタリア共和国 ローマ イ - 8 4 - 0 0 1 4 6 ヴィア デッラ ヴァスカ ナヴァ - レ ディ
 パルティメント ディ インジェニエリア ウニヴェルシータ デリ ストゥーディ ローマ ト
 レ

(72)発明者 メラムド、アレクサンデル
 イスラエル国 ハイファ 3 4 9 9 1 0 5 ゲウレイ ティーマン ストリート 5 / 9

(72)発明者 タンマーム、エリック, エス
 イスラエル国 モディイン 7 1 7 5 2 1 8 シャニ ストリート 2 5

審査官 秋山 直人

(56)参考文献 特開2013 - 255692 (JP, A)
 特開2013 - 243513 (JP, A)
 米国特許第05834877 (US, A)
 特開2015 - 097733 (JP, A)
 特開2013 - 243512 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 4 R 1 7 / 0 0
 H 0 1 L 4 1 / 0 9
 H 0 1 L 4 1 / 1 1 3
 H 0 1 L 4 1 / 1 8 7
 H 0 1 L 4 1 / 2 9
 H 0 1 L 4 1 / 3 1 1
 H 0 4 R 3 1 / 0 0