

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年4月28日(28.04.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/063628 A1

- (51) 国際特許分類:
H04R 17/00 (2006.01) *H01L 41/293* (2013.01)
B06B 1/06 (2006.01) *H02N 2/00* (2006.01)
H01L 41/047 (2006.01) *H04R 7/04* (2006.01)
H01L 41/083 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/074559
- (22) 国際出願日: 2015年8月31日(31.08.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-217703 2014年10月24日(24.10.2014) JP
特願 2015-105778 2015年5月25日(25.05.2015) JP
- (71) 出願人: 太陽誘電株式会社(TAIYO YUDEN CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1100005 東京都台東区上野6丁目16番20号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 富田 隆(TOMITA, Takashi); 〒1100005 東京都台東区上野6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内 Tokyo (JP). 石井 茂雄(ISHII, Shigeo); 〒1100005 東京都台東区上野6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内 Tokyo (JP). 浜田 浩(HAMADA, Hiroshi); 〒1100005 東京都台東区上野

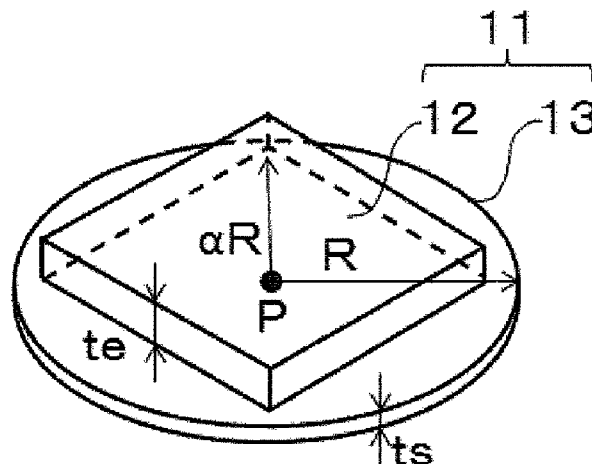
6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内 Tokyo (JP). 土信田 豊(DOSHIDA, Yutaka); 〒1100005 東京都台東区上野6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTROACOUSTIC CONVERSION DEVICE

(54) 発明の名称: 電気音響変換装置



(57) Abstract: [Problem] To provide an electroacoustic conversion device capable of producing sound pressure equal to that of a circular laminated piezoelectric element even when a polygonal laminated piezoelectric element is used. [Solution] An electroacoustic conversion device is provided with: a laminated piezoelectric element in which piezoelectric layers and electrode layers are alternately laminated, the piezoelectric layers being disposed between at least a pair of electrode layers having different polarities; and a diaphragm on which the laminated piezoelectric element is disposed. The laminated piezoelectric element is polygonal when viewed from a lamination direction, and a surface of the diaphragm on which the laminated piezoelectric element is disposed is circular. The total volume (V) of effective layers which are those of the piezoelectric layers sandwiched between at least a pair of electrode layers in which at least the pair of electrode layers are overlapped when projected from the lamination direction satisfies the following condition: $0.2\pi R^2 \times ts \leq V \leq 2.0\pi R^2 \times ts$ where π is the circular constant, R is the radius of the diaphragm, and ts is the thickness of the diaphragm.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/063628 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

〔課題〕 多角形の積層圧電素子を用いても円形の積層圧電素子と同等の音圧を得ることができる電気音響変換装置を提供することを目的とする。〔解決手段〕 電気音響変換装置は圧電体層と電極層が交互に積層され、極性が異なる少なくとも一対の電極層の間に圧電体層が配置された積層圧電素子と、積層圧電素子が配置された振動板とを備える。積層圧電素子は積層方向から見て多角形であり、積層圧電素子が配置された振動板の面は円形である。少なくとも一対の電極層に挟まれる圧電体層のうち、積層方向から投影して少なくとも一対の電極層が重なる実効層の体積の合計 (V) が下記の条件を満たす。 $0.2\pi R^2 \times t_s \leq V \leq 2.0\pi R^2 \times t_s$ (但し、 π は円周率、 R は振動板の半径、 t_s は振動板の厚み)

明 細 書

発明の名称：電気音響変換装置

技術分野

[0001] 本発明は、多角形の積層圧電素子と円形の振動板とを備える電気音響変換装置等に関する。

背景技術

[0002] 積層圧電素子と、前記積層圧電素子が配置される振動板とを備える電気音響変換装置はよく知られる。電気信号によって積層圧電素子に変形し、この変形によって振動板が振動し、電気音響変換装置は可聴波を発生する。

[0003] 積層圧電素子と振動板の組み合わせの多くは、両者円形又は両者矩形という相似形状である。相似形状は積層圧電素子と振動板の接触面積を大きくすることができるため、電気音響変換装置の音圧を高くすることができる。

[0004] 一方、振動板は円形が多い。矩形の振動板は振動の際の変形が不規則になり、音質が低下しやすいためである。他方、多角形の積層圧電素子は円形の積層圧電素子よりも材料収率に優れ、圧電材料が高価であるため、コスト的に有利である。しかし、多角形の積層圧電素子と円形の振動板との組み合わせはきわめて少ない。

[0005] 少ない従来技術の中から、図15は特許文献1に記載される圧電音響部品61を示す。圧電音響部品61は、矩形の圧電板62と、圧電板62が配置される円板状の金属板63とを備える。圧電音響部品61は、内周側に同心円の段差を備えるリング状のケース64に嵌め込まれ、携帯電話やヘッドホンといった携帯音響機器等に組み込まれる。

[0006] 圧電板62としては積層圧電素子が用いられる。図16は特許文献2に記載される積層圧電素子65の内部構造を示す。積層圧電素子65は圧電体層66と電極層67が交互に積層される。電極層67は、金属板63と接する面とは反対側の積層圧電素子65の第1の表面に形成された第1の表面電極層68と、第1の表面と反対側（金属板63と接する側）の第2の表面に形

成された第2の表面電極層69を含む。第1の表面電極層68及び第2の表面電極層69を含む電極層67は、極性が異なる一对の接続電極70に一層おきに接続される。圧電体層66の層数は奇数であり、第1の表面電極層68と第2の表面電極層69は極性が異なる一对の接続電極70にそれぞれ接続される。接続電極70はスルーホールによって形成される。第1の表面電極層68にリード線71がハンダ付けされる。積層圧電素子65は第2の表面が接するように円板状の金属板63の上に配置され、第2の表面電極層69と金属板63は電氣的に接続される。リード線71及び金属板63を介して電気信号が積層圧電素子65に印加される。積層圧電素子65が変形し、この変形によって振動板63が振動し、電気音響変換装置61は可聴波を発生する。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平11-355892号公報

特許文献2：特開2001-016691号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 多角形の積層圧電素子を円形の振動板に配置すると、積層圧電素子と振動板の接触面積が相似形状の組み合わせと比較して小さくなる。積層圧電素子が振動板を振動させる力が小さくなるため、音圧が低下してしまう。

[0009] 本発明は、上記実情を鑑みてなされたもので、多角形の積層圧電素子を用いても円形の積層圧電素子と同等の音圧を得ることができる電気音響変換装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] (1) 本発明の一態様は、

圧電体層と電極層とが交互に積層され、極性が異なる少なくとも一对の電極層の間に前記圧電体層が配置された積層圧電素子と、

前記積層圧電素子が配置された振動板とを備え、
前記積層圧電素子は積層方向から見て多角形であり、
前記積層圧電素子が配置される前記振動板の面は円形であり、
前記少なくとも一对の電極層に挟まれる前記圧電体層のうち、積層方向から投影して前記少なくとも一对の電極層が重なる実効層の体積の合計（ V ）が下記の条件を満たすことを特徴とする電気音響変換装置に関する。

$$0.2\pi R^2 \times t_s \leq V \leq 2.0\pi R^2 \times t_s$$

（但し、 π は円周率、 R は振動板の半径、 t_s は振動板の厚み）

[0011] 積層圧電素子は、極性が異なる一对の電極層に挟まれる圧電体層のうち、積層方向から投影して極性が異なる2つの電極層が重なる部分である、実効層が変形する。この変形が振動板に伝わり、電気音響変換装置は可聴波を発生する。本発明の一態様によれば、実効層の体積の合計（ V ）が上式を満たすことにより積層圧電素子が振動板を振動させる力が十分大きくなり、多角形の積層圧電素子を用いても円形の積層圧電素子と同等の音圧を得ることができる。

[0012] （2）本発明の一態様では、

前記少なくとも一对の電極層は、極性が異なる第1の電極層と第2の電極層とを含み、前記第1の電極層は、前記積層圧電素子の一つの側面に形成された第1の側面電極に接続され、

前記第2の電極層は、前記第1の側面電極が形成された側面とは異なる側面に形成された第2の側面電極に接続されることが好ましい。

[0013] 一次共振等によって円形の振動板は特定の領域、特に、振動板の中心から特定の距離にある同心円の領域で変形が大きくなる場合がある。この領域に電極層間の接続電極があると変形による応力が集中して破断するおそれがある。しかし、側面電極は円形の振動板の中心からの距離に幅があるため、特定の領域で側面電極が破壊されたとしても、他の領域での接続が維持される。したがって、安定した音圧、音質の維持が期待される。

[0014] （3）本発明の一態様では、

前記第1の電極層は、前記振動板と接する面とは反対側の前記積層圧電素子の表面に形成された電極層を含むことが好ましい。

[0015] 電極層間の接続がスルーホールではなく、側面電極であるため、積層圧電素子に応力が残留しない。このため、リード線を振動板と接する面とは反対側の積層圧電素子の表面に形成された電極層にハンダ付けしても熱衝撃による積層圧電素子の破損を防ぐことができる。

[0016] (4) 本発明の一態様では、前記積層圧電素子は積層方向から見て正方形であることが好ましい。積層圧電素子の形状の対称性が円形に近づくため、音質が円形の積層圧電素子に近づく。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]第1の実施形態に係る電気音響変換装置の外観を示す。

[図2]第1の実施形態に係る電気音響変換装置の内部構造を示す。

[図3]第1の実施形態における積層圧電素子の積層及び外観を示す。

[図4]第1の実施形態における側面電極の接続の安定性を示す。

[図5]第1の実施形態における積層圧電素子の実効層を示す。

[図6]第1の実施形態に係る電気音響変換装置の円形の振動板と多角形の積層圧電素子の寸法を示す。

[図7]振動板の半径が4 mmの場合において、振動板の厚みと積層圧電素子の実効層の厚みを変動させたときの振動板の中心部の変位量を示す。

[図8]振動板の半径が8 mmの場合において、振動板の厚みと積層圧電素子の実効層の厚みを変動させたときの振動板の中心部の変位量を示す。

[図9]振動板の半径が4 mmの場合において、振動板の厚みと積層圧電素子の実効層の厚みを変動させたときの振動板の中心部の相対変位量を示す。

[図10]第1の実施形態に係る正方形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置の音圧特性と円形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置の音圧特性の比較を示す。

[図11]第2の実施形態に係る電気音響変換装置の内部構造を示す。

[図12]第3の実施形態に係る電気音響変換装置の内部構造を示す。

[図13]第4の実施形態に係る電気音響変換装置の外観を示す。

[図14]第5の実施形態に係る電気音響変換装置の外観を示す。

[図15]従来の圧電音響部品の外観を示す。

[図16]従来の積層圧電素子の内部構造を示す。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、添付図面を参照しつつ本発明の実施形態を説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

[0019] 本発明では、積層圧電素子及び振動板の形状は、それぞれ積層方向から見たときの積層圧電素子の形状及び積層圧電素子が配置される面の振動板の形状で表現する。例えば、「円形の積層圧電素子」は、実際の積層圧電素子の形状は円柱であるが、便宜上、積層方向から見たときの「円形」で表現する。「多角形の積層圧電素子」は、実際の積層圧電素子の形状は多角柱であるが、便宜上、積層方向から見たときの「多角形」で表現する。「円形の振動板」は、実際の振動板の形状は円柱であるが、便宜上、積層圧電素子が配置される面の「円形」で表現する。

[0020] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る電気音響変換装置11の外観を示す。電気音響変換装置11は多角形の積層圧電素子12と、積層圧電素子12が配置される円形の振動板13とを備える。図1に示される電気音響変換装置11は振動板13の片面に積層圧電素子12が配置されているが、振動板13の両面に積層圧電素子12が配置されてもよい。

[0021] 積層圧電素子12の形状は、四角、菱形、台形、正方形、長方形、六角形があげられる。ここで、正方形とは、直交する2辺の長さを a 、 b とすると、 $|a - b| \div a \leq 10\%$ であることを意味する。この関係式を満たすと、音圧及び音質は実質的に低下しない。積層圧電素子の形状が正多角形（正方形や正六角形等）を除く多角形（例えば、長方形）の場合、積層圧電素子1

2の向きを判別することができる。振動板13への積層圧電素子12の配置や積層圧電素子12への電極の形成といった作業を確実に行うことができ、電気音響変換装置11間の音質のばらつきが小さくなる。

[0022] 積層圧電素子12の寸法（最大長）は5.4～108mmがあげられる。小さすぎると生産が困難であり、大きくなると積層圧電素子12にクラックが発生しやすくなる。積層圧電素子の厚みは、0.03～0.2mm（30～200μm）があげられる。小さすぎると生産が困難であり、大きくなると積層圧電素子12の変形が阻害される。

[0023] 振動板13の半径は3～60mmがあげられる。小さすぎると生産が困難であり、大きくなると配置する積層圧電素子12にクラックが発生しやすくなる。振動板13の厚みは0.05～0.5mmが望ましく、さらに望ましくは0.05～0.3mmである。薄すぎると強度が弱く、厚くなると振動が阻害される。振動板13としては、金属を用いることができる。金属としては、ステンレス鋼（SUS）、42アロイがあげられる。本態様では42アロイを用い、振動板13の半径は5.55mm、厚みは200μmとした。

[0024] 振動板13と接する面とは反対側の積層圧電素子12の第1の表面と、積層圧電素子12が配置される振動板13の面であって積層圧電素子12と接しない領域にリード線14がハンダ付けされる。積層圧電素子12が多角形であるため、積層圧電素子12と接しない振動板13の領域は積層圧電素子12が円形の場合よりも広い。このため、リード線14を振動板13にハンダ付けすることが容易である。振動板13は金属であるから、リード線14及び振動板13を介して積層圧電素子12に電気信号が印加される。積層圧電素子12が変形し、その変形によって振動板13が振動し、電気音響変換装置11は可聴波を発生する。

[0025] 図2は、第1の実施形態に係る電気音響変換装置11の内部構造を示す。積層圧電素子12は、圧電体層15と電極層16が交互に積層される。圧電体層15としては、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）、チタン酸バリウム、

アルカリ含有ペロブスカイト、タングステンブロンズ等の強誘電材料が用いられる。電極層 1 6 としては、A g / P d、P d 等を用いることができる。電極層 1 6 の厚みは 1 ~ 5 μ m があげられる。薄すぎると電極層 1 6 が不連続になりやすく、厚すぎると積層圧電素子 1 2 の変形が阻害される。本態様では圧電体層 1 5 として P Z T、電極層 1 6 として A g / P d を用い、電極層 1 6 は焼成後の厚みが 2 μ m になるように形成した。

[0026] 電極層 1 6 は、振動板 1 3 と接する面とは反対側の積層圧電素子 1 2 の第 1 の表面に形成された第 1 の表面電極層 1 7 と、振動板 1 3 と接する側の積層圧電素子 1 2 の第 2 の表面に形成された第 2 の表面電極層 1 8 と、積層圧電素子 1 2 の内部に形成された内部電極層 1 9 とを含む。また、電極層 1 6 は極性が異なる 2 つの電極層からなり、それぞれ第 1 の電極層 1 6 a と第 2 の電極層 1 6 b という。第 1 の電極層 1 6 a と第 2 の電極層 1 6 b は一層おきに配置される。圧電体層 1 5 は第 1 の電極層 1 6 a と第 2 の電極層 1 6 b に挟まれる。

[0027] 圧電体層 1 5 の層数は 2 ~ 1 0 層があげられるが、3 層以上の奇数が電極層 1 6 を配置しやすい点で好ましい。第 1 及び第 2 の表面電極層 1 7、1 8 をそれぞれ第 1 及び第 2 の電極層 1 6 a、1 6 b として形成することができるからである。本態様では圧電体層 1 5 の層数は 5 層とした。

[0028] 電極層間の接続を図 3 も参照しながら説明する。第 1 の電極層 1 6 a (第 1 の表面電極層 1 7 を含む) は積層圧電素子 1 2 の 1 つの側面に引き出される。第 1 の電極層 1 6 a (第 1 の表面電極層 1 7 を含む) は引き出された側面に形成された第 1 の側面電極 2 0 に接続される。第 2 の電極層 1 6 b (第 2 の表面電極層 1 8 を含む) は、第 1 の側面電極が形成された側面とは異なる側面、例えば、第 1 の側面電極が形成された側面とは反対側の側面に引き出される。第 2 の電極層 1 6 b (第 2 の表面電極層 1 8 を含む) は、引き出された側面に形成された第 2 の側面電極 2 1 に接続される。第 1 及び第 2 の側面電極 2 0、2 1 は公知の方法で形成される。例えば、ディップ法やスパッタリング法が用いられる。本態様ではスパッタリング法が用いられた。

- [0029] 積層圧電素子 1 2 が振動板 1 3 に配置されると、第 2 の表面電極層 1 8 は振動板 1 3 と接触する。振動板 1 3 は金属であるから、両者は電氣的に接続される。積層圧電素子 1 2 の固定には公知の方法を用いることができる。例えば、樹脂接着剤のような絶縁性接着剤を用いた場合でも、第 2 の表面電極層 1 8 は微細な凹凸を備えるため、振動板 1 3 に押しつけられることによって電氣的に接続される。
- [0030] 積層圧電素子 1 2 の第 1 の表面電極層 1 7 と、積層圧電素子 1 2 が配置される振動板 1 3 の面であって積層圧電素子 1 2 が接しない領域にリード線 1 4 がハンダ付けされる。電気信号はリード線 1 4 及び振動板 1 3 を介して積層圧電素子 1 2 に印加される。積層圧電素子 1 2 が変形し、その変形によって振動板 1 3 が振動し、電気音響変換装置 1 1 は可聴波を発生する。
- [0031] 電極層 1 6 間の接続がスルーホールではなく、側面電極 2 0、2 1 であるため、積層圧電素子 1 2 の内部に応力が残留しない。このため、リード線 1 4 を第 1 の表面電極層 1 7 にハンダ付けしても熱衝撃による積層圧電素子 1 2 の破損を防ぐことができる。
- [0032] また、多角形の積層圧電素子 1 2 の変形は中央部が大きく、多角形の頂点に近づくにつれて変形は小さくなる。このため、円形の振動板 1 3 も中央部が大きく振幅し、外周部に近づくにつれて振幅が小さくなる。しかし、一次共振等によって円形の振動板 1 3 は特定の領域、例えば、図 4 に破線で示すように、振動板 1 3 の中心 P から特定の距離にある同心円の領域 2 2 で振幅が大きくなる場合がある。この領域に電極層間の接続電極があると大きな振幅によって応力が集中し、破壊されるおそれがある。つまり、第 1 及び第 2 の側面電極 2 0、2 1 は振動板 1 3 の中心 P からの同心円の領域 2 2 と重なる領域 2 3 が破壊されるおそれがある。しかし、第 1 及び第 2 の側面電極 2 0、2 1 は円形の振動板 1 3 の中心 P からの距離に幅があるため、仮に領域 2 3 が破壊されても他の領域で接続は維持される。したがって、安定した音圧、音質が維持される。
- [0033] 図 5 は、第 1 の実施形態において電気信号を印加したときに積層圧電素子

12が変形する部分を示す。積層圧電素子12が変形するのは、極性が異なる2つの電極層（第1の電極層16a、第2の電極層16b）に挟まれる圧電体層15のうち、積層方向から投影して第1の電極層16a及び第2の電極層16bが重なる部分（図5の斜線部）、即ち実効層24である。実効層24の変形が振動板を振動させ、電気音響変換装置は可聴波を発生する。

[0034] 積層圧電素子12は、実効層24の他、実効層24の周囲には幅約100 μm のマージン部25（異なる極性の電極が重なっていない部分の圧電体層）及び電極層16を備えるが、実効層24と比較して体積が小さいため、実質的に音圧には影響しない。実効層24の体積の合計をVとすると、Vは積層圧電素子の寸法を測定することで概算できる。

[0035] 図6に示すように、円形の振動板13の半径をR、振動板13の厚みを t_s とすると、本発明者は多角形の積層圧電素子12の実効層の体積の合計（V）が下記の条件式（式1）を満たすことによって、円形の積層圧電素子と同等の音圧を得ることができることを見出した。

$$0.2\pi R^2 \times t_s \leq V \leq 2.0\pi R^2 \times t_s \quad (\text{式1})$$

（但し、 π は円周率、Rは振動板の半径、 t_s は振動板の厚み）

[0036] 以下に、（式1）を導き出した過程を示す。

[0037] 円形の振動板13の半径をR、振動板13の厚みを t_s 、多角形の積層圧電素子12の実効層の対角線の長さの $1/2$ を αR 、積層圧電素子12の実効層の厚みを t_e とすると、多角形の積層圧電素子12の実効層の体積の合計（V）は以下ようになる。

$$V = ((2\alpha R) / (2^{0.5}))^2 \times t_e \quad (\text{式2})$$

[0038] α は0.9が好適である。 α は大きい方が積層圧電素子12と振動板13の接触面積が増えて電気音響変換装置11の音圧は高くなるが、多角形の積層圧電素子12を円形の振動板13に配置するにはマージンも必要だからである。（式2）に $\alpha = 0.9$ を入れると、以下ようになる。

$$V = 1.6R^2 \times t_e \quad (\text{式3})$$

[0039] ここで、解析条件を以下のようにして、振動板13の中心部Pの変位量を

評価した。

- ・拘束部：円形の振動板 13 のエッジ側面
- ・印加電圧：積層圧電素子 12 の厚み方向に $1 \text{ VDC} / 10 \mu\text{m}$ （電界強度一定）

[0040] 図 7 及び図 8 は、それぞれ振動板 13 の半径（ R ）が 4 mm 及び 8 mm の場合において、振動板 13 の厚み（ t_s ）と積層圧電素子 12 の実効層の厚み（ t_e ）を変動させたときの振動板 13 の中心部 P の変位量を示す。振動板 13 の厚み（ t_s ）を固定したとき（例えば、 $t_s = 100 \mu\text{m}$ ）、振動板 13 の中心部 P の変位量が最大になるのは、振動板 13 の大きさにかかわらず、積層圧電素子 12 の実効層の厚み（ t_e ）が振動板 13 の厚み（ t_s ）と同等より若干大きめのときであることがわかる。

[0041] 振動板 13 の半径（ R ）が 4 mm の場合の図 7 について、 x 軸を振動板 13 の厚み（ t_s ）に対する積層圧電素子 12 の実効層の相対厚み（ t_e / t_s ）に変換し、 y 軸を各振動板厚みにおける振動板中心部の最大変位量に対する振動板中心部の相対変位量に変換したものを図 9 に示す。なお、振動板 13 の半径（ R ）が 4 mm 以外の場合（例えば、 $R = 8 \text{ mm}$ の図 8）について同様の変換をしても、図 9 と同様の結果が得られる。

[0042] 図 9 より、 $0.4 \leq t_e / t_s \leq 4.0$ を満たすとき、振動板 13 の相対変位量は 0.6 以上であり、音圧を十分確保できることがわかる。これを（式 3）に入れると、 $0.2 \pi R^2 \times t_s \leq V \leq 2.0 \pi R^2 \times t_s$ となり、（式 1）が導かれる。

[0043] さらに図 9 より、 $0.6 \leq t_e / t_s \leq 2.5$ 及び $0.8 \leq t_e / t_s \leq 2.0$ を満たすとき、振動板 13 の相対変位量はそれぞれ 0.8 以上及び 0.9 以上であり、音圧確保の点でより好ましいことがわかる。これらを（式 3）に入れると、それぞれ以下ようになる。

$$0.3 \times \pi R^2 \times t_s \leq V \leq 1.3 \times \pi R^2 \times t_s \quad (\text{式 4})$$

$$0.4 \times \pi R^2 \times t_s \leq V \leq 1.0 \times \pi R^2 \times t_s \quad (\text{式 5})$$

[0044] 多角形の積層圧電素子の実効層の体積の合計（ V ）は $0.7 \sim 1830 \text{ m}$

mm^3 が好適である。本態様では、焼成後に積層圧電素子の実効層が対角線長 10 mm （長さ 7.07 mm 、幅 7.07 mm ）、高さ 0.15 mm （ $150\text{ }\mu\text{ m}$ ）になるように作成した。実効層の体積の合計（ V ）は 7.5 mm^3 である。

[0045] 振動板 13 の半径（ R ）は 5.55 mm 、厚み（ t_s ）は $200\text{ }\mu\text{ m}$ であるから、（式 1）の左辺、右辺に入れると以下ようになる。

$$0.2\pi R^2 \times t_s \text{（（式 1）の左辺）} = 3.9\text{ mm}^3$$

$$2.0\pi R^2 \times t_s \text{（（式 1）の右辺）} = 38.7\text{ mm}^3$$

実効層の体積の合計（ V ）は 7.5 mm^3 であるから、（式 1）を満たすことがわかる。

[0046] 本態様の正方形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置の音圧特性 27 と円形の積層圧電素子（積層圧電素子の半径は $0.9 \times R$ ）を備える電気音響変換装置の音圧特性 28 の比較を図 10 に示す。本態様の電気音響変換装置の音圧特性 27 は約 1000 Hz の第 1 のピークと約 4500 Hz の第 2 のピークでいずれも 100 dB を超えている。（式 1）を満たす本態様の電気音響変換装置は、円形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置と同等の音圧特性を示すことがわかる。

[0047] （第 2 の実施形態）

図 11 は第 2 の実施形態に係る電気音響変換装置 31 の内部構造を示す。第 2 の実施形態は、第 2 の電極層 32b に電氣的に接続されるリード線 33 の接続方法が第 1 の実施形態と異なる。それ以外は第 1 の実施形態と同様であるから、異なる点について説明する。

[0048] 積層圧電素子 34 の第 1 の表面には、第 1 の表面電極層 35 と、これと離間させて第 3 の表面電極 36 が形成される。第 3 の表面電極 36 及び第 2 の電極層 32b（振動板と接する側に形成された第 2 の表面電極層 37 を含む）は、第 1 の表面電極層 35 が引き出される側面と反対側の側面に引き出される。第 3 の表面電極 36 及び第 2 の電極層 32b（第 2 の表面電極層 37 を含む）は引き出された側面に形成された第 2 の側面電極 38 に接続される

。

[0049] 第2の電極層32b（第2の表面電極層37を含む）に電氣的に接続されるリード線33は積層圧電素子34の第1の表面に形成された第3の表面電極36にハンダ付けされる。それ故、積層圧電素子34の第2の表面に形成された第2の表面電極層37は振動板39との導通が必須ではない。したがって、振動板39としては第1の実施形態で記載した金属以外に樹脂も用いることができる。樹脂としては、PET、ウレタンがあげられる。

[0050] 第2の実施形態の実効層40（図11の斜線部）の体積の合計（V）は、 7.5 mm^3 であり、（式1）を満たす。

[0051] （第3の実施形態）

図12は第3の実施形態に係る電気音響変換装置41の内部構造を示す。第3の実施形態は、第2の電極層42bに電氣的に接続されるリード線43の接続方法及び積層圧電素子44の第2の表面に第2の表面電極層が形成されないことが第1の実施形態と異なる。それ以外は第1の実施形態と同様であるから、異なる点について説明する。

[0052] 積層圧電素子44の第1の表面には、第1の表面電極層45と、これと離間させて第3の表面電極46が形成される。振動板と接する側の積層圧電素子44の第2の表面に第2の表面電極層は形成されない。第3の表面電極46及び第2の電極層42b（第2の表面電極層は形成されない）は、第1の表面電極層45が引き出される側面と反対側の側面に引き出される。第3の表面電極46及び第2の電極層42b（第2の表面電極層は形成されない）は引き出された側面に形成された第2の側面電極48に接続される。

[0053] 第2の電極層42b（第2の表面電極層は形成されない）に電氣的に接続されるリード線43は積層圧電素子44の第1の表面に形成された第3の表面電極46にハンダ付けされる。それ故、第2の電極層42bは振動板49との導通が必須ではない。したがって、振動板49としては第1の実施形態で記載した金属以外に樹脂も用いることができる。樹脂としては、PET、

ウレタンがあげられる。

[0054] 第3の実施形態の実効層50（図12の斜線部）の体積の合計（V）は、
 6.0 mm^3

であり、（式1）を満たす。

[0055] （第4の実施形態）

図13は第4の実施形態に係る電気音響変換装置51の外観を示す。本態様では多角形の積層圧電素子52の頂点のうちの少なくとも1つに切り欠き53が形成される。積層圧電素子52が矩形の場合、4つの頂点の少なくとも1つ、最大3つに切り欠き53を形成することができる。

[0056] 切り欠き53が積層圧電素子52の基準点になるため、側面電極を特定の位置に形成したり、積層圧電素子52を円形の振動板の特定の位置に配置する作業を確実に行うことができる。このため、電気音響変換装置の音質のばらつきが小さくなる。識別できれば切り欠き53の形状は問わない。本態様では三角形状である。

[0057] （第5の実施形態）

図14は第5の実施形態に係る電気音響変換装置54の外観を示す。円形の振動板55は円周上に4つの多角形の切り欠き56を備える。隣り合わない一对の切り欠き56を結ぶ直線57は円形の振動板55の中心で交わる。直線の交わる角度は 90° でも、それ以外の角度でもよい。積層圧電素子58の多角形の頂点は隣り合う2つの切り欠き56の間に配置される。切り欠き56が基準点になるため、積層圧電素子58の位置決めが容易になる。

[0058] 支持部材59は同心円の段差に4つの突起60を備える（2つの突起60は段差の陰に隠れて図示されない）。4つの突起60は4つの多角形の切り欠き56と嵌め合う位置に形成される。切り欠き56と突起60が嵌め合うことによって、電気音響変換装置54を支持部材59に固定することが容易になる。

[0059] 積層圧電素子が円形の場合、切り欠きに積層圧電素子がかからないようにするために積層圧電素子の半径を小さくしなければならない。本態様では、

多角形の積層圧電素子 5 8 の頂点が切り欠き 5 6 にかからないように配置される。積層圧電素子 5 8 を小さくすることなく配置することができるため、音圧を維持することができる。なお、切り欠き 5 6 を備える振動板 5 5 の半径は、切り欠きがないものと見なした仮想円で算出する。また、円形の振動板の外周部に突起が形成されている場合は、突起がないものと見なした仮想円で振動板の半径を算出する。

[0060] なお、上記のように本実施形態について詳細に説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるであろう。

[0061] 例えば、図 1 4 の電気音響変換装置 5 4 は切り欠き 5 6 の数を 4 つに特定したが、すくなくとも 1 つあれば、それを基準に電気音響変換装置 5 4 の位置を決めることは容易である。また、切り欠き 5 6 の形状も、突起と嵌め合えば、特に多角形に限定されない。切り欠き 5 6 の形状は、三角形、四角形、台形、正方形、長方形、五角形といった多角形その他、円弧、U 字等があげられる。

[0062] 支持部材 5 9 の突起 6 0 についても、切り欠き 5 6 と嵌め合えば数と形状は特に限定されない。突起 6 0 の形状は、三角形、四角形、台形、正方形、長方形、五角形といった多角形その他、円弧、U 字等があげられる。したがって、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれる。

符号の説明

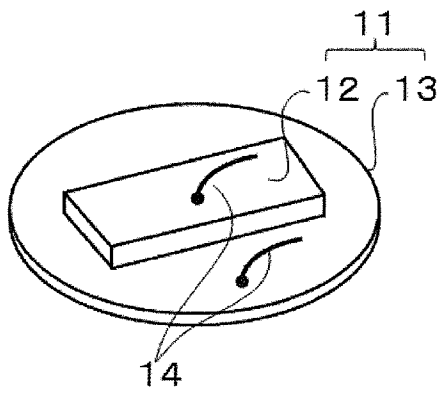
- [0063] 1 1、3 1、4 1、5 1、5 4、6 1 電気音響変換装置（圧電音響部品）
- 1 2、3 4、4 4、5 2、5 8、6 2、6 5 積層圧電素子（圧電板）
- 1 3、3 9、4 9、5 5、6 3 振動板（金属板）
- 1 4、3 3、4 3、7 1 リード線
- 1 5、6 6 圧電体層
- 1 6、6 7 電極層
- 1 6 a 第 1 の電極層

- 1 6 b、3 2 b、4 2 b 第2の電極層
- 1 7、3 5、4 5、6 8 第1の表面電極層
- 1 8、3 7、6 9 第2の表面電極層
- 1 9 内部電極層
- 2 0 第1の側面電極
- 2 1、3 8、4 8 第2の側面電極
- 2 2 振動板の変形が大きな領域
- 2 3 側面電極で破壊のおそれのある領域
- 2 4、4 0、5 0 実効層
- 2 5 マージン部
- 2 7 正方形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置の音圧特性
- 2 8 円形の積層圧電素子を備える電気音響変換装置の音圧特性
- 3 6、4 6 第3の表面電極
- 5 3、5 6 切り欠き
- 5 7 隣り合わない一对の切り欠きを結ぶ直線
- 5 9、6 4 支持部材（ケース）
- 6 0 突起
- 7 0 接続電極（スルーホール）

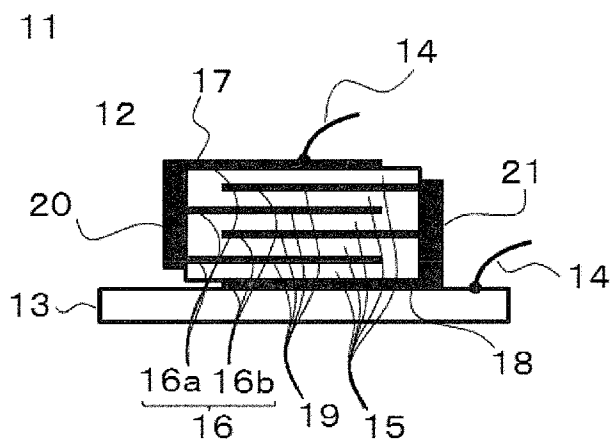
請求の範囲

- [請求項1] 圧電体層と電極層とが交互に積層され、極性が異なる少なくとも一対の電極層の間に前記圧電体層が配置された積層圧電素子と、
前記積層圧電素子が配置された振動板とを備え、
前記積層圧電素子は積層方向から見て多角形であり、
前記積層圧電素子が配置された前記振動板の面は円形であり、
前記少なくとも一対の電極層に挟まれる前記圧電体層のうち、積層方向から投影して前記少なくとも一対の電極層が重なる実効層の体積の合計（ V ）が下記の条件を満たすことを特徴とする電気音響変換装置。
- $$0.2\pi R^2 \times t_s \leq V \leq 2.0\pi R^2 \times t_s$$
- （但し、 π は円周率、 R は振動板の半径、 t_s は振動板の厚み）
- [請求項2] 請求項1に記載の電気音響変換装置において、
前記少なくとも一対の電極層は、極性が異なる第1の電極層と第2の電極層とを含み、
前記第1の電極層は、前記積層圧電素子の一つの側面に形成された第1の側面電極に接続され、
前記第2の電極層は、前記第1の側面電極が形成された側面とは異なる側面に形成された第2の側面電極に接続されることを特徴とする電気音響変換装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の電気音響変換装置において、
前記第1の電極層は、前記振動板と接する面とは反対側の前記積層圧電素子の表面に形成された電極層を含むことを特徴とする電気音響変換装置。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれかに記載の電気音響変換装置において、前記積層圧電素子は積層方向から見て正方形であることを特徴とする電気音響変換装置。

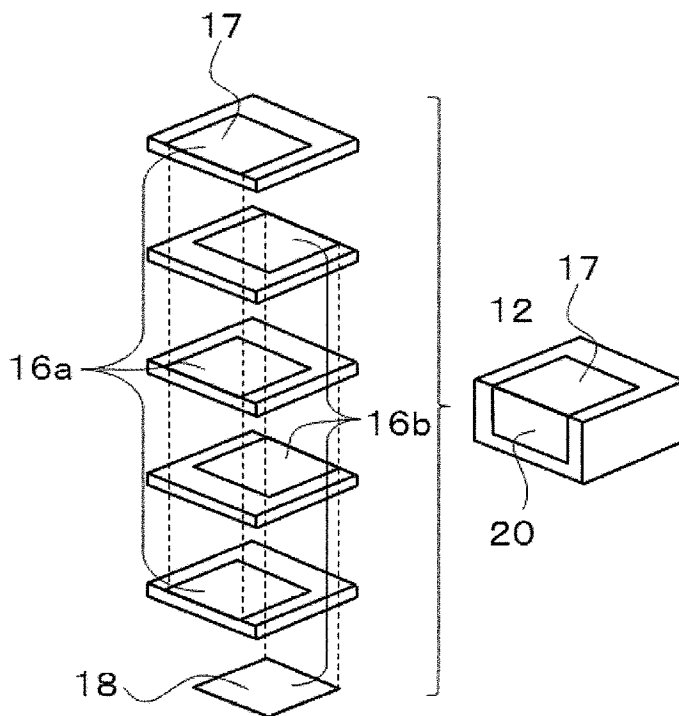
[図1]



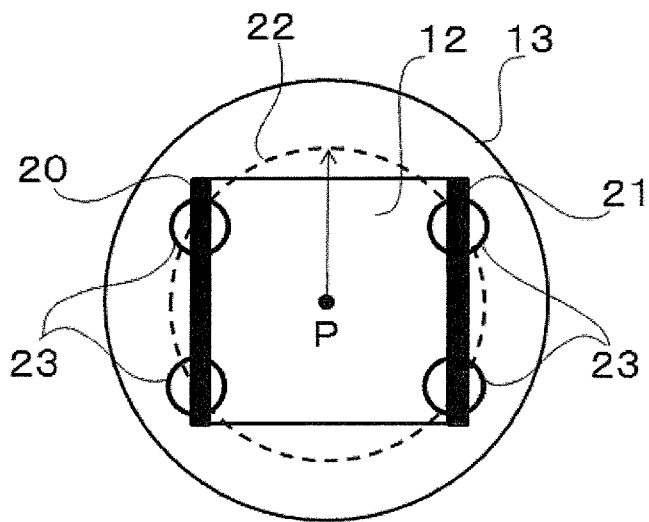
[図2]



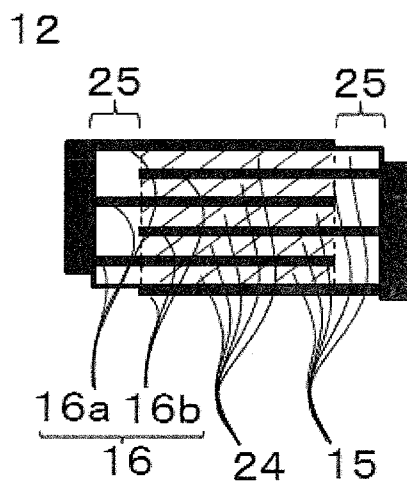
[図3]



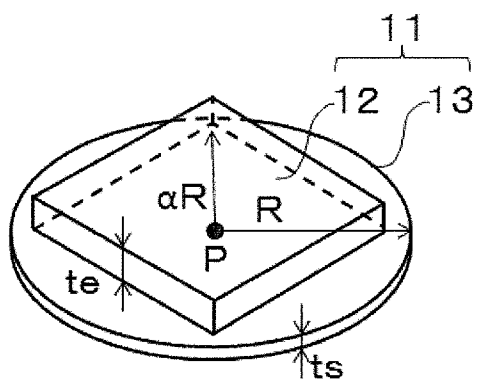
[図4]



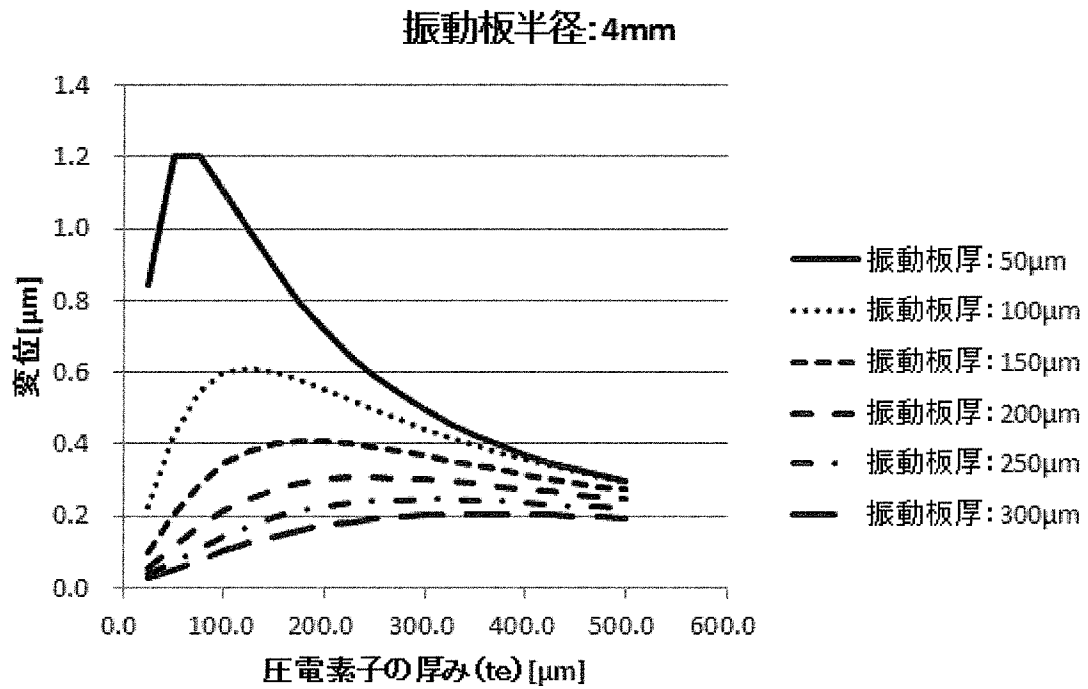
[図5]



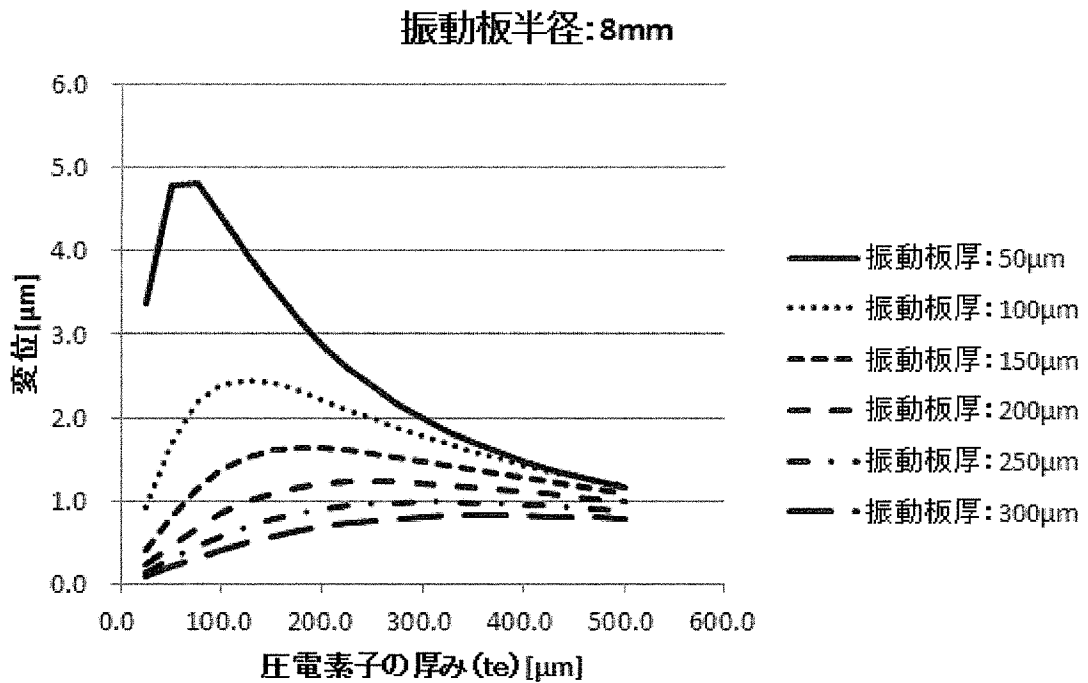
[図6]



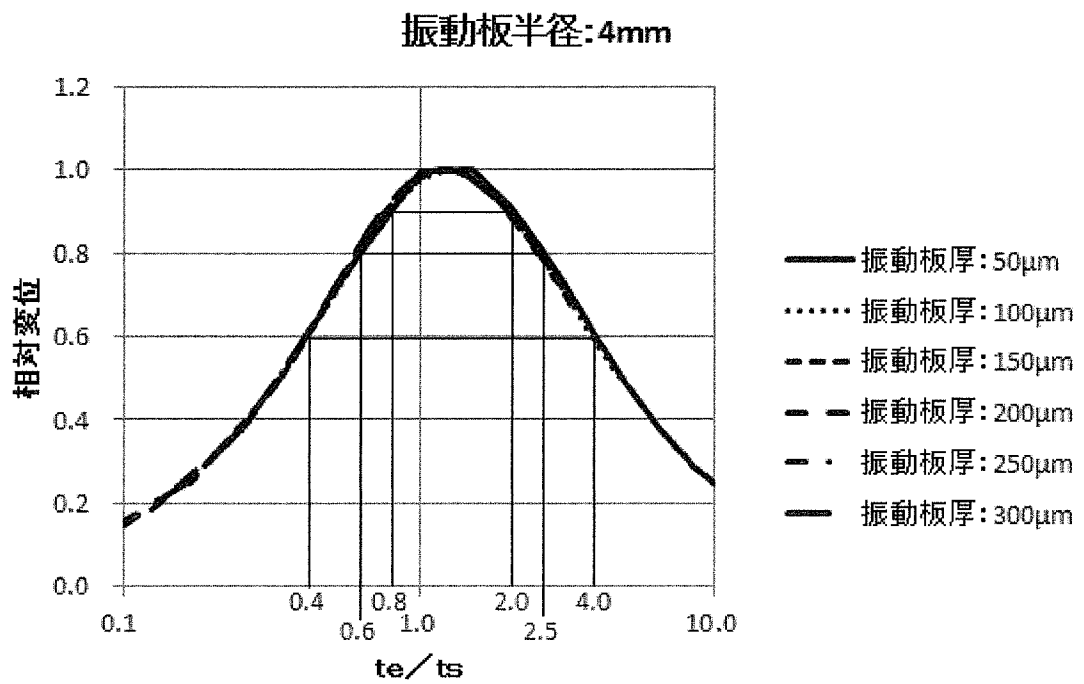
[図7]



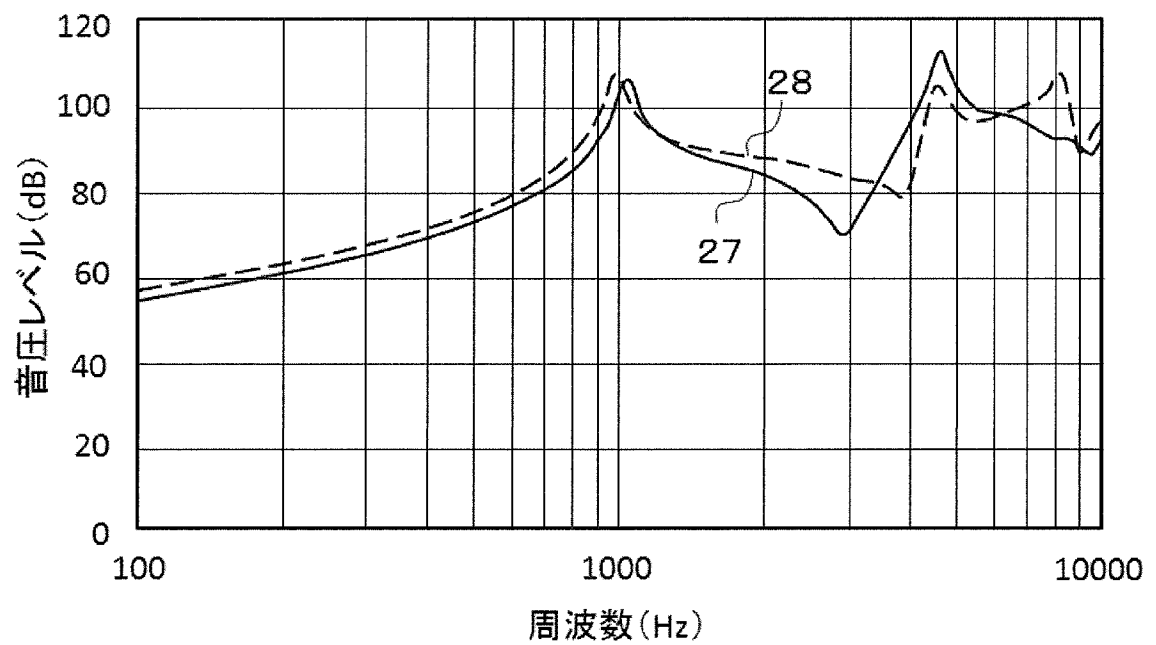
[図8]



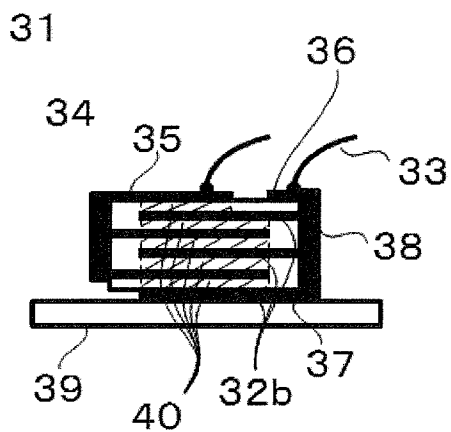
[図9]



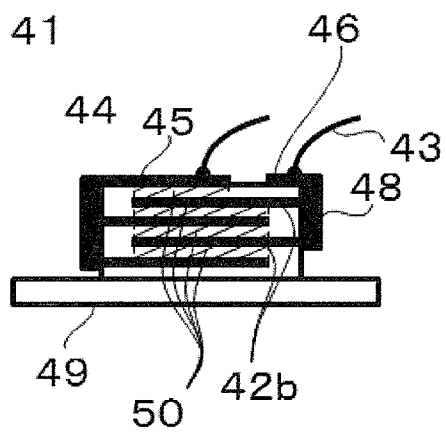
[図10]



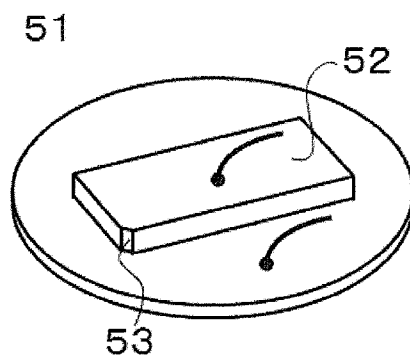
[図11]



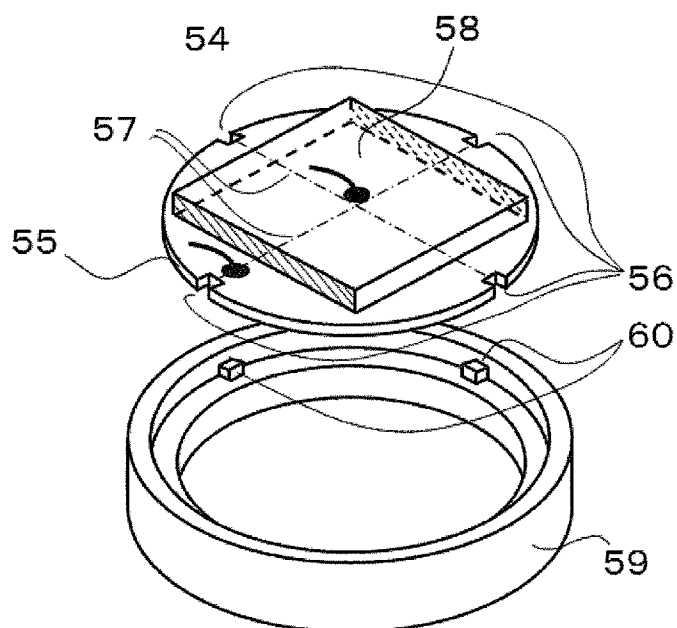
[図12]



[図13]



[図14]



A cross-sectional view of a semiconductor device. A substrate 61 is shown at the bottom. A gate stack 63 is formed on the substrate, consisting of a gate dielectric 65 and a gate electrode 67. A contact pad 69 is formed on the substrate, adjacent to the gate stack. A conductive layer 70 is formed on the contact pad and the gate stack. A conductive plug 71 is formed in the conductive layer, extending through the gate stack to the contact pad. A conductive layer 68 is formed on the conductive plug and the contact pad.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/074559

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04R17/00(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/083(2006.01)i, H01L41/293(2013.01)i, H02N2/00(2006.01)i, H04R7/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04R17/00, B06B1/06, H01L41/047, H01L41/083, H01L41/293, H02N2/00, H04R7/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2013/021906 A1 (Hokuriku Electric Industry Co., Ltd.), 14 February 2013 (14.02.2013), entire text; all drawings & US 2014/0241550 A1 & KR 10-2014-0050655 A	1-4
A	JP 5304252 B2 (NEC Corp.), 02 October 2013 (02.10.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 2001-238291 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 31 August 2001 (31.08.2001), entire text; all drawings & US 2001/0004180 A1 & KR 10-2001-0062423 A & CN 1304275 A	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 September 2015 (10.09.15)

Date of mailing of the international search report
29 September 2015 (29.09.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04R17/00(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/083(2006.01)i,
H01L41/293(2013.01)i, H02N2/00(2006.01)i, H04R7/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04R17/00, B06B1/06, H01L41/047, H01L41/083, H01L41/293, H02N2/00, H04R7/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2013/021906 A1（北陸電気工業株式会社）2013.02.14, 全文, 全図 & US 2014/0241550 A1 & KR 10-2014-0050655 A	1-4
A	JP 5304252 B2（日本電気株式会社）2013.10.02, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-4
A	JP 2001-238291 A（株式会社村田製作所）2001.08.31, 全文, 全図 & US 2001/0004180 A1 & KR 10-2001-0062423 A & CN 1304275 A	1-4

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 0 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 9 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

菊池 充

5 Z

4 5 4 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 8 9