

(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
2017年10月5日(05.10.2017)



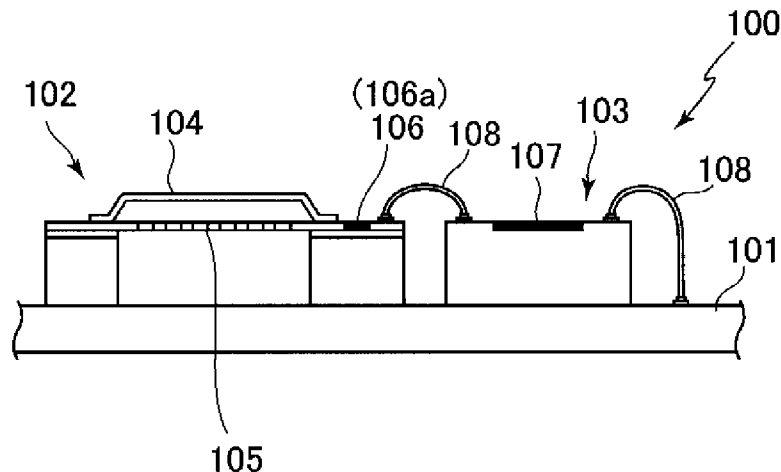
(10) 国際公開番号
WO 2017/170457 A1

- (51) 国際特許分類:
H04R 19/04 (2006.01) *H01L 29/84* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/012493
- (22) 国際出願日: 2017年3月27日(27.03.2017)
- (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 2016-064779 2016年3月28日(28.03.2016) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 田中 秀治(TANAKA Shuji); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). ヨーク フロメル(JOERG Froemel); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 平山 一幸(HIRAYAMA Kazuyuki); 〒1600022 東京都新宿区新宿1丁目13-1 大橋御苑駅ビル別館3階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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),

[続葉有]

(54) Title: PRESSURE SENSOR

(54) 発明の名称: 圧力センサ



(57) Abstract: Provided is a pressure sensor having high-performance characteristics. The pressure sensor 100 is provided with: one or more diaphragms 104; an opposing electrode 105 disposed so as to oppose the diaphragms 104; an input circuit 106a which, in response to a vibration signal of the diaphragms 104, converts a capacitance between the diaphragms 104 and the opposing electrode 105 into a voltage, current, or frequency signal; and a signal processing circuit 107 which performs analog processing and/or digital processing with respect to a signal from the input circuit 106a. The diaphragms 104 and the input circuit 106a are disposed on a first die 102, and the signal processing circuit 107 is disposed on a second die 103, the first die 102 and the second die 103 being connected by wiring.

(57) 要約: 高性能な特性を有する圧力センサを提供する。圧力センサ100が、一つ以上のダイヤフラム104と、ダイヤフラム104と対向するように設けられた対向電極105と、ダイヤフラム104の振動信号を受け、ダイヤフラム104と対向電極105との静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する入力回路106aと、入力回路106aからの信号に対しアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方をする信号処理回路107と、を備え、ダイヤフラム104と入力回路106aとが第1のダイ102に設けられ、信号処理回路107が第2のダイ103に設けられ、第1のダイ102と第2のダイ103とが配線で接続されている。

WO 2017/170457 A1

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：圧力センサ

技術分野

[0001] 本発明は、高性能な圧力センサに関する。

背景技術

[0002] 圧力センサは、例えば空気の圧力変化によるダイヤフラムの振動を測定するマイクロフォンとして利用されている。マイクロフォンの小型用途では、伝統的に、Electret Condenser Microphone (ECM) が用いられており、ヘッドセットからモバイルデバイスまでの広い範囲において使用されていた。しかし、ECMは、エレクトレットの耐熱性の問題から半田実装のために温度を上げられないことが問題であり、また、小型化・低背化に限界がある。そこで、特に小型化・低コスト化が求められる用途では、ECMは急速にMicro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術によるマイクロフォンに置き換えられた。

[0003] 現在、MEMSマイクロフォンは、小型、かつ低コストであり、耐衝撃性、音響位相特性などに優れることから、モバイルフォン、スマートフォン、タブレットコンピュータなどに広く搭載されている。多くの場合、ノイズキャンセリングのために、複数のMEMSマイクロフォンが搭載される。MEMSマイクロフォンには、静電型、圧電型及びpiezo抵抗型があるが、現在、市場を占めているものは静電型である。静電型は、バックチャンバーとバックプレート（対向電極）とセンシング用ダイヤフラムとを備え、バックプレートとダイヤフラムとの距離変化に応じて静電容量が変化し、その容量変化が読み出し回路によって電流、電圧又は周波数の変化に変換される。バックプレートには、空気が通過するための多数の穴（パーフォレーションホール）が設けられている。

[0004] マイクロフォンの性能指標としては、感度、信号／ノイズ比 (SNR)、

最大音圧レベル、ダイナミックレンジ、指向性、周波数特性、消費電力などがあるが、どこまで小さな音を拾えるかを示す指標がSNRである。現在、MEMSマイクロフォンのSNRは65 dB程度であるが、今後、音声認識等の応用が広がると、より高いSNRを有するMEMSマイクロフォンが必要になる。

[0005] 静電型MEMSマイクロフォンには、構造・構成についていくつかの種類がある。最も代表的には、ダイヤフラムとバックプレートはポリシリコン製である。ダイヤフラムの支え方には、一か所で支えるもの（特許文献1、非特許文献1）、四方で支えるもの（非特許文献2）、その他、全周で支えるものなどがある。これらのMEMSマイクロフォンでは、ダイヤフラム変位の読み出し回路（ASIC）は別のダイに形成され、ダイヤフラムを有するMEMSダイとワイヤボンディングで配線接続される（非特許文献1、3、4）。つまり、マイクロフォンのパッケージ内には、MEMSダイとASICダイの二つのダイが搭載される。一方、SNRを向上させるためには、ダイヤフラム－バックプレート間の静電容量と読み出し回路とはできる限り近い方がよく、そのため、ダイヤフラムと読み出し回路を含む必要な全ての回路とが同一ダイに形成された集積化MEMSマイクロフォンもある（特許文献2、非特許文献5）。このようなマイクロフォンでは、パッケージ内にはダイが一つだけ搭載される。ただし、読み出し回路を形成後、それを損傷させないような低温でダイヤフラムなどのMEMS構造を形成しなくてはならないため、独Akustica社の集積化MEMSマイクロフォンでは、ダイヤフラムに高温成膜されるポリシリコンが利用できず、低温形成できる有機・無機ハイブリッド構造が利用されている（非特許文献6）。ダイヤフラムの機械特性の点からは、この材料はポリシリコンと比べて望ましくない。あるいは、ポリシリコンの成膜温度に耐えられるように、回路を形成するのがもう一つの方法であり（非特許文献7）、このような集積化MEMSの製造法は、かつて慣性センサに広く適用されていたが、特殊な回路を用いなくてはならず、性能とコストの面から淘汰されている。

[0006] MEMSマイクロフォンのSNRを向上させるには、感度を上げるか、あるいはデバイスが発生する雑音を下げるか、どちらかが必要である。雑音には電氣的雑音と機械的雑音がある。前述の集積化MEMSマイクロフォンでは、MEMS構造と読み出し回路の一体化によって前者を下けている。後者のうち多くを占めるのが、バックプレートにけられた穴（パーフォレーションホール）で空気流が絞られることによって発生する流体雑音である。したがって、機械的雑音を減らすためにはバックプレートが不要である構造が望ましい。バックプレートをなくす方法としては、静電容量の読み出しをダイヤフラム周囲に設けた櫛歯電極によって行う方法（特許文献3、4）、圧電型（特許文献5、6、非特許文献8）やピエゾ抵抗型（非特許文献9）とする方法が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：US 5 8 7 0 4 8 2

特許文献2：US 7 8 6 3 7 1 4 B 2

特許文献3：US 2 0 1 4 / 0 1 9 7 5 0 2 A 1

特許文献4：US 2 0 1 5 / 0 0 2 1 7 2 2 A 1

特許文献5：US 2 0 1 0 / 0 2 5 4 5 4 7 A 1

特許文献6：US 9 0 5 5 3 7 2 B 2

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Peter V. Loeppert and Sung B. Lee, “SiSonic™-THE FIRST COMMERCIALIZED MEMS MICROPHONE”, Solid-State Sensors, Actuators, and Microsystems Workshop, Hilton Head Island, South Carolina, June 4-8, 2006, pp. 27-30

非特許文献2：村上歩，井上匡志，笠井隆，“ベンチレーション構造によるMEMSマイクロホンの機械強度向上”，第32回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム，（2015）28pm1-B-3

非特許文献3：Gregor Feiertag, Matthias Winter, Anton Leidl, “Flip ch

ip packaging for MEMS microphones” , Microsystem Technologies, 16 (2010) pp.817-823

非特許文献4 : Alfons Dehe, “Silicon microphone development and application” , Sensors and Actuators A, 133 (2007) pp.283-287

非特許文献5 : John J. Neumann Jr., Kaigham J. Gabriel, “CMOS-MEMS membrane for audio-frequency acoustic actuation” , Sensors and Actuators A, 95 (2002) pp.175-182

非特許文献6 : M. Brauer, A. Dehe, T. Bever, S. Barzen, S. Schmitt, M. Fuldner and R. Aigner, “Silicon microphone based on surface and bulk micromachining” , Journal of Micromechanics and Microengineering, 11 (2001) pp.319-322

非特許文献7 : Stephan Horowitz, Toshikazu Nishida, Louis Cattafesta and Mark Sheplak, “Development of a micromachined piezoelectric microphone for aeroacoustics applications” , Journal of the Acoustical Society of America, 122 (2007) pp.3428-3436

非特許文献8 : R. Schellin and G. Hess, “A silicon subminiature microphone based on piezoresistive polysilicon strain gauges” , Sensors and Actuators A, 32 (1992) pp.555-559

非特許文献9 : Sharpe Jr. N., Turner, K.T., Edwards, R.L., “Tensile testing of polysilicon” , Experimental Mechanics, 39 (1999) pp.162-170

非特許文献10 : Wei Hua Wang, “The elastic properties, elastic models and elastic perspectives of metallic glasses” , Progress in Materials Science, 57 (2012) pp.487-656

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 非特許文献1、3及び4においては、ダイヤフラムとそのダイヤフラムの変位の読み出し回路（ASIC）とは別々のダイに形成され、ワイヤボンディング等で配線接続されているため、ダイヤフラムの変位を読み出し回路で

読み出すことができる。しかしながら、ダイヤフラムの変位が微小であると、読み出し回路での信号が微小になるため、S N Rが悪くなる。一方、S N Rを向上させるためには、ダイヤフラム—バックプレート間の静電容量と読み出し回路とはできる限り近い方がよく、そのため、ダイヤフラムと読み出し回路を含む必要な全ての回路とが同一ダイに形成された集積化MEMSマイクロフォンがある。

[0010] 実際、ダイヤフラムと回路とを同一ダイ上に製造するには、次の二つの方法が考えられる。第一に、現行の標準的な半導体プロセスで回路を形成したウェハに、ダイヤフラムを形成する方法である。既に述べたように、回路を形成後、それに損傷を与えない材料とプロセスでダイヤフラムを形成する必要があり、これは樹脂膜や金属薄膜の利用で可能であるが、ダイヤフラム部に相当する面積を回路形成時にウェハに残しておく必要がある。現行の標準的な半導体プロセスでは、ウェハ上の単位面積あたりの付加価値が高いため、このような方法はコスト上不利である。

[0011] 第二に、ダイヤフラムを実績のあるポリシリコンで形成し、高温を必要とするポリシリコンの成膜に耐えられる特殊な回路をウェハに形成しておく方法である。この方法では、特殊な回路のための半導体プロセス、つまり特別な製造ラインを用意しなくてはならず、半導体ラインの整備・維持コストを考えると、この方法は経済的に難しい。さらに、上述の特殊な回路は、微細化を進められず、性能と小型化の点で著しく不利である。

[0012] 以上に述べたように、音声認識の高度化と普及に向けてMEMSマイクロフォンのS N R向上が求められているものの、従来のマイクロフォンの構成では、大型化、コスト増、あるいは性能上の妥協といった不利益なしに、それを実現することは難しい。このようなマイクロフォンでの課題は、気圧センサ、超音波センサなど、圧力センサの場合においても当てはまる。

[0013] そこで、本発明では、高性能な特性を有する小型の圧力センサを低コストに提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明は、次のコンセプトを有する。

[1] 一つ以上のダイヤフラムと、
前記ダイヤフラムと対向するように設けられた対向電極と、
前記ダイヤフラムの振動信号を受け、前記ダイヤフラムと前記対向電極との静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する入力回路と、
前記入力回路からの信号に対しアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方をする信号処理回路と、
を備え、
前記ダイヤフラムと前記入力回路とが第1のダイに設けられ、
前記信号処理回路が第2のダイに設けられ、
前記第1のダイと前記第2のダイとが配線で接続されている、圧力センサ。

[2] 前記第2のダイに設けられた回路のプロセッサーが、前記第1のダイに設けられた回路のプロセッサーと比較して、小さい、前記[1]に記載の圧力センサ。

[3] 前記信号処理回路は、前記入力回路により変換された信号の入力を受ける、前記[1]又は[2]に記載の圧力センサ。

[4] 前記入力回路がアンプを含む、前記[1]乃至[3]の何れか1項に記載の圧力センサ。

[5] 前記ダイヤフラムの数が2個以上16個以下である、前記[1]乃至[4]の何れかに記載の圧力センサ。

[6] 前記第1のダイと前記第2のダイが同一面に並べて配置されている、前記[1]乃至[5]の何れか1項に記載の圧力センサ。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、第1のダイがダイヤフラムとダイヤフラムの振動信号を受け、ダイヤフラムと対向電極との静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する入力回路とを備え、第2のダイが入力回路からの信号に対しアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方をする信号処理回路を備え

、第1のダイと第2のダイとが配線で接続されている。よって、ダイヤフラムの振動信号が同一ダイ上の入力回路に入力され、入力回路によって変換された電気信号がボンドワイヤ等の配線を経由して第2のダイ上の信号処理回路に入力される。電気的なS N Rは、初段の入力回路までの信号経路に最も影響を受けるため、ダイヤフラムと初段の入力回路とが同一ダイ上に形成される本発明の構成は、S N Rを高くできる。さらに、以下に述べる理由によって、高いS N Rを低コストに実現できる。

[0016] 第1のダイに集積化する入力回路は、世代の進んだ半導体プロセスで製造する必要は必ずしもない。例えば、微細な集積回路の製造には向かない旧世代の半導体ラインを活用してもよい。これは、初段の入力回路は、旧世代の半導体プロセス（たとえば、デザインルール0.35 μm ）を利用しても、性能が悪くなったり回路部が大きくなり過ぎたりすることはないからである。ただし、ダイヤフラムと回路を同一ウェハ上に形成するため、ダイヤフラムの材料とプロセスは、その回路に損傷を与えないものでなくてはならず、金属ガラス薄膜は有望材料の一つである。さらには、初段の入力回路のみであれば、ダイヤフラムの形成プロセスに耐えられるようにそれを設計し、例えばポリシリコン製ダイヤフラムの形成前に当該回路あるいはその一部を作製しておくということも可能である。一方、第2のダイに形成する回路、特にデジタル回路は、より世代の進んだ半導体プロセスで製造した方が、性能、小型化および省消費電力化の点から有利である。第2のダイは、いわゆるCMOSファウンドリに標準的に製造委託できるため、経済的にも有利である。

[0017] 以上のように、本発明によれば、高性能な特性を有する小型の圧力センサを低コストに提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施形態に係る圧力センサの構成を示す図である。

[図2]図1とは異なる本発明の実施形態に係る圧力センサの構成図である。

[図3]本発明の実施形態に係る圧力センサとしてのマイクロフォンのダイヤフ

ラム部分の構成を示す図である。

[図4]本発明の実施形態に係る圧力センサとしてのマイクロフォンを構成するダイヤフラムを示す図であり、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5A]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 1を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5B]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 2を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5C]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 3を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5D]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 4を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5E]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 5を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5F]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 6を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図5G]本発明の実施形態に係るマイクロフォンの製造方法に関するStep 7を示し、上段に平面図を、下段に断面図を示す。

[図6]実施例に関し、PdCuSi金属ガラスのAFM像である。

[図7]実施例に関し、ZrCuAlNi金属ガラスのAFM像である。

[図8]実施例に関し、金属ガラス製ダイヤフラムをStep 1～Step 5により作製する方法を示す図である。

[図9]実施例に関し、図8とは異なる金属ガラス製ダイヤフラムをStep 1～Step 5により作製する方法を示す図である。

[図10]実施例で作製したダイヤフラムのSEM像である。

[図11]ダイヤフラムの形状のバリエーションを示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 本発明を実施するための形態として、圧力センサがマイクロフォンである場合を想定して図面を参照しながら説明する。図示した形態は本発明を実施

するための最良の形態の一つであって、本発明の範囲において適宜変更したものも含まれる。圧力センサがマイクロフォンである場合のみならず、気圧センサ、超音波センサの場合でも適用することができる。

[0020] 図1は本発明の実施形態に係る圧力センサの構成を示す図である。本発明の圧力センサ100は、パッケージのベース101の上に第1のダイ102と第2のダイ103とを搭載して構成されている。第1のダイ102は、MEMS構造を有する金属ガラス製のダイヤフラム104と対向電極105と読み出し回路106を備え、ダイヤフラム104、対向電極105及び読み出し回路106はダイ上の図示しない配線により接続されている。対向電極105は複数のパーフォレーションホールを有する。読み出し回路106は入力回路106aを備え、入力回路106aは、ダイヤフラムの振動信号を受け、ダイヤフラム104と対向電極105の静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する。入力回路106aは、さらにアンプを含んで備えられていてもよい。電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換した後に増幅、変調、インピーダンス変換等をしてよい。入力回路106aには、例えばトランスインピーダンスアンプなどの初段アンプ、シュミットトリガなどの静電容量一周波数変換回路が挙げられる。第2のダイ103はアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方を行う信号処理回路（集積化回路）107を備える。第1のダイ102と第2のダイ103が同一面に並べて配置されている。第1のダイ102上の入力回路106aと第2のダイ103上の信号処理回路107は、ワイヤボンディングなどの配線108によりベース101に接続される。

[0021] よって、信号処理回路107は、入力回路106aにより変換された信号の入力を受ける。例えば、第1のダイ102上の入力回路106aの初段アンプで電圧変換され増幅された信号又は静電容量一周波数変換回路で周波数変換された周波数信号は、ワイヤボンディングの配線108によって第1のダイ102の外に容易に取り出すことができ、その後、第2のダイ103上の回路107によって処理される。

- [0022] 入力回路 106a として初段アンプ、静電容量一周波数変換回路などの各種回路の何れかをダイヤフラム 104 と一体化すれば、全ての回路を一体化しなくても、ノイズ低減やダイナミックレンジ拡大の効果が得られる。
- [0023] 第 2 のダイ 103 上の信号処理回路 107 がデジタル信号処理回路を含む場合、デザインルールの小さい半導体プロセスによって製造した方が性能上も大きさ上も有利である。デジタル信号処理回路は、ダイヤフラム 104 の MEMS 構造を形成するウェハとは別に、専門の半導体製造ライン（CMOS ファウンドリ等）で製造する方が経済的に合理的である。ダイヤフラム 104 を有する第 1 のダイ 102 に初段アナログ部を含む回路を形成し、それ以降の回路を別のダイである第 2 のダイ 103 に別の半導体プロセスルール（半導体の最小配線幅）で形成し、それらを配線 108 で接続する。
- [0024] プロセスルールについてさらに説明すると、集積化マイクロフォンの第 1 のダイ 102 の上の回路のプロセスルールと第 2 のダイ 103 に形成された回路のプロセスルールとが異なり、より具体的には後者のプロセスルールを前者のプロセスルールよりも小さくする。マイクロフォンの第 1 のダイ 102 は、例えば $0.35\ \mu\text{m}$ 、 $0.18\ \mu\text{m}$ のルールで形成され、デジタル回路のチップとなる第 2 のダイ 103 は、例えば $0.18\ \mu\text{m}$ 以下の $0.14\ \mu\text{m}$ 、 $90\ \text{nm}$ のルールで形成される。また、マイクロフォン、デジタル回路がそれぞれ作製されるウェハサイズも異なり、マイクロフォンは 8 インチのウェハに作製され、デジタル回路のチップは 12 インチのウェハに作製される。このように、第 2 のダイ 103 に設けられた回路のプロセスルールが、第 1 のダイ 102 に設けられた回路のプロセスルールと比較して、小さい。
- [0025] 図 2 は、図 1 とは異なる本発明の実施形態に係る圧力センサの構成を示す図である。圧力センサ 200 は、パッケージのベース 201 の上に第 1 のダイ 202 と第 2 のダイ 203 とを搭載して構成されている。第 1 のダイ 202 は、MEMS 構造を有する金属ガラス製のダイヤフラム 204 と対向電極 205 と読み出し回路 206 を備え、ダイヤフラム 204、対向電極 205

及び読み出し回路206とはダイ上の図示しない配線により接続されている。対向電極205は複数のパーフォレーションホールを有する。読み出し回路206は入力回路206aを備える。入力回路206aは、ダイヤフラム204の振動信号を受け、ダイヤフラム204と対向電極205との静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する。入力回路206aは、さらにアンプを含んで備えられていてもよい。電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換した後に増幅、変調、インピーダンス変換等をしてよい。入力回路206aとしては、例えばトランスインピーダンスアンプなどの初段アンプ、シュミットトリガなどの静電容量一周波数変換回路が挙げられる。第2のダイ203はアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方を行う信号処理回路（集積化回路）207を備える。

[0026] 図2に示す圧力センサ200では、図1とは異なり、ベース201はサウンドホール201aを備え、さらにベース201上に配線201bがパターンを有するように形成されており、バンプ208が配線201bに搭載され、各バンプ208はダイヤフラム204、読み出し回路206、信号処理回路207に接続されている。

[0027] 図2に示す圧力センサ200の場合においても、例えば、第1のダイ202上の入力回路206aの初段アンプで電圧変換され増幅された信号又は静電容量一周波数変換回路で周波数変換された周波数信号は、バンプ208及び配線201bによって第1のダイ202の外に容易に取り出すことができ、その後、第2のダイ203上の信号処理回路207によって処理される。必要に応じて、パッケージのベース201と第1のダイ202との間の隙間を樹脂などの封止材209で封じ、音圧が漏れないようにする。

[0028] 従って、図2に示す圧力センサ200では、ダイヤフラム204の振動信号は読み出し回路206内の入力回路206aに入力され、入力回路206aにより電圧変換され増幅された信号又は周波数変換された周波数信号に変換され、入力回路206aからバンプ208、配線201b及びバンプ208を経由して、第2のダイ203の信号処理回路207に入力される。

[0029] 入力回路 206a として初段アンプ、静電容量一周波数変換回路などの各種回路をダイヤフラム 204 と一体化すれば、全ての回路を一体化しなくても、ノイズ低減やダイナミックレンジ拡大の効果が得られる。

[0030] 図 1 及び図 2 に示す圧力センサ 100, 200 において、ダイヤフラム 104, 204 は、読み出し回路 106, 206 に損傷を与えない材料及びプロセスで作製されれば限定されない。以下では、ダイヤフラムが金属ガラスである場合を例にとって説明する。金属ガラス製のダイヤフラムは、柔らかく変形し易いため、圧力による変形が容易であり、かつ機械強度を維持することができる。

[0031] 図 3 は、本発明の実施形態に係る圧力センサとしてのマイクロフォンのダイヤフラム部分の構成を示す図である。本発明の実施形態に係るマイクロフォン 10 は、図 3 に示すように、円筒形の支持枠 11 に、金属ガラスからなるダイヤフラム 12 と対向電極 13 とを備える。支持枠 11 はキャビティ 11a を備え、対向電極 13 は複数のパーフォレーションホール 13a を備える。図 3 に示す形態では、ダイヤフラム 12 と対向電極 13 とが対向しており、ダイヤフラム 12 の音圧による変位を静電容量として計測し、図示しない読み取り回路により電圧に変換する。

[0032] 本発明の実施形態では、ダイヤフラム 12 を金属ガラス膜で構成する。ここで、金属ガラスでダイヤフラムを構成することで、感度が良くなることを材料力学に基づいて説明する。

[0033] 面積 A を有するダイヤフラム 12 と対向電極 13 とで構成される隙間 d の静電容量 C は、 ϵ_0 を空気の誘電率として式 1 で記述される。ここで、ダイヤフラム 12 及び対向電極 13 との間に DC 電圧 V_{DC} を印加すると、静電力によって間隔 d が x_{DC} だけ小さくなり、そのときの静電容量 C_0 は式 2 で記述される。また、そのときに蓄積される電荷 Q_{DC} は式 3 で記述される。

[数1]

$$C = \frac{A}{d} \epsilon_0 \quad (\text{式 1})$$

[数2]

$$C_0 = \frac{A}{d - x_{DC}} \epsilon_0 \quad (\text{式 2})$$

[数3]

$$Q_{DC} = C_0 V_{DC} \quad (\text{式 3})$$

音圧がダイヤフラム 12 に到達し、それによってダイヤフラム 12 が x_{AC} の変位で振動すると、ダイヤフラム 12 の変位 x は式 4 で記述され、

そのとき生じる電圧 V_{AC} は式 5 で記述される。マイクロフォン 10 の出力電流はインピーダンス Z_I とすると、式 6 の電流 I_{AC} で示される。

[数4]

$$x = d - x_{DC} + x_{AC} = d_0 + x_{AC} \quad (\text{式 4})$$

[数5]

$$V_{AC} = \frac{d_0}{\epsilon_0 A} Q_{DC} + \frac{x_{AC}}{\epsilon_0 A} Q_{DC} \quad (\text{式 5})$$

[数6]

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_I} \quad (\text{式 6})$$

[0034] 一方、ダイヤフラム 12 に圧力 P を印加したときの変形は材料力学の式によって見積もることができ、中心から距離 r の位置での変位 $x(r)$ は、 a

、 t をそれぞれダイヤフラム 1 2 の半径、厚さとして、式 7 で記述される。
ここで D はダイヤフラム 1 2 の曲げ剛性であり、式 8 で記述される。 E はダイヤフラム 1 2 の材料のヤング率、 ν はダイヤフラム 1 2 の材料のポアソン比である。平均的な変位 x は式 9 で求まる。

[数7]

$$x(r) = \frac{P a^4}{64 D} \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)^2 = x_p \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)^2 \quad (\text{式 7})$$

[数8]

$$D = \frac{E t^3}{12 (1 - \nu^2)} \quad (\text{式 8})$$

[数9]

$$x = \frac{\int_0^a 2 \pi r x(r) dr}{\pi a^2} = P \frac{a^4}{192 D} = \frac{x_p}{3} \quad (\text{式 9})$$

ただし、 x_p はダイヤフラム 1 2 の中心 ($r=0$) での変位 (最大変位) である。

[0035] よって、式 6 と式 9 とから、式 10 に示す関係が得られる。

[数10]

$$I_{AC} \sim x \sim \frac{1}{D} \sim \frac{(1 - \nu^2)}{E} \quad (\text{式 10})$$

この式から、寸法が同じであれば、出力電流はダイヤフラム 1 2 の材料の

ヤング率 E におおよそ反比例することがわかる。つまり、感度はダイヤフラム 1 2 の材料のヤング率 E におおよそ反比例する。

[0036] マイクロフォンの相対的な感度について、ダイヤフラム 1 2 の材料がポリシリコン、金属ガラスとして $PdSiCu$ と $ZrCuAlNi$ である場合を比較したのが表 1 である。なお、ポリシリコンのデータ (*) は非特許文献 9 から引用している。金属ガラスのデータ (**) は非特許文献 10 から引用している。

[0037] [表1]

	ポリ S i	金属ガラスPdSiCu	金属ガラスZrCuAlNi
ヤング率 E [GPa]	162 ± 14 *	80	80.5 **
ポアソン比 ν	0.22 ± 0.01 *	0.411 **	0.375 **
$\left(\frac{1 - \nu^2}{E} \right) [\text{Pa}^{-1}]$	$\sim 5.9 \times 10^{-12}$	$\sim 10.4 \times 10^{-12}$	$\sim 10.7 \times 10^{-12}$

[0038] 表 1 から、相対感度 $((1 - \nu^2) / E)$ は、ポリシリコンを金属ガラスに置き換えることにより、大雑把に約 2 倍になることが分かる。

[0039] ダイヤフラム 1 2 は過大圧力や衝撃に耐える必要があるため、ダイヤフラム 1 2 の機械強度も重要である。表 2 に、ポリシリコン、金属ガラスとして $PdSiCu$ と $ZrCuAlNi$ の引張強度を示す。なお、ポリシリコンのデータ (*) は非特許文献 9 から引用している。金属ガラスのデータ (**) は非特許文献 10 から引用している。

[表2]

	ポリ S i	金属ガラスPdSiCu	金属ガラスZrCuAlNi
引張強度 [GPa]	1.45 ± 0.19 *	1.1	1.8 **

[0040] 金属ガラスは、ポリシリコンと同じか又はそれ以上の引張強度を有する。

さらに重要なことに、金属ガラスは延性材料であり、脆性材料であるポリシリコンと比べて衝撃や応力集中で破壊しにくい。したがって、ダイヤフラム 12 の材料をポリシリコンから金属ガラスに変更することで、信頼性を保ちつつ、ダイヤフラム 12 を薄くできる。あるいは、同じダイヤフラム厚さであれば、信頼性を高くできる。

[0041] 次に、ダイヤフラム 12 の周波数特性について検討する。ダイヤフラム 12 の一次曲げ共振角振動数 ω_0 は式 11 で与えられ、 k_1 はダイヤフラム 12 の等価ばね定数、 m は等価質量、 ρ は密度である。

[数11]

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1}{m}} = \frac{10.22}{\left(a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}}\right)} \quad (\text{式 11})$$

ただし、

[数12]

$$k_1 = \frac{192\pi D}{a^2} \quad (\text{式 12})$$

これから、寸法が同じ場合、金属ガラス製ダイヤフラムに対するポリシリコン製ダイヤフラムの共振周波数の比は、式 13 で表される。

[数13]

$$\frac{\omega_{0 \text{ poly Si}}}{\omega_{0 \text{ TMG}}} = \sqrt{\frac{\frac{\rho_{\text{TMG}}}{D_{\text{TMG}}}}{\frac{\rho_{\text{poly Si}}}{D_{\text{poly Si}}}}} = \sqrt{\frac{\frac{\rho_{\text{TMG}}(1-\nu_{\text{TMG}}^2)}{E_{\text{TMG}}}}{\frac{\rho_{\text{poly Si}}(1-\nu_{\text{poly Si}}^2)}{E_{\text{poly Si}}}}} \quad (\text{式 13})$$

[0042] 表 3 は、ポリシリコン、金属ガラスとして PdSiCu と ZrCuAlN

i についての密度、相対感度 $((1 - \nu^2) / E)$ 、共振周波数比を示す。なお、金属ガラスのデータ（**）は非特許文献 10 から引用している。

[0043] [表3]

	ポリ S i	金属ガラスPdSiCu	金属ガラスZrCuAlNi
密度[kg/m ³]	2.3×10^3	10.4×10^3 **	6.67×10^3 **
$\frac{(1 - \nu^2)}{E}$	$\sim 5.9 \times 10^{-12} / \text{Pa}$	$\sim 10.4 \times 10^{-12} / \text{Pa}$	$\sim 10.7 \times 10^{-12} / \text{Pa}$
$\frac{\omega_{\text{ポリシリコン}}}{\omega_{\text{TMC}}}$	1	2.8	2.3

[0044] 表 3 から、同じ寸法でダイヤフラムを作製すると、金属ガラス製はポリシリコン製と比べて、圧力センサとしての感度がおおよそ 2 倍になるものの、共振周波数が $1/2$ から $1/3$ に下がる。圧力センサをマイクロフォンとして用いる場合、設計によっては共振周波数が音声周波数内に入ってきて問題になる可能性がある。したがって、金属ガラスを用いてマイクロフォンのダイヤフラムを作製する際には、材料特性に応じて寸法を最適設計しなくてはならない。式 7 と式 8 と式 11 から分かるように、ダイヤフラムの共振周波数を保ったまま厚さを X 倍にすると、それに応じてダイヤフラムの半径 a が $\sqrt{X}$ 倍に変化し、相対的な感度は $1/X$ 倍になる。このことから、ダイヤフラムを薄くしそれに合わせてダイヤフラムを小さくすれば、感度を向上できることがわかる。ただし、ダイヤフラムが薄くなっても十分な耐圧が確保される必要がある。

[0045] ここで、 $\text{Zr}_{53}\text{Ti}_5\text{Cu}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Al}_{10}$ 金属ガラス製ダイヤフラムを想定し、材料力学に基づいて具体的な設計を行うと、ポリシリコン製ダイヤフラムに比べて厚さを 0.33 倍、直径を 0.39 倍にすれば、おおよそ同じ共振周波数と耐圧が得られる。このとき、相対的な感度はポリシリコン製のそれと比べてほぼ同じ（1.03 倍）になる。一方、ダイヤフラムの面積は

おおよそ0.15倍になり、感度を保ったままダイの大幅な小型化が可能である。

[0046] 上述の設計では、ダイヤフラムが大幅に小さくなるので、同一ダイの上に複数のダイヤフラムを搭載することが可能になるが、マトリックス状にM行×N列のダイヤフラムを同一のダイに配置することも可能になり、例えば2行×4列のダイヤフラムを同一ダイの上に配すると、ダイの面積はおおよそ20%しか増えないのに対して、感度は8倍以上に向上する。また、本発明による圧力センサを超音波センサとして用いる場合、複数のダイヤフラムを用いてフェーズドアレイを構成することが可能であり、超音波による物体の距離と方向が測定できる。

[0047] さらに、本発明によれば、ダイヤフラムの厚さをダイヤフラム内で変化させ、たとえば、蜂巢状、格子状、放射状、同心円状、あるいはそれらの組み合わせ形状に厚い部分を配置させ、共振周波数と機械的強度を高く保ちつつ感度を向上できる。

[0048] 図4は、本発明の実施形態に係るマイクロフォン20を構成するダイヤフラム21を示す図であり、上段に平面図を、下段に断面図を示す。マイクロフォン20は、MEMSダイ22を備え、キャビティ23を有する基板24と、基板24上に複数のパーフォレーションホール25を有する対向電極26と、ダイヤフラム21とを備え、少なくともダイヤフラム21と対向電極26とが絶縁されている。基板24には読み出し回路27が搭載されている。ダイヤフラム21は、厚い部分21aが蜂巢状に配置されており、薄い部分21bを区画している。パーフォレーションホール25と厚い部分21aとが対向するようにしてもよいし、厚い部分がダイヤフラム21の反対側に形成されていてもよい。これにより、ダイヤフラム21を金属ガラスで形成しても、確実に強度を持たせることができる。

[0049] ダイヤフラムの剛性、またそれと関係する共振周波数はダイヤフラムの応力によっても変化する。したがって、ダイヤフラムの特性を制御するパラメータの一つに応力がある。上記の共振周波数低下の問題を解決する方法の一

つに、金属ガラス製のダイヤフラムにおける共振周波数が、Si製のダイヤフラムにおける共振周波数と同程度になるように、ダイヤフラムの応力を引張にする方法がある。ダイヤフラムが引っ張られていることにより共振周波数が高くなるが、0～500MPaの引張応力が好ましい。引張応力とすることでダイヤフラムが破壊しやすくなるという問題があるが、この範囲の引張応力であれば、金属ガラスの優れた機械特性によって解決できる。

[0050] 図5A乃至図5Gは、本発明の実施形態に係るマイクロフォン30の製造方法を示す図である。図5A乃至図5Gでは、それぞれ上段に平面図を、下段にA-A線に沿った断面図を示している。なお、読み取り回路については図示していない。

Step1として、対向電極となる層（「対向電極層」と呼ぶ。）31cを有する基板31を用意する。基板31には（図示しない）読み取り回路が予め作製されている。具体的には、図5Aに示すように、Si基板31a上にSiO₂層31bを有しさらにSiO₂層31b上にSi半導体層31cを有するSOI基板31を用意する。

Step2として、対向電極層31cに複数のホール（パーフォレーションホール）32を設ける。具体的には、図5Bに示すように、SOI基板31の表面のSi半導体層31cに複数のホール（パーフォレーションホール）32をエッチングによって設ける。また、Si半導体層31c各隅の部分を矩形状にエッチングし、SiO₂層31bを露出させている。このとき、（図示しない）読み取り回路はフォトレジストによって保護する。

Step3として、ホール32を埋めると共に対向電極層31c上に犠牲層33を設ける。具体的には、図5Cに示すように、ホール32を埋めると共にSi半導体層31c上に樹脂（フォトレジスト）の犠牲層33を設ける。必要に応じて、リフローによって樹脂の表面を平坦化する。

Step4として、対向電極層31cの一部及び犠牲層33上に金属ガラスを層状に設ける。具体的には、図5Dに示すように、Si半導体層31cの一部及び犠牲層33上に金属ガラス層34を設ける。ここで、金属ガラス

はスパッタ法で成膜し、フォトリジストをマスクにしたエッチングによりパターンニングする。図示しない読み取り回路上の金属ガラスも除去する。金属ガラス層34の一部はSiO₂層31b上に設けられて支持部34aとなる。ダイヤフラムの厚さを場所によって変える場合には、既設の金属ガラス上にフォトリジストをパターンニングし、その上に金属ガラスをスパッタ法で成膜してリフトオフする。

次に、ダイヤフラムと対向電極と読み取り回路とを薄膜配線で接続し（図示せず）、対向電極、犠牲層33、金属ガラス層24を基板31の裏面エッチングによって基板31からリリースする。

具体的には、Step 5として、図5Eに示すように、SOI基板31の裏側のSi基板31aの一部をエッチングによって取り除き、キャビティの一部35aを構成する。

Step 6として、図5Fに示すように、Si半導体層31cの裏面側まで基板31を取り除き、キャビティ35を形成する。

Step 7として、図5Gに示すように、犠牲層33を酸素アッシング、有機溶媒によるエッチング、あるいは原子状水素エッチングによって取り除き、ダイヤフラム36をリリースする。

Step 7として、図5Gに示すように、犠牲層33を酸素アッシング、有機溶媒によるエッチング、あるいは原子状水素エッチングによって取り除き、ダイヤフラム36をリリースする。

[0051] この一連のプロセスは、高温プロセスを用いておらず低温成膜プロセスであるため、容易にマイクロフォン上に回路を集積化できる。予め作製した読み取り回路とダイヤフラム36との配線、第2のダイとの配線を形成することも容易である。

[0052] 金属ガラスとしては、前述では、PdSiCuとZrCuAlNiの場合を例にあげたが、Zr系金属ガラス、Pd系金属ガラス、Pt系金属ガラス、Au系金属ガラス、Fe系金属ガラス、Ni系金属ガラス、Mg系金属ガラス、Co系金属ガラス、Cu系金属ガラスの何れかであってもよい。

Zr系金属ガラスとして、 $Zr_{53}Ti_5Cu_{20}Ni_{12}Al_{10}$ 、 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 、 $Zr_{75}Cu_{19}Al_6$ などがあり、

Pd系金属ガラスとして、 $Pd_{40}Ni_{10}Cu_{30}P_{20}$ 、 $Pd_{78}Cu_6Si_{16}$ などがあり、

Pt系金属ガラスとして、 $Pt_{58}Cu_{15}Ni_5P_{23}$ などがあり、

Au系金属ガラスとして、 $Au_{49}Ag_6Pd_2Cu_{27}Si_{16}$ などがあり、

Fe系金属ガラスとして、 $Fe_{76}Si_9B_{10}P_5$ などがあり、

Ni系金属ガラスとして、 $Ni_{60}Nb_{15}Ti_{20}Zr_5$ などがあり、

Mg系金属ガラスとして、 $Mg_{57}Cu_{34}Nd_9$ 、 $Mg_{64}Ni_{21}Nd_{15}$ などがある。

Co系金属ガラスとして、 $Co_{56}Ta_9B_{35}$ などがある。

Cu系金属ガラスとして、 $Cu_{50}Zr_{50}$ 、 $Cu_{50}Zr_{45}Al_5$ などがある。

これらの金属ガラスはスパッタリング法で膜状に作製することができる。

[0053] 金属ガラスはZrを主元素とするとよい。これは、引張強度が高く密度が小さく機械特性に優れるだけでなく、Pd、Au、Ptを主成分とする金属ガラスと比べ原材料を安価に入手でき、製造コストを削減するからである。また、磁性がないため磁気ノイズの影響を受けない。Co系の金属ガラスとCu系金属ガラスは密度に対する強度（比強度）が大きく、前者は特に大きい。

以下、実施例によりさらに具体的に説明する。

実施例

[0054] 先ず、MEMSマイクロフォン用の新しい材料として、 $PdCuSi$ と $ZrCuAlNi$ を選択した。金属ガラス膜がスパッタリング法によって堆積できることは従来から知られていたが、MEMS材料としては一般的ではない上、膜応力制御が容易ではなく、0応力から適切な引張応力に膜応力を精密制御しなくてはならないMEMSマイクロフォンに適用するという発想はなく、その可能性も示されていなかった。本発明者らは、基礎検討を行い、スパッタリング法によって成膜した金属ガラスがMEMSマイクロフォンに

適用できることを見出した。

- [0055] PdCuSi 金属ガラスを次の条件でスパッタリング法により堆積した。スパッタリングにおいて、高周波電力を100Wとし、Arガス流量を10 sccmとし、堆積圧力を1.34 Paとし、堆積時間を50分とし、1サイクルを300秒とし、クールダウン時間を300秒とした。基板の回転速度を20 rpmとした。PdCuSi 金属ガラスの堆積速度は16.6 nm/分であった。その後、350℃乃至410℃でアニーリングを行い、膜応力を上記の範囲に調整した。
- [0056] 図6はPdCuSi 金属ガラスのAFM像である。この像から、表面粗さRaは0.1 nm程度であり、十分平滑な金属ガラス薄膜が形成されていることが分かった。
- [0057] ZrCuAlNi 金属ガラスを次の条件でスパッタリング法により堆積した。スパッタリングにおいて、高周波電力を100Wとし、Arガス流量を15 sccmとし、堆積圧力を0.4 Paとし、堆積時間を60分とし、1サイクルを300秒とし、クールダウン時間を300秒とした。基板は回転させなかった。ZrCuAlNi 金属ガラスの堆積速度は11.83 nm/分であった。その後、400℃乃至480℃でアニーリングを行い、膜応力を上記の範囲に調整した。
- [0058] 図7はZrCuAlNi 金属ガラスのAFM像である。この像から、表面粗さRaは0.2 nm程度であり、十分平滑な金属ガラス薄膜が形成されていることが分かった。
- [0059] 次に、MEMSマイクロフォン構造の試験のために、金属ガラス製ダイヤフラムを次の要領で試作した。図8は、実施例としての金属ガラス製ダイヤフラムの作製方法を示す図である。
- [0060] Step 1として、Si基板61上に犠牲層としてフォトレジスト62を堆積し、パターニングした。
- Step 2として、加熱してフォトレジスト62をリフローした。
- Step 3として、金属ガラス膜63を堆積し、基板裏面にマスク64を

パターニングした。ダイヤフラムの厚さを場所によって変化させる場合、この上にパターニングされた金属ガラス膜をフォトレジストを用いたリフトオフ法によって形成する。

Step 4として、基板61のSiをエッチングし、キャビティ65を構成した。

Step 5として、酸素アッシング又はアセトンにより犠牲層としてのフォトレジスト62及びマスク64を除去した。

[0061] 図9は、実施例としての金属ガラス製ダイヤフラムの別の試作方法を示す図である。

Step 1として、Si基板71の両面を酸化してSiO₂層72, 73とし、一方の面のSiO₂層72をパターニングした。

Step 2として、SiO₂層72を設けた側のホールにフォトレジスト74を設けるようパターニングし、リフローした。

Step 3として、スパッタリング法によって金属ガラス膜75を堆積した。

Step 4として、バックサイド側のSiO₂層73をパターニングした。

Step 5として、Si基板71の一部を、KOHによりエッチングし、キャビティ76を形成し、フォトレジスト74を除去した。

[0062] 図10は実施例で作製したダイヤフラムのSEM像である。ダイヤフラムが設計通り作製されていることが分かった。また、空気ノズルで圧力流を加えても破損せず、ダイヤフラムは高い機械的強度を有していることを確認した。

[0063] 以上、本発明の実施形態及び実施例に関し、圧力センサ及びその例としてマイクロフォンを説明した。なお、信号処理回路を集積回路により構成する場合、信号処理回路での処理について説明する。信号処理回路がアナログ出力である場合、入力回路から入力された信号は、集積回路によってフィルタリング、ゼロ点補正、感度補正、温度補償などをされ、出力バッファ回路を通して電圧が出力される。信号処理回路がデジタル出力である場合、入力回

路から入力された信号は、集積回路によってA/D変換、フィルタリング、ゼロ点補正、感度補正、温度補償などをされ、最終的にはI²CやSPIといった規格にそってコード化されたデジタル信号として出力される。デジタル回路には、感度や動作モードなどの各種設定を受け付ける機能、さらに自己診断機能を備えていてもよい。

[0064] 本発明の実施形態はマイクロフォンのみならず空圧センサや超音波センサなどの圧力センサにおいても適用することができる。特に微弱な圧力をダイヤフラムの変位で測定するには、ダイヤフラムが変形し易いことと機械強度を維持することが、ダイヤフラムを金属ガラスで構成したことにより達成される。本発明の実施形態は上述した事項に限定されることなく、例えば次のようにしてもよい。

図示したダイヤフラムは、バックプレート（対向電極）の後ろ側に配置されているが、ダイヤフラムと対向電極の上下の位置関係は逆でも良い。

ダイヤフラムの枠体への固定は一か所でも複数箇所でもよく、ダイヤフラムの周縁部を周状に固定してもよい。

図1、図2などに示すように第1のダイに設けられるダイヤフラムは金属ガラス製である場合のみならず、ポリシリコンなど他の材料で作製されていてもよい。

ダイヤフラムは、一様な厚みであっても、図2に示すように部分的に厚い部位を設けてもよい。さらには、図11に示すように、ダイヤフラム60、70、80にスリット61、71、81を設けて、ダイヤフラムを2分割、3分割、4分割又はそれ以上に分割してもよい。その場合、ダイヤフラムは片持ち式で保持される。また、ダイヤフラムは、平面視で、円形、矩形等の各種形状を有するようにしてもよい。

符号の説明

- [0065] 10：マイクロフォン
11：支持枠
12：ダイヤフラム

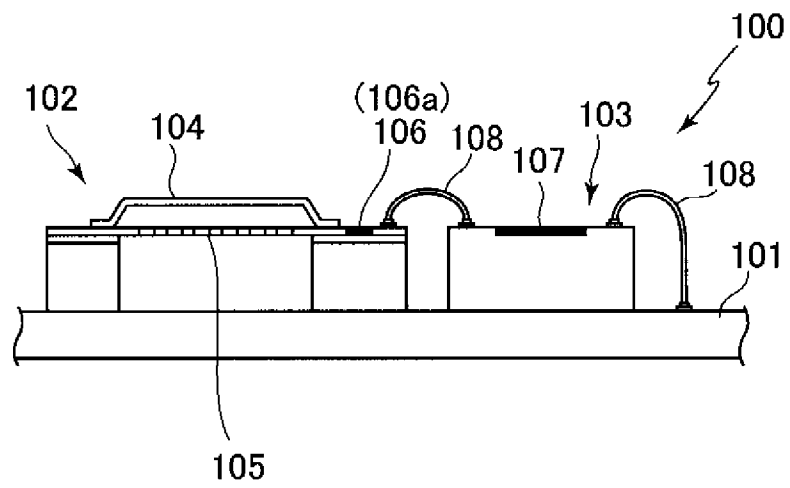
- 1 3 : 対向電極
- 1 3 a : パーフォレーションホール
- 2 0 : マイクロフォン
- 2 1 : ダイヤフラム
- 2 2 : MEMS ダイ
- 2 3 : キャビティ
- 2 4 : 基板
- 2 5 : パーフォレーションホール
- 2 6 : 対向電極
- 2 1 a : 厚い部分
- 2 1 b : 薄い部分
- 3 0 : マイクロフォン
- 3 1 : 基板 (SOI 基板)
- 3 1 a : 基板
- 3 1 b : SiO₂ 層
- 3 1 c : 対向電極層 (半導体層)
- 3 2 : ホール (パーフォレーションホール)
- 3 3 : 犠牲層
- 3 4 : 金属ガラス層
- 3 4 a : 支持部
- 3 5 : キャビティ
- 3 5 a : キャビティの一部
- 3 6 : ダイヤフラム
- 6 0, 7 0, 8 0 : ダイヤフラム
- 6 1, 7 1, 8 1 : スリット
- 1 0 0, 2 0 0 : 圧力センサ
- 1 0 1, 2 0 1 : ベース
- 1 0 2, 2 0 2 : 第1のダイ

- 103, 203 : 第2のダイ
- 104, 204 : ダイアフラム
- 105, 205 : 対向電極
- 106, 206 : 読み出し回路
- 106a, 206a : 入力回路
- 107, 207 : 信号処理回路 (集積回路)
- 208 : バンプ
- 209 : 封止材 (樹脂)

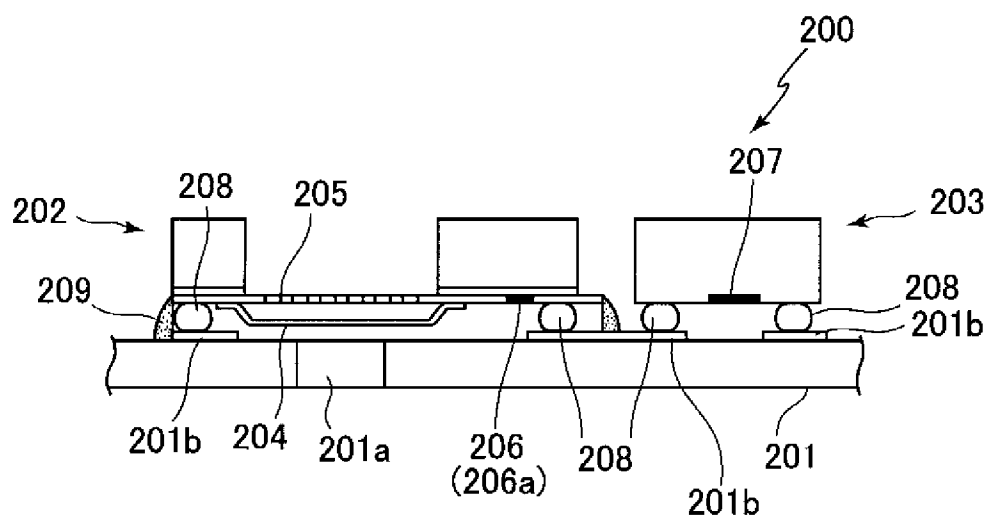
請求の範囲

- [請求項1] 一つ以上のダイヤフラムと、
 前記ダイヤフラムと対向するように設けられた対向電極と、
 前記ダイヤフラムの振動信号を受け、前記ダイヤフラムと前記対向電極との静電容量を電圧、電流、周波数の何れかの信号に変換する入力回路と、
 前記入力回路からの信号に対しアナログ処理、デジタル処理の何れか又は双方をする信号処理回路と、
 を備え、
 前記ダイヤフラムと前記入力回路とが第1のダイに設けられ、
 前記信号処理回路が第2のダイに設けられ、
 前記第1のダイと前記第2のダイとが配線で接続されている、圧力センサ。
- [請求項2] 前記第2のダイに設けられた回路のプロセスルールが、前記第1のダイに設けられた回路のプロセスルールと比較して、小さい、請求項1に記載の圧力センサ。
- [請求項3] 前記信号処理回路は、前記入力回路により変換された信号の入力を受ける、請求項1又は2に記載の圧力センサ。
- [請求項4] 前記入力回路がアンプを含む、請求項1乃至3の何れか1項に記載の圧力センサ。
- [請求項5] 前記ダイヤフラムの数が2個以上16個以下である、請求項1乃至4の何れか1項に記載の圧力センサ。
- [請求項6] 前記第1のダイと前記第2のダイが同一面に並べて配置されている、請求項1乃至5の何れか1項に記載の圧力センサ。

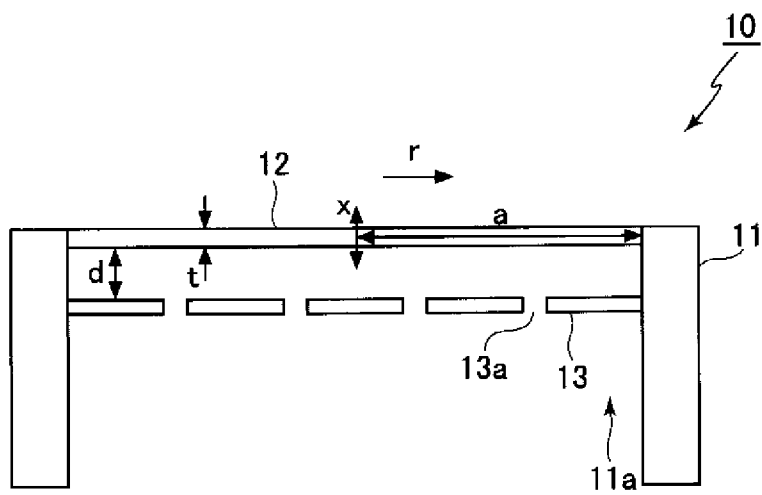
[図1]



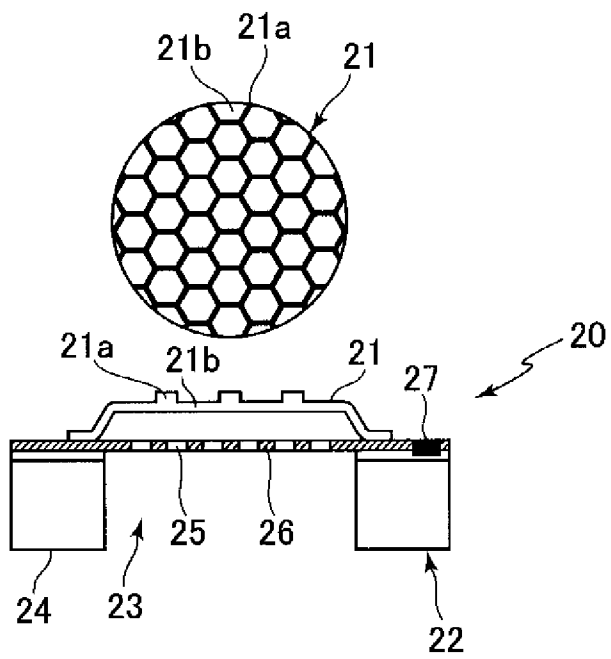
[図2]



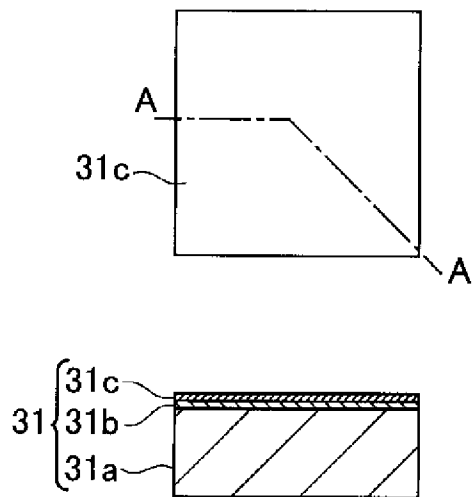
[図3]



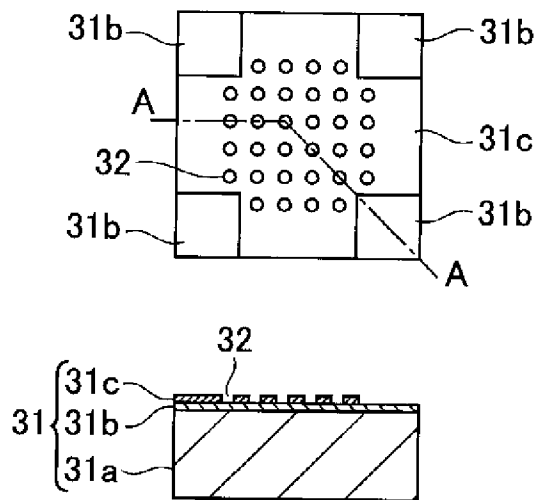
[図4]



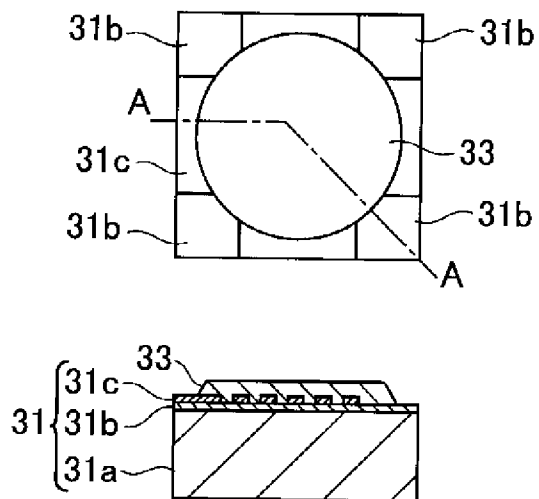
[図5A]



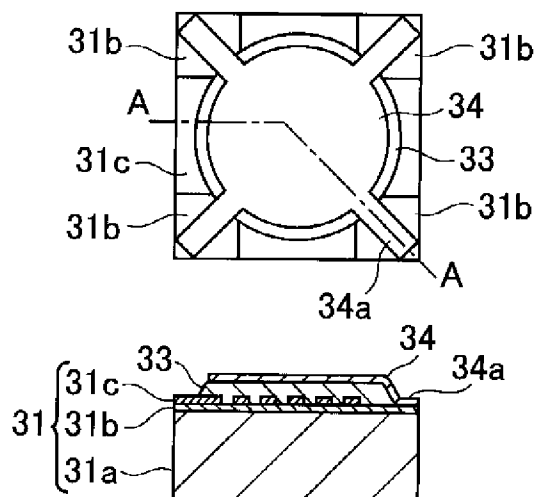
[図5B]



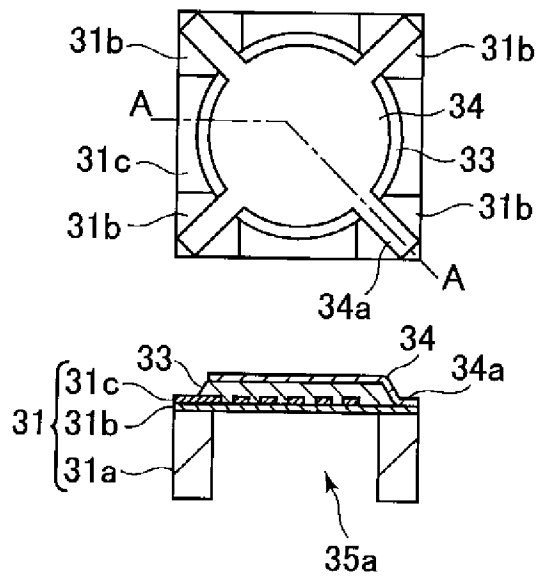
[図5C]



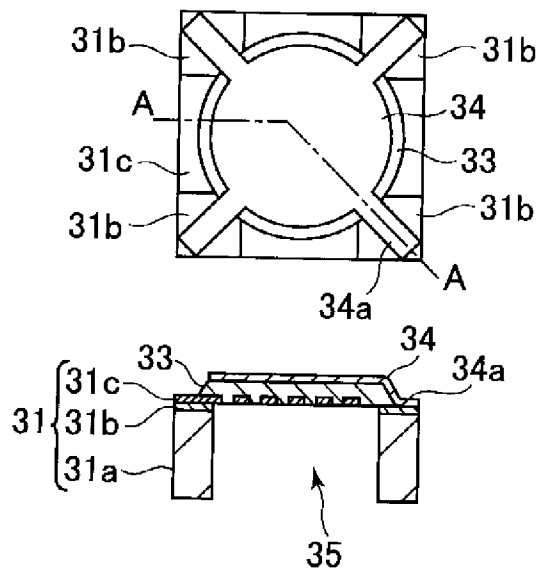
[図5D]



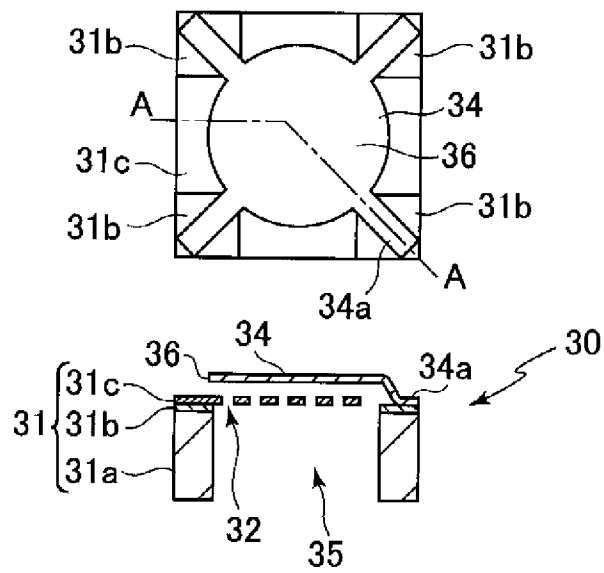
[図5E]



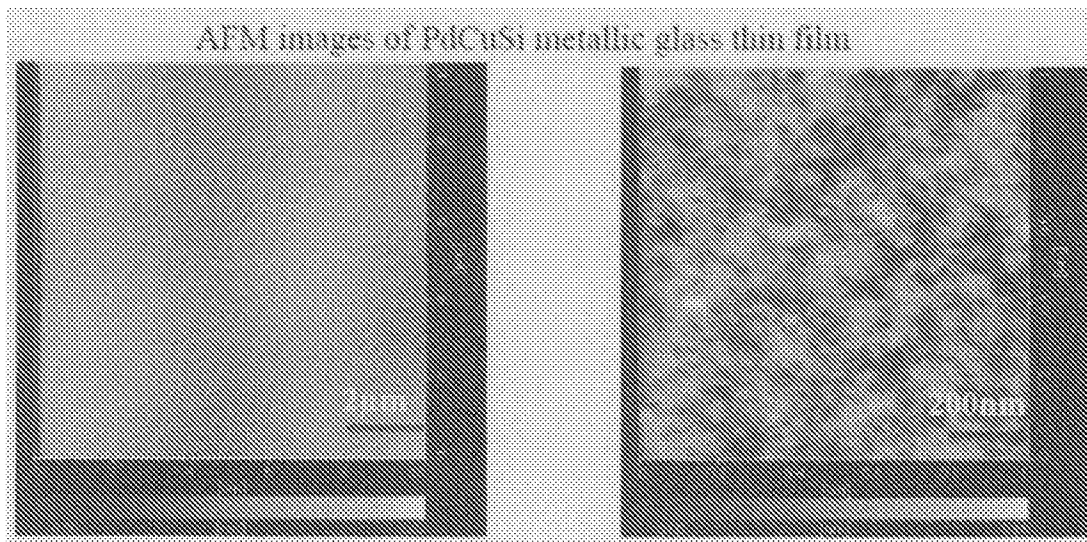
[図5F]



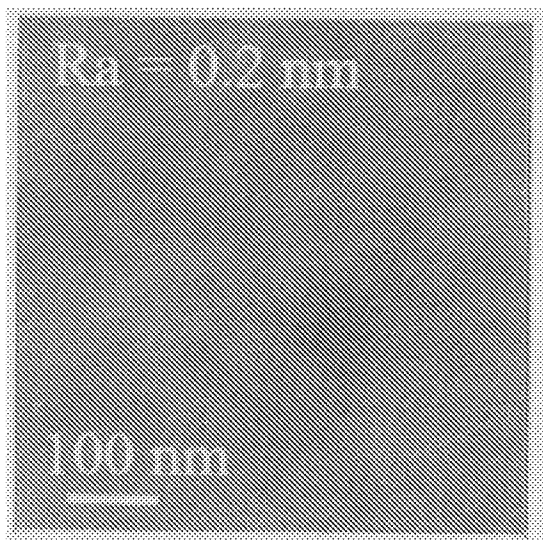
[図5G]



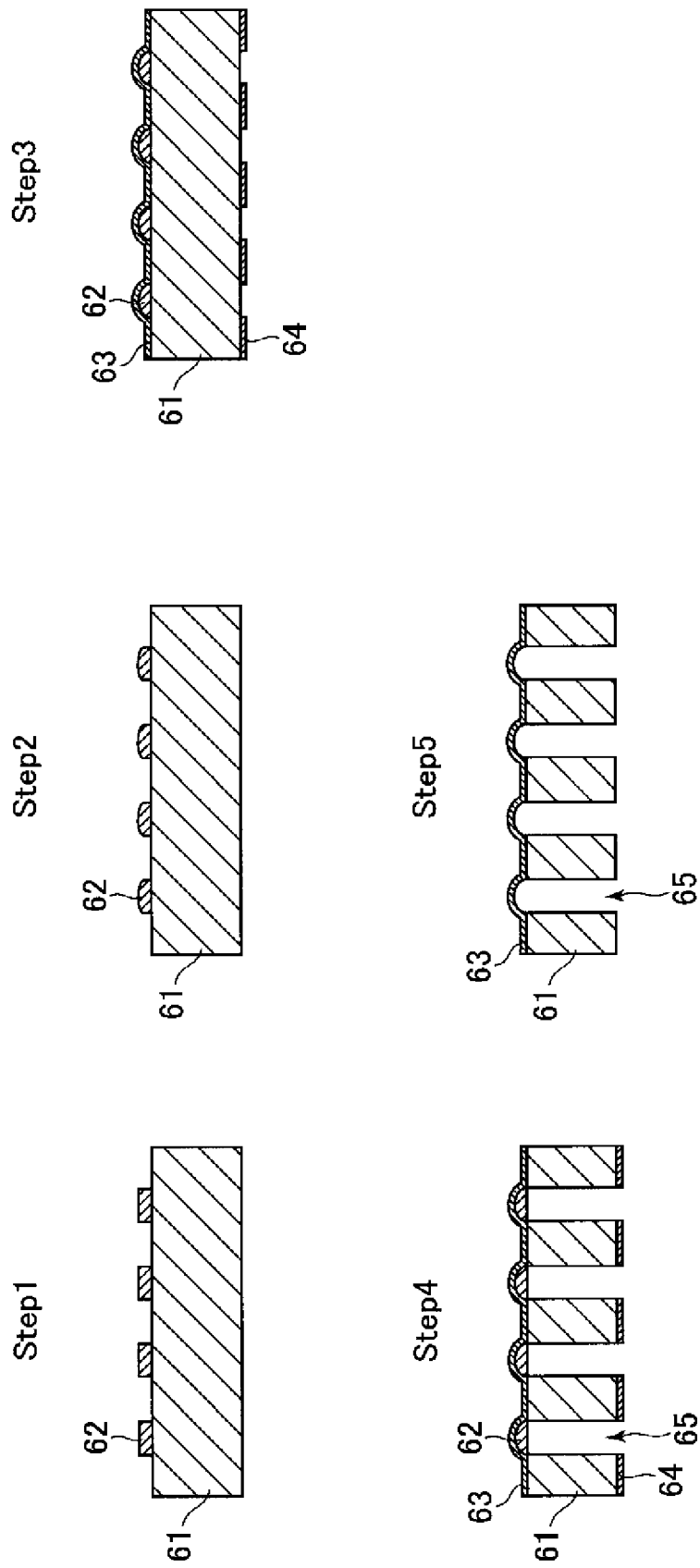
[図6]



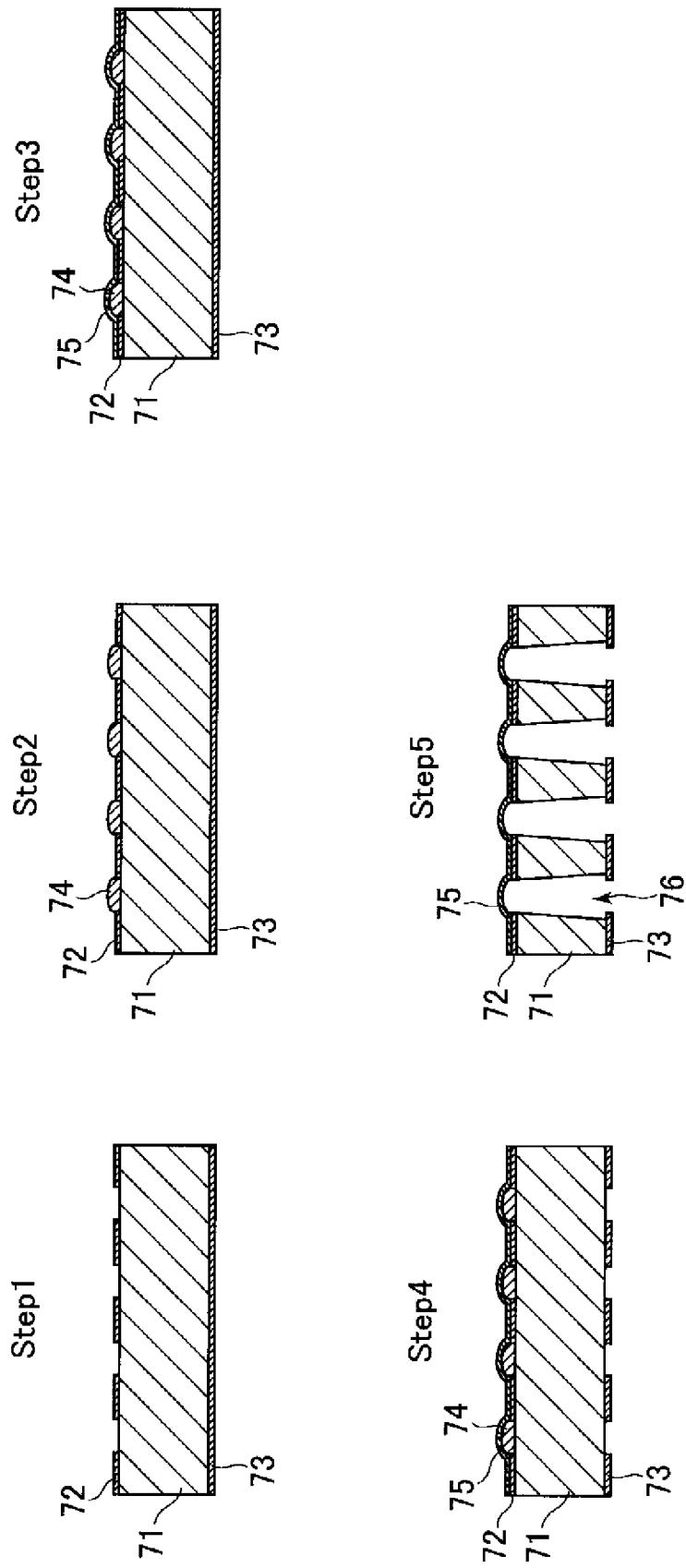
[図7]



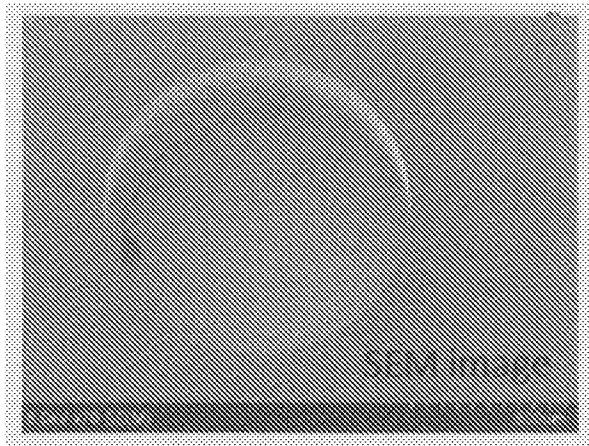
[図8]



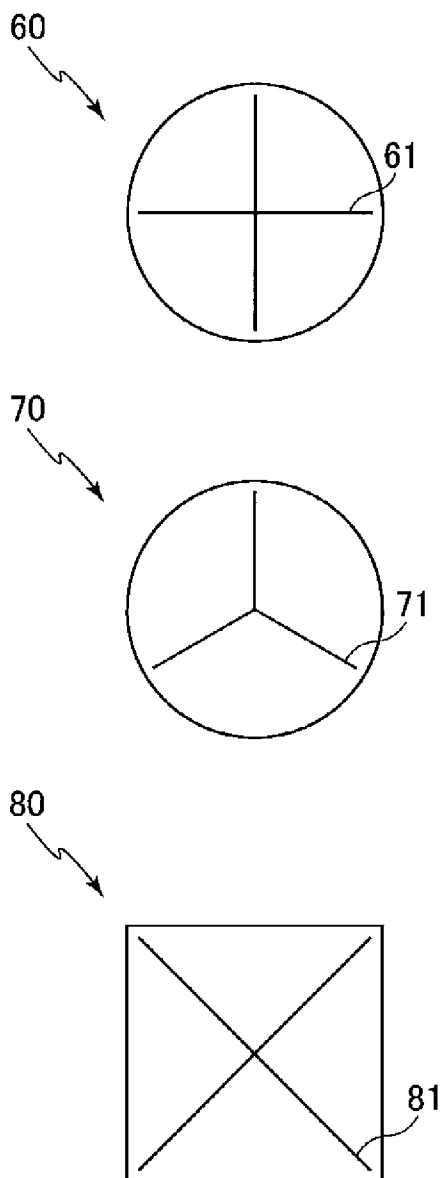
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/012493

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04R19/04(2006.01)i, H01L29/84(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)

H04R19/04, H01L29/84

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X Y	JP 2003-102097 A (Nippon Hoso Kyokai), 04 April 2003 (04.04.2003), paragraphs [0028] to [0063]; fig. 1 to 11 & US 2003/0063762 A1 paragraphs [0086] to [0107]; fig. 12 to 13	1-4, 6 5
Y A	JP 2009-98022 A (Rohm Co., Ltd.), 07 May 2009 (07.05.2009), paragraphs [0014] to [0016]; fig. 1 to 2 & US 2009/0095081 A1 paragraphs [0099] to [0105]; fig. 5 to 6	5 1-4, 6
A	JP 2009-124474 A (Yamaha Corp.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraph [0046] (Family: none)	1-6

☐ 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
16 June 2017 (16.06.17)

Date of mailing of the international search report
27 June 2017 (27.06.17)

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（IPC））

Int.Cl. H04R19/04(2006.01)i, H01L29/84(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（IPC））

Int.Cl. H04R19/04, H01L29/84

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X Y	JP 2003-102097 A（日本放送協会）2003.04.04, [0028] - [0063], [図1] - [図11] & US 2003/0063762 A1, [0086]-[0107], [図12]-[図13]	1-4, 6 5
Y A	JP 2009-98022 A（ローム株式会社）2009.05.07, [0014] - [0016], [図1] - [図2] & US 2009/0095081 A1, [0099]-[0105], [図5] - [図6]	5 1-4, 6

☒ 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

16.06.2017

国際調査報告の発送日

27.06.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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）

北原 昂

5Z

5381

電話番号 03-3581-1101 内線 3591

C (続き) . 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	JP 2009-124474 A (ヤマハ株式会社) 2009.06.04, [0 0 4 6] (ファミリーなし)	1-6