

(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
2018年6月7日(07.06.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/101047 A1

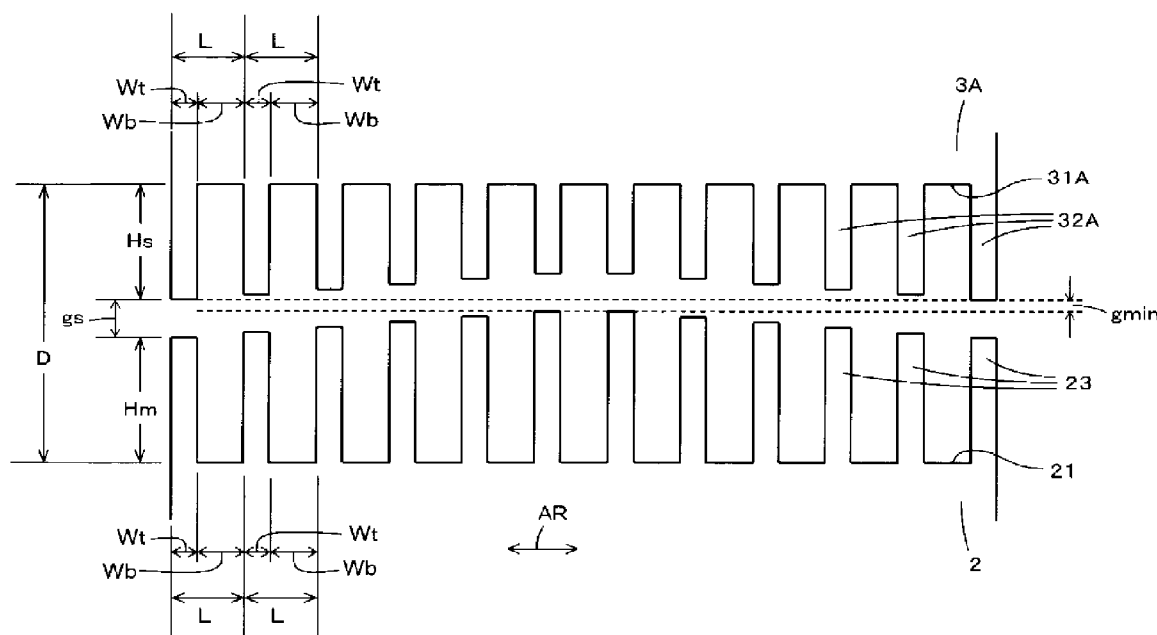
- (51) 国際特許分類:
H02N 1/00 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/041175
- (22) 国際出願日: 2017年11月16日(16.11.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-231751 2016年11月29日(29.11.2016) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP). 国立大学法人静岡大

学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4228529 静岡県静岡市駿河区大谷836 Shizuoka (JP). 株式会社鷺宮製作所(SAGINOMIYA SEISAKUSHO, INC.) [JP/JP]; 〒1650033 東京都中野区若宮2丁目55番5号 Tokyo (JP). 一般財団法人マイクロマシンセンター(MICROMACHINE CENTER) [JP/JP]; 〒1010026 東京都千代田区神田佐久間河岸67 Tokyo (JP).

- (72) 発明者: 年吉 洋 (TOSHIYOSHI Hiroshi); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 橋口 原 (HASHIGUCHI Gen); 〒4328561 静岡県浜松市

(54) Title: VIBRATION POWER GENERATION DEVICE

(54) 発明の名称: 振動発電デバイス



(57) Abstract: Provided is an electrostatic-type vibration power generation device that makes it possible to efficiently rectify and store power from low acceleration to high acceleration of vibration energy applied from the exterior. The vibration power generation device is provided with: a movable side section capable of vibrating in a predetermined vibration direction as a result of mechanical vibration energy, said movable side section being provided with a first surface along the vibration direction; and a fixed side section provided with a second surface facing the first surface of the movable side section with a predetermined interval therebetween so that it is possible for the movable side section to vibrate in the



中区城北3丁目5-1 国立大学法人静岡大学内
Shizuoka (JP). 三屋 裕幸(MITSUYA Hiroyuki);
〒3501395 埼玉県狭山市笹井535 株式会社
鷺宮製作所 狭山事業所内 Saitama (JP). 今本
浩史(IMAMOTO Hiroshi); 〒1010026 東京都千
代田区神田佐久間河岸67 技術研究組合 N
M E M S技術研究機構内 Tokyo (JP).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(74) 代理人:佐藤 正美(SATO Masami); 〒1600023
東京都新宿区西新宿8丁目12番1号 ダ
イヤモンドビル8階 オネスト国際特許事務
所新宿新都心オフィス 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, JO, 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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

vibration direction. A plurality of recessed sections and protruding sections are formed in an alternating manner in the vibration direction on the surfaces of each of the first surface of the movable side section and the second surface of the fixed side section. An electret film is formed on at least one of the fixed side section and the movable side section. The vibration power generation device is configured so that a force coefficient (an electromechanical conversion coefficient) having a value that corresponds to the interval between the first surface side of the movable side section and the second surface side of the fixed side section becomes small when the vibration amplitude of the movable side section is small and large when the vibration amplitude of the movable side section is large.

(57) 要約: 外部から印加される振動エネルギーの低加速度から高加速度まで効率良く整流及び蓄電ができるようにした静電方式の振動発電デバイスを提供する。振動エネルギーにより所定の振動方向に振動することが可能であって、振動方向に沿う第1の面を備える可動側部と、可動側部が振動方向に振動することが可能なように、可動側部の第1の面と所定の間隔を隔てて対向する第2の面を備える固定側部とを備える。可動側部の第1の面及び固定側部の第2の面のそれぞれの表面には、複数個の凹部と凸部とが振動方向に交互に形成されている。固定側部と可動側部との少なくとも一方にはエレクトレット膜が形成されている。可動側部の第1の面側と固定側部の第2の面側との間隔に応じた値を有する力係数(電気機械変換係数)が、可動側部の振動振幅が小さいときには小さく、可動側部の振動振幅が大きいときには大きくなるように構成する。

明 細 書

発明の名称：振動発電デバイス

技術分野

[0001] この発明は、エレクトレットを用いた静電誘導作用により機械的な振動エネルギーを電力に変換する静電方式の振動発電デバイスに関する。

背景技術

[0002] 近年、歩行による振動、自動車走行による振動、橋梁振動、風力発電時の低周波振動などの環境振動の振動エネルギーを電力に変換することができる振動発電デバイスの実用化に向けての研究開発が進められている。

[0003] この種の振動発電デバイスとしては、電磁方式、圧電方式、静電方式等が知られているが、電磁方式に比べて微小小型化が容易、圧電方式に必要な P Z T (Piezoelectric Transducer) などの鉛などの有毒物質を含まない、などの理由で静電方式の振動発電デバイスが注目されている。この種の静電方式の振動発電デバイスとしては、例えば特許文献 1 (W O 2 0 1 1 / 0 8 6 8 3 0 号公報) や特許文献 2 (特開 2 0 1 1 - 3 6 0 8 9 号公報) などに提案されているものが知られている。

[0004] 特許文献 1 に記載されている静電誘導型発電装置においては、第 1 の基板と第 2 の基板とが所定の間隔を隔てて互いに対向し、その対向する状態を保ったまま相対的に移動可能に構成されている。そして、第 1 の基板には、複数の短冊状のエレクトレットが前記相対的な移動方向に配列されるように形成され、第 2 の基板には、第 1 の基板のエレクトレットと対向するように、第 1 の電極と第 2 の電極とが形成されており、エレクトレットと第 1 の電極との間の静電容量及びエレクトレットと第 2 の電極との間の静電容量が、前記相対的な移動により変化することにより、電力が出力されるように構成されている。

[0005] また、特許文献 2 には、基板上に形成されたエレクトレット膜を有する第 1 の電極と、この第 1 の電極とエアギャップを隔てて対向し複数の開口部を

有する第2の電極とを備え、第2の電極が振動移動することで、第1の電極のエレクトレット膜と第2の電極との静電容量が変化することにより、電力が出力されるように構成されたMEMS（Micro Electro Mechanical System；微小電気機械システム）デバイスが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2011-186803号公報

特許文献2：特開2002-244806号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 外部から振動発電デバイスに印加される振動エネルギーが環境振動などの場合には、一般に、励振加速度の大きさは一定のものではなく、時間的に変化する。振動発電デバイスに加わる振動エネルギーとしての力 f は、励振加速度を α とし、振動発電デバイスの振動部分の質量を m とすると、 $f = m\alpha$ である。そして、振動発電デバイスの発電出力電力 P は、力 f に比例したものとなり、また、発電出力の電流値 i 及び電圧値 V も、共に力 f に比例したものとなる。

[0008] この場合に、振動発電デバイスは、発電出力電流を整流して、蓄電用キャパシタ等の蓄電素子に蓄電することで、発生した発電出力を取り出すようにする。したがって、環境振動から発電を行う振動発電デバイスとしては、励振加速度が小さい状態であっても、大きい状態であっても、効率良く、蓄電素子に蓄電することができるようにすることが望ましい。

[0009] ところで、振動発電デバイスの発電出力により蓄電を行うための整流回路に利用されるダイオードは、閾値電圧が、例えばショットキーダイオードの場合には0.3V程度、シリコン系PN接合のダイオードの場合には0.7Vが必要であり、振動発電デバイスの発電出力としては、それ以上の電圧が必要である。

[0010] しかしながら、従来の振動発電デバイスにおいては、通常、出力インピーダンスが固定値となる構成とされている。このため、低励振加速度における小さな出力電流値であっても整流用ダイオードを導通させるようにするために振動発電デバイスの出力インピーダンスを高くすると、高励振加速度の際には、大きな出力電流値であるにもかかわらず、その大電流を効率的に利用できずに、損失が大きくなってしまう。逆に、振動発電デバイスの出力インピーダンスを小さくすると、高励振加速度の際の大電流は、効率良く蓄電に利用することができるが、低励振加速度における小さな出力電流値の際には、整流用ダイオードの閾値電圧以上の電圧を得ることができず、低励振加速度の振動エネルギーは、振動発電デバイスにおける振動発電には利用できなくなってしまう。

[0011] 以上の点に鑑み、この発明は、外部から印加される振動エネルギーが、励振加速度の大きさが時間的に変化する環境振動などの場合においても、低加速度から高加速度まで効率良く整流及び蓄電ができるようにした静電方式の振動発電デバイス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

[0012] 上記の課題を解決するために、請求項 1 の発明は、

外部から印加される振動エネルギーにより所定の振動方向に振動することが可能なように構成されており、前記振動方向に沿う第 1 の面を備える可動側部と、

前記可動側部が前記振動方向に振動することが可能なように、前記可動側部の前記第 1 の面と所定の間隔を隔てて対向する第 2 の面を備え、前記振動エネルギーに対しても位置固定するように構成されている固定側部と、

を備え、

前記可動側部の前記第 1 の面及び前記固定側部の前記第 2 の面のそれぞれの表面には、複数の凹部と凸部とが前記振動方向に交互に形成されていると共に、

前記固定側部と前記可動側部との少なくとも一方には、エレクトレット膜

が形成されており、

前記可動側部の前記第 1 の面側と前記固定側部の第 2 の面側との間隔に応じた値を有する力係数（電気機械変換係数）が、前記可動側部の前記振動振幅が小さいときには小さく、前記可動側部の前記振動振幅が大きいときには大きくなるように構成されている

ことを特徴とする振動発電デバイスを提供する。

[0013] 上記のような可動側部 2 と固定側部とを備える請求項 1 の発明の振動発電デバイスの出力電圧は、理想的な条件の場合には、機械抵抗（ダンピング抵抗）を r 、電気機械変換係数（力係数）を A 、外部からの力（外力）を f とすると、出力インピーダンス Z_m は、 $Z_m = r / A^2$ であり、出力電流 i は、 $i = A f / Z_m$ 、また、出力電圧 e は、 $e = f / A$ と表すことができる。

[0014] したがって、可動側部の振動振幅が小さいとき（低加速度時）には、力係数（電気機械変換係数） A が小さいので、出力インピーダンス Z_m は大きくなり、出力電流 i が小さくても出力電圧 e は大きくなる。したがって、低加速度時であっても、整流用ダイオードを導通させることができ、小さい値の出力電流 i を効率良く整流して充電を行うようにすることができる。

[0015] 一方、可動側部の振動振幅が大きいとき（高加速度時）には、力係数（電気機械変換係数） A が大きいので、出力インピーダンス Z_m は小さくなり、出力電流 i が大きくなる。このとき、出力電圧 e は小さくなるが、外力 f も大きいので、整流用ダイオードを導通させることができる値となる。したがって、可動側部の振動振幅が大きいときには、その外力 f の大きさに従った大きな電流 i を効率良く整流して充電を行うようにすることができる。

発明の効果

[0016] この発明によれば、低加速度から高加速度まで効率良く整流及び蓄電ができるようにした静電方式の振動発電デバイスを提供することができる。したがって、この発明による振動発電デバイスは、外部から印加される振動エネルギーが、励振加速度の大きさが時間的に変化する環境振動などを用いて振動発電する場合に好適となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の構成例を説明するための全体斜視図である。

[図2]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図3]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図4]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図5]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の半導体製造プロセスを説明するための図である。

[図6]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の半導体製造プロセスを説明するための図である。

[図7]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の半導体製造プロセスを説明するための図である。

[図8]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の半導体製造プロセスを説明するための図である。

[図9]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態を用いた充電回路の一例を示す図である。

[図10]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の変形例の要部を説明するための図である。

[図11]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態の他の変形例の要部を説明するための図である。

[図12]この発明による振動発電デバイスの第1の実施形態のさらに他の変形例の要部を説明するための図である。

[図13]この発明による振動発電デバイスの第2の実施形態の構成例を説明するための図である。

[図14]この発明による振動発電デバイスの第2の実施形態の構成例の要部を

説明するための図である。

[図15]この発明による振動発電デバイスの第3の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図16]この発明による振動発電デバイスの第4の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図17]この発明による振動発電デバイスの他の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図18]この発明による振動発電デバイスの、さらに他の実施形態の構成例の要部を説明するための図である。

[図19]この発明による振動発電デバイスの実施形態を説明するために用いる数式を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、この発明による振動発電デバイスの実施形態を、図を参照しながら説明する。

[0019] [第1の実施形態]

先ず、この発明による振動発電デバイスの原理的な構成例を、第1の実施形態として示す。以下に示す実施形態の振動発電デバイスは、半導体製造プロセスにより製造されるMEMESデバイスとして構成される場合の例である。

[0020] 図1は、この第1の実施形態の振動発電デバイス10の全体の構成例を説明するための斜視図を示すものである。この第1の実施形態の振動発電デバイス10は、半導体基板1に対して、後述するような半導体製造プロセスが実行されることにより形成される可動側部2と、固定側部3A、3Bと、可動側部2を支持する支持梁部4L、4Rとからなる。

[0021] 可動側部2は、断面が矩形の細長状に形成されており、図1において矢印ARで示すように、当該可動側部2の長手方向を振動方向として振動可能なように構成されている。すなわち、この可動側部2の振動方向である長手方向の両端は、半導体基板1から半導体製造プロセスにより形成された支持梁

部 4 L 及び支持梁部 4 R により、可動側部 2 が振動可能となるように支持されている。なお、この例では、この可動側部 2 の振動方向は、図 1 において、半導体基板 1 の基板面に直交する方向（図 1 で矢印 B で示す方向）とは直交する方向、つまり、半導体基板 1 の基板面に沿う方向とされている。

[0022] 支持梁部 4 L 及び支持梁部 4 R のそれぞれは、振動方向に直交する方向に設けられている 2 枚の薄板状部 4 1, 4 2 及び薄板状部 4 3, 4 4 からなる支持梁の構成とされている。支持梁部 4 L 及び支持梁部 4 R のそれぞれは、半導体基板 1 において、可動側部 2 の振動方向の両側に形成されている空間 5 L 及び空間 5 R の周囲を取り囲むように半導体基板 1 に形成されている支持梁保持部 6 L 及び支持梁保持部 6 R に取り付けられている。

[0023] 可動側部 2 の長手方向の両端部 2 a 及び 2 b は、2 枚の薄板状部 4 1, 4 2 及び薄板状部 4 3, 4 4 の中央部分で支持梁部 4 L 及び支持梁部 4 R と結合されて、振動方向に移動可能とされている。

[0024] 支持梁部 4 L 及び支持梁部 4 R のそれぞれは、1 枚の薄板状部で構成することもできるが、複数枚、この例では 2 枚の薄板状部 4 1, 4 2 及び薄板状部 4 3, 4 4 で構成することにより、可動側部 2 の振動方向が偏向しづらくなるようにすると共に、可動側部 2 が対向する固定側部 3 A, 3 B と接触せずに、安定して矢印 A R の方向に振動することができるようにしている。

[0025] 固定側部 3 A, 3 B は、この例では、可動側部 2 の振動方向に直交する方向に、可動側部 2 を挟むような位置に設けられている。この場合に、固定側部 3 A, 3 B のそれぞれは、図 1 において矢印 B で示す基板面に直交する方向に沿う方向であって、可動側部 2 の振動方向に沿う方向の面 3 1 A 及び面 3 1 B を有するように構成されている。そして、固定側部 3 A の面 3 1 A は、可動側部 2 の基板面に直交する方向に沿う方向であって、可動側部 2 の振動方向に沿う方向の面 2 1 と所定の間隔を隔てて対向する状態となるようにされている。また、固定側部 3 B の面 3 1 B は、可動側部 2 の基板面に直交する方向に沿う方向であって、可動側部 2 の振動方向に沿う方向の面 2 2 と所定の間隔を隔てて対向する状態となるようにされている。なお、面 2 1、

面 2 2、面 3 1 A、面 3 1 B は、以下の説明においては、対向面 2 1、対向面 2 2、対向面 3 1 A、対向面 3 1 B と称する。

[0026] そして、可動側部 2 の対向面 2 1 及び対向面 2 2 には、振動方向に直交する方向に突出する複数個の突部 2 3 及び突部 2 4 が、振動方向に沿う方向に櫛歯状に配列されて形成されていると共に、固定側部 3 A の対向面 3 1 A 及び固定側部 3 B の対向面 3 1 B にも、振動方向に直交する方向に突出する複数個の突部 3 2 A 及び突部 3 2 B が、振動方向に沿う方向に櫛歯状に配列されて形成されている。この例の場合、突部 2 3、2 4、3 2 A 及び 3 2 B は、同様の構成を備えるようにされており、この例では、断面が矩形の突条が矢印 B 方向に延伸するように形成されている。この例の場合、突部 2 3、2 4、3 2 A 及び 3 2 B は、それぞれ凸部を構成すると共に、複数の突部 2 3、2 4、3 2 A 及び 3 2 B のそれぞれの間は、凹部を構成する。

[0027] 図 2 は、固定側部 3 A と可動側部 2 との対向部分の一部を、図 1 の矢印 B の方向に、可動側部 2 の振動方向に直交する上方から見た図であり、可動側部 2 が静止している状態を示している。この図 2 に示すように、可動側部 2 の対向面 2 1 に形成されている複数個の突部 2 3 と、固定側部 3 A の対向面 3 1 A に形成されている複数個の突部 3 2 A とは、可動側部 2 の振動方向に沿う方向の幅は、共に同じ幅 W_t とされていると共に、振動方向に沿う方向に同一の配列ピッチ L で形成されている。したがって、隣接する突部 2 3 及び突部 3 2 A の間は、 $W_b = L - W_t$ だけ隔てられている。

[0028] そして、図 2 に示すように、可動側部 2 が静止している状態では、可動側部 2 の対向面 2 1 に形成されている複数個の突部 2 3 と、固定側部 3 A の対向面 3 1 A に形成されている複数個の突部 3 2 A とが互に対向しているように構成されている。そして、可動側部 2 の対向面 2 1 において振動方向に配列されている複数個の突部 2 3 の振動方向に直交する方向の長さ、すなわち、突部 2 3 の高さ H_m は、一定ではなく、高さ H_m の変化が例えば正弦波状になるように異ならされている。同様に、固定側部 3 A の対向面 3 1 A において振動方向に配列されている複数個の突部 3 2 A の振動方向に直交する

方向の長さ、すなわち、突部32Aの高さ H_s も、一定ではなく、高さ H_s の変化が例えば正弦波状になるように異ならされている。

[0029] なお、振動発電デバイス10の可動側部2の突部23、24の個数と、固定側部3A、3Bの突部32A、32Bの個数は、図1及び図2では、作図の便宜上、10～12個程度となっているが、その個数は、実際的には、より多数である。そして、突部23、24、32A、32Bの高さの正弦波状の変化も、図1及び図2のような1周期程度ではなく、突部の個数に応じた複数周期に亘るものである。

[0030] そして、この例の場合、図2に示すように、可動側部2が静止している状態では、互いに対向する突部23と突部32Aとの間隔が、複数の突部23と複数の突部32Aにおいて、等しい間隔 g_s となるように、突部23の高さ H_m と、突部32Aの高さ H_s とが変化するように構成されている。更に、この場合において、図2に示すように、高さ H_m が最大である突部23と、高さ H_s が最大である突部32Aとが対向した場合にも、微小な間隔 g_{min} だけ、両者の間に空隙が生じるように構成されている。

[0031] したがって、以上のように可動側部2の突部23の高さ H_m が振動方向ARにおいて変化すると共に、固定側部3Aの突部32Aの高さ H_s が振動方向ARにおいて変化していても、最小の間隔 g の空隙が存在するように構成されているので、可動側部2は、固定側部3Aに対して、間隔 g の空隙を保って、図1及び図2の矢印ARで示す振動方向に振動移動することが可能とされている。

[0032] なお、可動側部2の突部23が形成されている対向面21（突部23の付け根位置）と、固定側部3Aの突部32Aが形成されている対向面31A（突部32Aの付け根位置）との間は、距離Dだけ隔てられている。

[0033] この例では、 $W_t = 20\ \mu\text{m}$ 、 $W_b = 40\ \mu\text{m}$ 、 $L = 60\ \mu\text{m}$ 、 H_m （最大値） $= H_s$ （最大値） $= 42.5\ \mu\text{m}$ 、 $g = 5\ \mu\text{m}$ 、 $D = 90\ \mu\text{m}$ とされている。そして、振動発電デバイスとしては、可動側部2の振動方向の長さが、例えば12mm、振動方向に直交する方向の長さが、例えば8mmとさ

れている。

[0034] なお、図示は省略するが、固定側部 3 B の対向面 3 1 B に形成されている複数個の突部 3 2 B と、可動側部 2 の対向面 2 2 に形成されている複数個の突部 2 4 との関係も、図 2 と同様に構成されている。この場合に、この例では、可動側部 2 の対向面 2 1 に形成されている突部 2 3 と固定側部 3 A の対向面 3 1 A に形成されている突部 3 2 A との位置関係（対向位相関係）が図 2 に示すような可動側部 2 が静止している状態のときには、可動側部 2 の対向面 2 2 に形成されている突部 2 4 と固定側部 3 B の対向面 3 1 B に形成されている突部 3 2 B との位置関係（対向位相関係）も同様の状態となるようにされている。すなわち、可動側部 2 の突部 2 3 と固定側部 3 A の突部 3 2 A との対向位相関係と、可動側部 2 の突部 2 4 と固定側部 3 B の突部 3 2 B との対向位相関係は同相となるようにされている。

[0035] そして、後述するように、この実施形態では、固定側部 3 A、3 B または可動側部 2 の一方には、エレクトレット膜が形成され、そのエレクトレット膜が形成されている固定側部 3 A、3 B または可動側部 2 の一方は、所定のエレクトレット電位 E とされる。この例では固定側部 3 A、3 B にエレクトレット膜が形成されて、固定側部 3 A、3 B は、例えば -400 ボルトのエレクトレット電位 E とされる。なお、固定側部 3 A、3 B と可動側部 2 とは、後述するように、半導体基板の絶縁層により、互いに電氣的に絶縁されている。

[0036] そして、図 1 に示すように、可動側部 2 には、その振動方向の両端部において電極 2 5 及び電極 2 6 が形成されると共に、固定側部 3 A 及び固定側部 3 B には、可動側部 2 の振動方向に直交する方向の端部において電極 3 3 A 及び電極 3 3 B が形成される。これら電極 2 5 及び電極 2 6、電極 3 3 A 及び電極 3 3 B は、振動発電デバイス 10 を充電回路と接続する際の接続端子電極となる。

[0037] 以上のように構成されているので、固定側部 3 A 及び固定側部 3 B と可動側部 2 との間には、可動側部 2 の振動に応じて変化する静電容量が得られる

。図3（A）、（B）、（C）は、可動側部2が振動するときにおける対向面21の突部23と、固定側部3Aの対向面31Aの突部32Aとの対向位相関係と、その時の静電容量との関係を説明するための図である。なお、可動側部2が振動するときにおける対向面22の突部24と、固定側部3Bの対向面31Bの突部32Bとの対向位相関係と、その時の静電容量との関係も同様であるので、ここでは説明は省略する。

[0038] すなわち、図3（A）は、可動側部2の突部23が固定側部3Aの隣り合う突部32Aの中央に位置する場合であり、突部23と突部32Aとの先端の端面は、振動方向に直交する方向において全く対向しない状態である。この図3（A）の状態では、可動側部2の突部23の先端の端面は、距離Dだけ隔てた固定側部3Aの対向面31Aに対向する状態となっており、可動側部2と固定側部3Aとの間の静電容量は小さい値C（小）になる。

[0039] また、図3（C）は、可動側部2の突部23の先端の端面と固定側部3Aの突部32Aの先端の端面とが、振動方向に直交する方向において全体的に対向する状態である。この図3（C）の状態では、可動側部2の突部23の先端の端面と固定側部3Aの対向面31Aの先端の端面とが所定の間隔（最小値g）を介して対向する状態となっており、可動側部2と固定側部3Aとの間の静電容量は大きな値C（大）になる。

[0040] また、図3（B）は、可動側部2の突部23の先端の端面と固定側部3Aの突部32Aの先端の端面とが、振動方向に直交する方向において部分的に対向する状態である。この図3（B）の状態は、図3（A）の状態と、図3（C）の状態との中間の状態であり、可動側部2と固定側部3Aとの間の静電容量は、前記小さい値C（小）と前記大きな値C（大）との間の中間値C（中）になる。

[0041] 以上のように、この実施形態の振動発電デバイス10においては、外部から振動エネルギーが加わって、可動側部2が振動すると、可動側部2と、固定側部3A及び固定側部3Bとの間の静電容量の変化と、外力と、振動速度などに応じた交流出力電力が発生する。そして、この実施形態の振動発電デ

バイス 10 が発生した交流出力電力を負荷に供給したり、蓄電素子に蓄電するなどすることができる。

[0042] この場合に、この実施形態の振動発電デバイス 10 の等価回路を考えた場合、外力を f 、出力電流を i 、出力電圧を e 、外力による励振速度を v 、出力インピーダンスを Z_m 、振動発電デバイス 10 で生成される静電容量を C_o 、浮遊容量を C_s としたとき、その線形方程式は、図 19 の (式 1) で示すような行列で表すことができる。この (式 1) において、 A は、力係数 (電気機械変換係数) であり、図 19 の (式 2) のように表すことができる。

[0043] この (式 2) において、 n は可動側部 2 と固定側部 3 A, 3 B とで対向する突部の数、 ϵ_o は真空の誘電率、 b は振動発電デバイス 10 の厚み、 E はエレクトレット電位、 d_o は可動側部 2 の突部 23 及び 24 と、固定側部 3 A、3 B の突部 32 A, 32 B との間の間隔 (空隙) である。

[0044] この実施形態の振動発電デバイス 10 では、可動側部 2 の突部 23 及び 24 と、固定側部 3 A、3 B の突部 32 A, 32 B との間の間隔 (空隙) d_o は、上述したように、可動側部 2 の振動方向の振動振幅に応じて変化するので、力係数 (電気機械変換係数) A は、この間隔 d_o の変化に応じて変化するものとなる。

[0045] すなわち、例えば図 2 において突部 23, 24 及び突部 32 A, 32 B の配列ピッチ L 内程度の振動振幅が小さいときには、図 2 から分かるように、突部 23, 24 及び突部 32 A, 32 B との間の隙間の間隔 d_o は、可動側部 2 が静止状態であるときの大きな間隔 g_s の近傍の大きさとなって比較的大きなものとなる。このため、(式 2) に示す力係数 (電気機械変換係数) A の値は比較的小さな値となる。

[0046] 振動発電デバイス 10 の出力インピーダンス Z_m は、図 19 の (式 3) に示すように、 $Z_m = r / A^2$ であるので、このときの出力インピーダンス Z_m は大きくなる。ここで、 r は、この実施形態の振動発電デバイス 10 の機械抵抗 (ダンピング抵抗) である。このときの振動発電デバイス 10 の出力電流 i は、図 19 の (式 4) に示すように、 $i = A f / Z_m$ であるので小さい

。そして、振動発電デバイス 10 の出力電圧 e は、図 19 の（式 5）に示すように、 $e = f / A$ であるが、出力インピーダンス Z_m が大きいと、振動発電デバイス 10 の出力電流を整流するためのダイオードを導通させるのに十分な値になる。

[0047] 以上のように、振動発電デバイス 10 に加わる励振加速度が低加速度の状態、振動振幅が小さいときであっても、振動発電デバイス 10 の出力インピーダンス Z_m が大きいので、振動発電デバイス 10 の出力電圧 e は、整流用ダイオードを導通させるのに十分な値になり、小さい値の出力電流 i であっても、それにより蓄電素子を充電させるようにすることができる。

[0048] そして、図 2 に示したように、静止状態から励振加速度が低加速度の状態においては、突部 23、24 及び突部 32A、32B との間の隙間の間隔 d_o が比較的大きいので、可動側部 2 と固定側部 3A、3B との間の静電容量は小さくなるから、静電的拘束力が小さくなり、振動発電デバイス 10 の可動側部 2 は振動し易い状態となっている。このため、この実施形態の振動発電デバイス 10 によれば、外力による励振加速度が低加速度のときにも、効率良く、その外力に応答して振動することができ、小さい出力電流であっても、効率良く発電をして、効率良く充電することができるという効果がある。

[0049] 次に、外力が大きくなって、振動発電デバイス 10 の振動振幅が大きくなると、図 4 に示すように、突部 23、24 及び突部 32A、32B との間の隙間の間隔 d_o が、低加速度時よりも狭い値となる。このため、図 19 の（式 2）に示される力係数（電気機械変換係数） A は、大きくなる。すると、図 19 の（式 3）に示される出力インピーダンス Z_m が小さくなり、図 19 の（式 4）に示す電流 i は大きくなる。一方、振動発電デバイス 10 の図 19 の（式 5）に示す出力電圧 e は、力係数（電気機械変換係数） A が大きくなるので小さくなるが、外力 f が大きくなっていることから、振動発電デバイス 10 の出力電流を整流するためのダイオードを導通させるのに十分な値は維持する。

[0050] したがって、上述の構成の振動発電デバイス 10 においては、励振加速度が高加速度の状態、振動振幅が大きいときには、振動発電デバイス 10 の出力インピーダンス Z_m が小さくなって、振動発電デバイス 10 の出力電流 i は大きくなり、このときの振動発電デバイス 10 の出力電圧 e により整流用ダイオードは導通状態となるので、大きい値の出力電流 i により、蓄電素子を充電させるようにすることができる。

[0051] 以上のように、この実施形態の振動発電デバイス 10 は、励振加速度が低加速度のときには、出力インピーダンスが大きくなり、高加速度のときには、出力インピーダンスが小さくなる。したがって、この実施形態の振動発電デバイス 10 によれば、低加速度の状態から高加速度の状態にまで広範囲に分布する環境振動エネルギーの励振加速度に対して振動応答したときの出力電流及び出力電圧により、効率良く、整流回路を駆動して蓄電することができる。

[0052] なお、図 1 において、7 は錘であり、この錘 7 は、半導体基板 1 から作成されるのではなく、別途に作成されて、この第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 の可動側部 2 の上に装着されるものである。この錘 7 を可動側部 2 の上に載せることで、可動側部 2 の質量 m を大きくして、振動発電デバイス 10 の振動発電による出力 P （図 19 の（式 6）参照）を大きくすることができる。

[0053] この図 19 の（式 6）において、 m は、錘 7 を含めた可動側部 2 の質量であり、 x は振動振幅、 ω は角速度、 Q は可動側部 2 の共振時における尖鋭度（いわゆる Q 値（Quality factor））であり、外部励振振動の振幅に対する可動側部 2 の振動振幅の比である。この（式 6）から明らかなように、この第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 においては、錘 7 を可動側部 2 の上に取り付けたことで、発電出力電力を大きくすることができる。

[0054] なお、可動側部と固定側部の櫛歯状の突部を、互いに噛み合うようにすると共に、その噛み合っている突部の高さ方向に可動側部を振動させるようにする振動発電デバイスも知られている（例えば公知文献（JOURNAL OF MICROE

LECTROMECHANICAL SYSTEM, VOL.20, NO.6, DECEMBER 2011) 等参照)。

[0055] しかし、この種の振動発電デバイスにおいては、可動側部は固定側部に対して近づいたり、遠ざかったりするように振動するため、静電力によりプルイン現象（引き込み現象）が生じ易くなってしまい、振動が継続できない恐れがある。すなわち、所定の空隙を隔てて対向する2面間に静電力が働いているときに、可動側部が、固定側部に対して、対向する2面間の空隙の長さの $1/3$ 以上近づくと、プルイン現象が生じて、振動が停止してしまうからである。

[0056] これに対して、この実施形態の振動発電デバイス10においては、上述したように、可動側部2の対向面21, 22に形成した櫛歯状配列の突部23, 24と、固定側部3Aの対向面31Aに形成した櫛歯状配列の突部32A及び固定側部3Bの対向面31Bに形成した櫛歯状配列の突部32Bとの間には、最小でも間隔 g_{min} の空隙が設けられており、可動側部2は、対向面21, 22, 31A, 31Bの面に沿う方向に振動移動する構成である。したがって、この実施形態の振動発電デバイス10は、可動側部2は、固定側部3A, 3Bとの間に、最低限として間隔 g_{min} の距離を保って、当該間隔 g の方向とは直交する方向に振動移動するので、プルイン現象は生じない。したがって、この実施形態の振動発電デバイス10においては、原理的には可動側部2の振動の振幅に制限を設ける必要はないというメリットがある。

[0057] また、この実施形態の振動発電デバイスにおいては、前述したように、振動開始時の静電拘束力が小さいので、外部振動エネルギーにより振動が成長しやすいというメリットもある。

[0058] [第1の実施形態の振動発電デバイスの製法]

この第1の実施形態の振動発電デバイス10は、前述したように、半導体基板1に対して施される半導体プロセスにより形成されるMEMSデバイスである。半導体基板の例としては、単結晶のシリコン基板、多結晶のシリコン基板、SOI (Silicon on Insulator) 基板、セラミック基板、金属基板

、ガラス基板、ポリマー基板等を用いることができる。以下に説明するこの実施形態の振動発電デバイス 10 についての半導体製造プロセスの例においては、半導体基板として SOI 基板を用いている。

[0059] 図 5 ～図 9 は、この実施形態の振動発電デバイス 10 についての半導体製造プロセスの例を示す図である。

[0060] 半導体プロセスの実行に先立ち、SOI 基板からなる半導体基板 1 を用意する。最終的には、半導体基板 1 からエッチングにより振動発電デバイス 10 を分離する。以下の説明では、便宜上、その分離された 1 つの振動発電デバイス 10 についてプロセスを説明することとする。図 5 (A) は、1 つの振動発電デバイス 10 についての半導体基板 1 を示すもので、横方向の長さ X が、例えば 12 mm、縦方向の長さ Y が、例えば 8 mm とされている。この半導体基板 1 を、その基板面 1 a に直交する方向に破断したときの断面図を図 5 (B) に示す。この図 5 (B) は、図 5 (A) の A-A 線断面図である。

[0061] 図 5 (B) に示すように、半導体基板 1 は、基板面 1 a に直交する方向に複数層が積層されており、この例では、基板面 1 a を形成する SOI 層 101 と、埋め込み酸化膜層 102 と、ハンドル層 103 とならなる。SOI 層 101 は、この例では、厚さが 300 μm で、比抵抗が例えば 0.1 Ωcm の P 型シリコン層からなる。埋め込み酸化膜層 102 は、厚さが 2 μm の酸化膜からなる絶縁層である。また、ハンドル層 103 は、厚さが 500 μm で、比抵抗が例えば 0.1 Ωcm の P 型シリコン層からなる。

[0062] この半導体基板 1 に対して、先ず、図 5 (C) の断面図 (図 5 (B) の断面図と同じ位置の断面図) に示すように、SOI 層 101 の表面 (基板面 1 a) 上に、LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 法により、窒化シリコン (Si_3N_4) 膜 104 を成膜する。この窒化シリコン膜 104 は、後において、図 1 に示した電極 25, 26, 33A, 33B を形成する位置を確保するためのものである。

[0063] 窒化シリコン膜 104 は、パターニング処理されて、図 5 (D) 及び図 5

(E) に示すように、電極 25, 26, 33A, 33B を形成する位置部分 104a, 104b, 104c, 104d のみを残して除去される。なお、図 5 (E) は、図 5 (A) と同様に、半導体基板 1 を、その基板面 1a 側から見た図であり、図 5 (D) は、図 5 (E) における B-B 線断面図である。

[0064] 次に、図 6 (A) においてハッチングを付して示すように、半導体基板 1 の基板面 1a 上にレジスト膜 105 を塗布し、かつ、その塗布したレジスト膜 105 について、可動側部 2 と、固定側部 3A 及び固定側部 3B と、支持梁部 4L 及び支持梁部 4R とを形成する部分に対応する部分を残して、それらの部分をマスクするようにパターニング処理する。なお、図 6 (A) は、図 5 (A) と同様に、半導体基板 1 を、その基板面 1a 側から見た図であり、図 6 (B) は、図 6 (A) における C-C 線断面図である。

[0065] なお、振動発電デバイス 10 の可動側部 2 の突部 23, 24 の個数と、固定側部 3A, 3B の突部 32A, 32B の個数は、図 6～図 8 の半導体製造プロセスの図においては、作図の便宜上、5～6 個となっているが、前述したように、その個数は、実際的には、より多数である。また、振動発電デバイス 10 の可動側部 2 の突部 23, 24 と、固定側部 3A, 3B の突部 32A, 32B とは、図 6～図 8 の半導体製造プロセスの図においては、作図の便宜上、全て同一の高さを有するものとして示してあるが、実際上は、図 2 に示したように、振動方向において高さが異なるものであることは言うまでもない。

[0066] 次に、図 6 (C) の断面図 (図 6 (B) の断面図と同じ位置の断面図) に示すように、ICP (Inductively Coupled Plasma; 誘導結合プラズマ) -RIE (Reactive Ion Etching; 反応性イオンエッチング) による深掘リエッチング処理を施して、SOI 層 101 の内の、レジスト膜 105 によりマスクされていない部分を、埋め込み酸化膜層 102 のところまで、エッチング除去する。

[0067] 次に、レジスト膜 105 を除去する処理して、図 6 (D) 及び (E) に示

すように、SOI層101を露呈させるようにする。なお、図6(E)は、半導体基板1を、その基板面1a側から見た図であり、図6(D)は、図6(E)におけるB-B線断面図である。

[0068] 次に、半導体基板1の基板面1aとは反対側の裏面1b（ハンドル層103の露呈面）上に、図7(A)においてハッチングを付して示すように、可動側部2と支持梁部4L及び支持梁部4R以外の部分をマスクするようにパターンニングしたレジスト膜106を形成する。すなわち、半導体基板1に対して裏面レジストパターンニング処理する。なお、図7(A)は、半導体基板1を、その裏面1b側から見た図であり、図7(B)は、図7(A)におけるE-E線断面図である。

[0069] 次に、図7(C)の断面図（図7(B)の断面図と同じ位置の断面図）に示すように、ICP-RIEによる深掘りエッチング処理を施して、ハンドル層103の内の、レジスト膜106によりマスクされていない部分を、埋め込み酸化膜層102のところまで、エッチング除去する。

[0070] 次に、レジスト膜106を除去する処理して、図7(D)及び(E)に示すように、ハンドル層103を裏面1b側に露呈させるようにする。なお、図7(E)は、半導体基板1を、その裏面1b側から見た図であり、図7(D)は、図7(E)におけるF-F線断面図である。

[0071] 次に、バッファー弗酸溶液により、埋め込み酸化膜層102の露呈している部分をエッチング除去する処理を施して、図8(A)の断面図（図7(D)の断面図と同じ位置の断面図）に示すように、可動側部2と支持梁部4L及び支持梁部4Rの部分が可動可能となるようにする。

[0072] 次に、KOH（水酸化カリウム）溶液によるバブリング酸化処理を行って、図8(B)の断面図（図8(A)の断面図と同じ位置の断面図）に示すように、カリウム含有酸化膜107を形成する。カリウム含有酸化膜107は、後述するエレクトレット膜を生成するエレクトレット化の処理のためのものであり、例えば厚さが1 μ mとされる。なお、このKOH（水酸化カリウム）溶液によるバブリング酸化処理については、例えば特開2016-82

８３６号公報の図２、図３及びその説明部分に記載の技術を用いることができる。ここではその詳細は省略する。

[0073] 次に、窒化ケイ素膜１０４ a, １０４ b, １０４ c, １０４ dを、図８（C）の断面図に示すようにエッチング除去する処理をして、当該エッチング除去した部分を、前述した電極２５, ２６, ３３ A, ３３ Bとして形成する。

[0074] 以上のようにして、半導体基板１から、この実施形態の振動発電デバイスの構成部分が、図８（D）に示すように作成することができる。そして、この図８（D）に示す振動発電デバイスの可動側部２または固定側部３ A及び３ Bのいずれか一方にエレクトレット膜を生成するエレクトレット化処理をする。この例では、固定側部３ A及び３ Bに、負に帯電させたエレクトレット膜を生成する。このエレクトレット化の処理は、例えば特開２０１３－１３２５６号公報に記載のBias-Temperature法を用いて行うことができる。ここではその詳細な説明は省略する。

[0075] 図９は、この実施形態の振動発電デバイス１０を用いた充電回路の回路構成例を示す図である。図９に示すように、この実施形態の振動発電デバイス１０は、可動側部２の電極２５と、固定側部３ Aの電極３３ Aとの間に生成される静電容量 C_1 と、可動側部２の電極２６と、固定側部３ Bの電極３３ Bとの間に生成される静電容量 C_2 とが、この例では並列に接続されたものとされる。したがって、この例では、振動発電デバイス１０で生成される静電容量 C は、 $C = C_1 + C_2$ となる。

[0076] そして、図９の例においては、この振動発電デバイス１０の静電容量 C に得られる発電出力が、この例では、ダイオード D_1 及びダイオード D_2 からなる整流回路８により整流されて、その整流出力により、蓄電用キャパシタ９が充電されて、蓄電される。

[0077] [上述の第１の実施形態の変形例]

上述の実施形態の振動発電デバイス１０では、可動側部２の突部２３, ２４の振動方向の幅と、固定側部３ A, ３ Bの突部３２ A, ３２ Bの振動方向

の幅は、全て同一としたが、可動側部 2 の振動のし易さと、高加速度時の大電流をより効率良く利用することができるように、突部 2 3, 2 4 及び突部 3 2 A, 3 2 B の幅を変化させるようにしてもよい。

[0078] 図 10 は、突部 2 3, 2 4 及び突部 3 2 A, 3 2 B の幅を変化させた振動発電デバイス 10 A における可動側部 2 と固定側部 3 A との対向部分を示す図である。なお、図示は省略するが、可動側部 2 と固定側部 3 B との対向部分も、同様に構成することは言うまでもない。

[0079] この図 10 に示すように、可動側部 2 の複数の突部 2 3 及び固定側部 3 A の複数の突部 3 2 A は、図 2 に示した高さ H_m 及び高さ H_s が高いものは振動方向の幅が広く、高さ H_m 及び H_s が低くなるにしたがって、徐々に、振動方向の幅が狭く構成されている。

[0080] 図 10 の例では、可動側部 2 の中央の高さ H_m が大きい 4 個の突部 2 3 の振動方向の幅は、幅 W_{t1} に選定され、それらよりも高さ H_m が低く、それらの両側の 2 個ずつの突部 2 3 の振動方向の幅は、幅 W_{t1} よりも狭い幅 W_{t2} とされている。そして、それら幅 W_{t2} よりも高さ H_m が低い左右の 2 個ずつの突部 2 3 の振動方向の幅は、幅 W_{t2} よりも狭い幅 W_{t3} とされている。

[0081] また、図 10 の例では、固定側部 3 A の両端の高さ H_s が大きい 3 個ずつの突部 3 2 A の振動方向の幅は、幅 W_{t1} に選定され、それらよりも高さ H_s が低く、それらの隣の 2 個ずつの突部 3 2 A の振動方向の幅は、幅 W_{t1} よりも狭い幅 W_{t2} とされている。そして、それら幅 W_{t2} よりも高さ H_s が低い中央の 2 個の突部 3 2 A の振動方向の幅は、幅 W_{t2} よりも狭い幅 W_{t3} とされている。

[0082] したがって、振動発電デバイス 10 A では、可動側部 2 が静止している状態では、可動側部 2 の中央の大きい幅 W_{t1} の 4 個の突部 2 3 A は、固定側部 3 A の中央の幅 W_{t3} の 2 個の突部 3 2 A 及びその両隣の幅 W_{t2} の 2 個の突部 3 2 A と対向する状態となる。一方、固定側部 3 A の大きい幅 W_{t1} の突部 3 2 A は、可動側部 2 の幅 W_{t2} ($< W_{t1}$) 及び幅 W_{t3} ($< W_{t1}$)

1) の突部 2 3 と対向する状態となる。すなわち、この図 1 0 の例の振動発電デバイス 1 0 A においては、可動側部 2 が静止している状態では、可動側部 2 の複数の突部 2 3 と固定側部 3 A の複数の突部 3 2 A とは、互いに振動方向の幅が異なるもの同士が対向するような状態となる。

[0083] したがって、この図 1 0 の例の振動発電デバイス 1 0 A においては、可動側部 2 が静止している状態では、可動側部 2 の複数の突部 2 3 と固定側部 3 A の複数の突部 3 2 A とは、大きい間隔 g_s だけ空隙を空けて対向するだけでなく、互いに振動方向の幅が異なるもの同士が対向して、静電容量を形成する実効の対向面積は小さくなる。このため、振動方向の力に対抗する静電力が、図 2 の場合よりも小さくなるので、この図 1 0 の例の振動発電デバイス 1 0 A は、図 2 の例の振動発電デバイス 1 0 よりも、可動側部 2 が静止している状態からの振動のし易さが向上する。

[0084] そして、高加速度となった時には、可動側部 2 の複数の突部 2 3 と固定側部 3 A の複数の突部 3 2 A とは、図 1 0 に示すように、互いに、大きい幅 W_{t1} 同士が狭い間隔 g_{min} で対向する状態となって、上述した振動発電デバイス 1 0 と同様に、出力インピーダンスが小さい状態となる。したがって、この図 1 0 の例の振動発電デバイス 1 0 A においても、励振加速度が高加速度のときには、大電流となり、蓄電素子を効率良く蓄電することができる。

[0085] 上述した図 1 0 の例において、可動側部 2 及び固定側部 3 A, 3 B の複数の突部 2 3, 2 4 及び 3 2 A, 3 2 B のうち、振動方向の幅が狭い突部は、静電容量の形成について、それほど寄与しないと考えられる。そこで、当該振動方向の幅が狭い突部を省略することが可能である。図 1 1 は、このことを踏まえた図 1 0 の例の変形例である。

[0086] すなわち、図 1 1 の例においては、図 1 0 の例において、振動方向の幅が最も狭い幅 W_{t3} である突部 2 3 及び 3 2 A は設けない。可動側部 2 の固定側部 3 B との対向面 2 2 の突部 2 4 及び固定側部 3 B の対向面 3 1 B においても同様とする。したがって、図 1 1 の例の振動発電デバイスにおいては、

可動側部 2 の対向面 2 1 及び 2 2 の突部 2 3 及び 2 4 は、可動側部 2 の振動方向に異なる密度で形成されている（すなわち、振動方向に密度変調されている）と共に、固定側部 3 A、3 B の対向面 3 1 A 及び 3 1 B の突部 3 2 A 及び 3 2 B においても、可動側部 2 の振動方向に異なる密度で形成されている（すなわち、振動方向に密度変調されている）。そして、図 1 1 に示すように、可動側部 2 の突部 2 3、2 4 が高密度の部分（突部 2 3、2 4 が存在している部分）と、固定側部 3 A、3 B の突部 3 2 A、3 2 B が低密度の部分（突部 2 3、2 4 が存在していない部分）とは、可動側部 2 が静止状態では、互いに対向するようになるように構成される。

[0087] この図 1 1 の例の振動発電デバイスにおいても、図 1 0 の例の振動発電デバイス 1 0 A と同様の作用効果が得られることは言うまでもない。

[0088] なお、図 1 1 の例は、可動側部 2 の突部 2 3、2 4 及び固定側部 3 A、3 B の突部 3 2 A、3 2 B を、可動側部 2 の振動方向に密度変調するようにする構成は、図 1 0 の例に適用した場合であった。しかし、可動側部 2 の突部 2 3、2 4 及び固定側部 3 A、3 B の突部 3 2 A、3 2 B を、可動側部 2 の振動方向に密度変調することにより、図 1 9 の（式 2）に示す力係数（電気機械変換係数） A における、対向する突部の数 n を変更することができて、当該力係数（電気機械変換係数） A を、小振幅時（低加速度時）と、大振幅時（高加速度時）とで、変更することができる。したがって、可動側部 2 の突部 2 3、2 4 及び固定側部 3 A、3 B の突部 3 2 A、3 2 B の高さ H_m 及び H_s が全て同一で、突部 2 3、2 4 と突部 3 2 A、3 2 B との間隔（可動側部 2 の対向面 2 1 側、対向面 2 2 側と、固定側部 3 A、3 B の対向面 3 1 A、3 1 B 側との間隔）が一定であってもよい。また、突部 2 3、2 4 と突部 3 2 A、3 2 B との振動方向の幅も一定であってもよい。

[0089] 上述の図 1 ～図 8 を用いて説明した第 1 の実施形態の振動発電デバイス 1 0 においては、凸部を構成する複数の突部 2 3、2 4、3 2 A 及び 3 2 B のそれぞれの間の凹部は、空間としたが、この凹部に所定の誘電率の誘電体を充填するようにしてもよい。

[0090] 図 1 2 の例は、複数の突部 2 3 及び 3 2 A のそれぞれの間の凹部に所定の誘電率の誘電体 8 1 及び 8 2 をそれぞれ充填した振動発電デバイスの可動側部 2 と固定側部 3 A との対向部分を示す図である。可動側部 2 と固定側部 3 B との対向部分における複数の突部 2 4 及び 3 2 B のそれぞれの間の凹部も同様に構成される。なお、この例においては、図 2 に示したのと同様に、複数の突部 2 3, 2 4, 3 2 A 及び 3 2 B の高さ H_m 及び H_s が振動方向に沿って正弦波状に変化するように構成されている。

[0091] この図 1 2 の例の振動発電デバイスにおいては、複数の突部 2 3, 2 4, 3 2 A 及び 3 2 B のそれぞれの間の凹部に誘電体 8 1, 8 2 が充填されているので、複数の突部 2 3, 2 4, 3 2 A 及び 3 2 B 及びそのそれぞれの間の凹部は、この発明の凸部及び凹部を構成しなくなる。その代わりに、可動側部 2 においては、複数の突部 2 3 及び 2 4 の高さ H_m が振動方向に沿って正弦波状に変化しているので、当該正弦波状の変化において、図 1 2 に示すように、可動側部 2 には、凸部 2 7 と凹部 2 8 とが形成される。また、固定側部 3 A においては、複数の突部 3 2 A 及び 3 2 B の高さ H_s が振動方向に沿って正弦波状に変化しているので、当該正弦波状の変化において、図 1 2 に示すように、固定側部 3 A, 3 B には、凸部 3 4 と凹部 3 5 とが形成される。

[0092] この図 1 2 の例の振動発電デバイスにおいても、上述の実施形態の振動発電デバイスと同様の作用効果を得ることができる。

[0093] [上述の第 1 の実施形態のその他の変形例]

なお、上述の第 1 の実施形態の振動発電デバイス 1 0 では、可動側部 2 の振動方向に直交する方向の両側の振動方向に沿う方向の面 2 1, 2 2 のそれぞれに突部 2 3, 2 4 を櫛歯状に配設すると共に、面 2 1, 2 2 に対向する面 3 1 A, 3 1 B を有する 2 個の固定側部 3 A, 3 B を設け、面 2 1, 2 2 のそれぞれに突部 3 2 A, 3 2 B を櫛歯状に配設する構成とした。しかし、可動側部 2 の振動方向に直交する方向の両側を利用せずに、その片側の可動側部 2 と固定側部 3 A との組み合わせ、あるいは、可動側部 2 と固定側部 3

Bとの組み合わせの構成とするようにしてもよい。

[0094] また、上述の第1の実施形態の振動発電デバイス10では、固定側部3A及び3Bにエレクトレット膜を生成するようにしたが、可動側部2にエレクトレット膜を生成するようにしてもよい。

[0095] また、上述の第1の実施形態の振動発電デバイス10では、固定側部3A及び3Bの全体に亘ってエレクトレット膜を生成するようにしたが、エレクトレット膜は、全体に生成する必要はなく、少なくとも、固定側部3A及び3Bの対向面31A及び31Bにエレクトレット膜を生成すればよい。

[0096] なお、振動発電デバイスの可動側部2または固定側部3A及び3Bのいずれか一方にエレクトレット膜を生成するエレクトレット化処理をするようにしたが、一方に負のエレクトレット電位、他方に正のエレクトレット電位を与えるように、可動側部2及び固定側部3A及び3Bの両方にエレクトレット膜を生成するようにしてもよい。

[0097] なお、上述の図5～図8に示した、第1の実施形態の振動発電デバイス10についての半導体製造プロセスは、一例であり、半導体製造プロセスは、上述の例に限られないことは言うまでもない。

[0098] [第2の実施形態]

上述の実施形態の振動発電デバイス10では、可動側部と固定側部とで、櫛歯状に配列された突部が対向する組み合わせは1対としたが、複数対設けることにより、より高出力の振動発電デバイスを提供することができる。以下に説明する第2の実施形態の振動発電デバイスは、そのように構成した場合の一例である。

[0099] 図13は、この第2の実施形態の振動発電デバイス10Mを、半導体基板1Mの基板面に直交する方向に当該基板面側から見た図である。この第2の実施形態の振動発電デバイス10Mも、半導体基板1Mに対して、第1の実施形態の振動発電デバイス10と同様の半導体製造プロセスを施すことで製造されるものである。すなわち、可動側部と固定側部とを形成する際のレジスト膜によるエッチングのマスクパターンが異なるのみで、その他はほぼ同

様となる。なお、この例の振動発電デバイス 10 M の大きさは、振動方向の長さは、例えば 24 mm とされ、振動方向に直交する方向の長さは、例えば 15 mm とされている。厚さ方向の大きさは、第 1 の実施形態と同様である。

[0100] 図 13 に示すように、この第 2 の実施形態においても第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 と同様に、可動側部 2 M に対して、当該可動側部 2 M の振動方向に直交する方向の両側に固定側部 3 A M と固定側部 3 B M とが配設される構成である。

[0101] そして、可動側部 2 M は、第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 の可動側部 2 と同様に、支持梁部 4 L M 及び 4 R M で振動方向の両端が支持されて、図 13 中の矢印 A R で示す方向に振動するように構成されている。

[0102] この第 2 の実施形態の振動発電デバイス 10 M の可動側部 2 M は、細長形状の可動主軸部 201 と、この可動主軸部 201 の長手方向のほぼ中央位置の両側から振動方向に直交する方向に伸びるアーム部 202 U とアーム部 202 D と、これらのアーム部 202 U 及びアーム部 202 D のそれぞれの左側と右側の両側から矢印 A R で示す振動方向に延伸する複数の可動枝部 203 U L 及び 203 U R と可動枝部 203 D L 及び 203 D R とを備える。

[0103] この例の場合、アーム部 202 U は、可動側部 2 M の可動主軸部 201 から、固定側部 3 A M の方向に張り出すように構成されている。また、アーム部 202 D は、可動側部 2 M の可動主軸部 201 から、固定側部 3 B M 側の方向に張り出すように構成されている。

[0104] そして、可動枝部 203 U L 及び可動枝部 203 U R は、可動側部 2 M の振動方向に、アーム部 202 U の左側と右側の両側から、振動方向に直交する方向に互いに所定の間隔を空けて、図 13 の例では 3 本ずつが延伸するように形成されている。また、可動枝部 203 D L 及び可動枝部 203 D R は、可動側部 2 M の振動方向に、アーム部 202 D の左側と右側の両側から、図 13 の例では 3 本ずつが延伸するように形成されている。

[0105] 一方、固定側部 3 A M は、この第 2 の実施形態においては、可動側部 2 M

の可動主軸部 201 と平行に設けられる固定主軸部 301A と、その長手方向の両端から可動主軸部 201 の方向に延伸されるアーム部 302AL 及びアーム部 302AR を備える。そして、これらのアーム部 302AL 及びアーム部 302AR は、可動側部 2M のアーム部 202U に対向する面から、矢印 AR で示す振動方向に延伸する複数の固定枝部 303AL 及び固定枝部 303AR を備える。

[0106] この例の場合には、固定枝部 303AL 及び固定枝部 303AR は、可動枝部 203UL 及び可動枝部 203UR の本数に合わせた 3 本ずつとされており、図 13 に示すように、可動枝部 203UL 及び可動枝部 203UR と、固定枝部 303AL 及び固定枝部 303AR とが交互に噛み合うように構成されている。

[0107] また、固定側部 3BM は、この第 2 の実施形態においては、可動側部 2M の可動主軸部 201 と平行に設けられる固定主軸部 301B と、その長手方向の両端から可動主軸部 201 の方向に延伸されるアーム部 302BL 及び 302BR とを備える。そして、これらのアーム部 302BL 及びアーム部 302BR は、可動側部 2M のアーム部 202D に対向する面から、矢印 AR で示す振動方向に延伸する複数の固定枝部 303BL 及び固定枝部 303BR を備える。

[0108] この例の場合には、固定枝部 303BL 及び固定枝部 303BR は、可動枝部 203DL 及び可動枝部 203DR の本数に合わせて 3 本ずつとされており、図 13 に示すように、可動枝部 203DL 及び 203DR と、固定枝部 303BL 及び 303BR とが交互に噛み合うように構成されている。

[0109] なお、可動枝部及び固定枝部の数は、3 本ずつではなく、1 本または 2 本でもよいし、3 本よりも多数とすることも可能であることは言うまでもない。

[0110] 図 14 (A) に、固定側部 3AM の左側のアーム部 302AL に形成されている固定枝部 303AL と、可動側部 2M のアーム部 202U の左側に形成されている可動枝部 203UL との噛み合い状態を説明するための一部拡

大図を示す。また、図 1 4 (B) には、固定側部 3 A M の右側のアーム部 3 0 2 A R に形成されている固定枝部 3 0 3 A R と、可動側部 2 M のアーム部 2 0 2 U の右側に形成されている可動枝部 2 0 3 U R との噛み合い状態を説明するための一部拡大図を示す。

[0111] なお、固定側部 3 B M の左側のアーム部 3 0 2 B L に形成されている固定枝部 3 0 3 B L と、可動側部 2 M のアーム部 2 0 2 D の左側に形成されている可動枝部 2 0 3 D L との噛み合い状態、また、固定側部 3 B M の右側のアーム部 3 0 2 B R に形成されている固定枝部 3 0 3 B R と、可動側部 2 M のアーム部 2 0 2 D の右側に形成されている可動枝部 2 0 3 D R との噛み合い状態は、図 1 4 (A) 及び図 1 4 (B) と同様になる。そこで、ここでは、可動枝部 2 0 3 U L 及び可動枝部 2 0 3 U R と、固定枝部 3 0 3 A L 及び固定枝部 3 0 3 A R との関係の説明のみを行い、可動枝部 2 0 3 D L 及び可動枝部 2 0 3 D R と、固定枝部 3 0 3 B L 及び固定枝部 3 0 3 B R との関係については、その説明は省略する。

[0112] 図 1 4 (A) に示すように、可動枝部 2 0 3 U L の、固定枝部 3 0 3 A L と対向し、振動方向に沿う方向の面それぞれには、第 1 の実施形態の可動側部 2 の突部 2 3 及び突部 2 4 と同様にして、突部 2 0 4 U L 及び突部 2 0 5 U L が形成されている。一方、固定枝部 3 0 3 A L の可動枝部 2 0 3 U L に対向する面には、第 1 の実施形態の固定側部 3 A の突部 3 2 A に対応する突部 3 0 4 A L 及び突部 3 0 5 A L が形成されている。

[0113] そして、この例においても、可動側部 2 M の可動枝部 2 0 3 U L に形成されている突部 2 0 4 U L 及び突部 2 0 5 U L と、固定枝部 3 0 3 A L に形成されている突部 3 0 4 A L 及び突部 3 0 5 A L とは、第 1 の実施形態において、図 2 を用いて説明したのと同様の寸法関係で構成されている。すなわち、突部 2 0 4 U L 及び突部 2 0 5 U L、突部 3 0 4 A L 及び突部 3 0 5 A L の幅 W_t は $20\ \mu\text{m}$ 、配列ピッチ L は $60\ \mu\text{m}$ 、高さ H は $42.5\ \mu\text{m}$ とされ、突部 2 0 4 U L 及び突部 2 0 5 U L の先端面と、突部 3 0 4 A L 及び突部 3 0 5 A L の先端面との間の間隔の最小値 $g_{\min}$ は、 $5\ \mu\text{m}$ とされてい

る。

[0114] また、図14(B)に示すように、可動枝部203URの、固定枝部303ARと対向し、振動方向に沿う方向の面それぞれには、同様にして、突部204UR及び突部205URが形成されていると共に、固定枝部303ARの可動枝部203URに対向する面には、突部304AR及び突部305ARが形成されている。そして、可動側部2Mの可動枝部203URに形成されている突部204UR及び205URと、固定枝部303ARに形成されている突部304AR及び305ARとは、可動側部2Mの可動枝部203ULに形成されている突部204UL及び205ULと、固定枝部303ALに形成されている突部304L及び305Lとの関係と同様に構成されている。

[0115] なお、この場合に、固定側部3AMの固定主軸部301にも、固定枝部303ALの突部305AL及び突部305AL、また、固定枝部303ARの突部305AR及び突部305AR、と同様の突部305Mが形成されている。また、可動側部2Mの可動主軸部201にも、可動枝部203UL及び可動枝部203URの突部203UL及び203URと同様の突部が形成されている。

[0116] なお、可動側部2の突部23、24の個数と、固定側部3A、3Bの突部32A、32Bの個数は、図13及び図14においては、作図の便宜上、少数となっているが、前述したように、その個数は、実際的には、より多数である。また、可動側部2の突部23、24と、固定側部3A、3Bの突部32A、32Bとは、図13及び図14においては、作図の便宜上、全て同一の高さを有するものとして示してあるが、実際上は、図2に示したように、振動方向において高さが異なるものであることは言うまでもない。また、上述した第1の実施形態の変形例のように構成されていてもよい。

[0117] ところで、一般に、この種の静電型の振動発電デバイスの場合、支持梁部4LM及び4RMの復元力と、可動側部2Mと固定側部3AM及び3BMとの間の静電力が同一方向に働くと、静電力により可動構造が制動されて動き

にくくなる。

[0118] これに鑑み、この第2の実施形態では、図14（A）に示すアーム部202Uの左側の可動枝部203ULと固定側部3AMの左側の固定枝部303ALとの左側グループにおける突部204UL及び205ULと突部304AL及び305ALとの対向位相と、図14（B）に示すアーム部202Uの右側の可動枝部203URと固定側部3AMの右側の固定枝部303ARとの右側グループにおける突部204UR及び205URと突部304AR及び305ARとの対向位相とが、静電力による影響が、左側グループと、右側グループとで互いに相殺されるように異なる構成とされている。

[0119] この図13の例では、配列ピッチLを1周期（360度）としたとき、左側グループと、右側グループとで90度位相が異なるように構成されている。すなわち、図14（A）に示すように、左側グループの可動枝部203ULの突部204UL及び205ULと、固定枝部303ALの突部304AL及び305ALとが互いに正対するような状態であるときには、図14（B）に示すように、右側グループの可動枝部203URの突部204UR及び205URと、固定枝部303ARの突部304AR及び305ARとは、正対せずに、90度ずれた状態となるように構成されている。

[0120] なお、図示は省略するが、上述と同様にして、アーム部202Dの左側の可動枝部203DLと固定側部3BMの左側の固定枝部303BLとの左側グループにおける突部204DL及び205DLと突部304BL及び305BLとの対向位相と、アーム部202Dの右側の可動枝部203DRと固定側部3BMの右側の固定枝部303BRとの右側グループにおける突部204DR及び205DRと突部304BR及び305BRとの対向位相とが、同様にして、静電力による影響が、左側グループと、右側グループとで互いに相殺されるように異なる構成とされている。

[0121] このように、この第2の実施形態の振動発電デバイス10Mにおいては、可動側部2Mの突部を、振動方向に2つのグループに分け、固定側部3AM及び固定側部3BMの突部との間の対向位相が、その2つのグループで互い

に異なるようにしたことにより、可動側部 2 M と固定側部 3 A M 及び固定側部 3 B M との間に働く静電力を、それらの 2 つのグループで逆方向に働かせるようにすることができ、可動側部 2 M が静電力により制動されて、振動しづらくなる状態を軽減、あるいは振動を継続しなくなる状態を回避することができる。

[0122] なお、上述の説明では、可動側部 2 M の突部を、振動方向に 2 つのグループに分けたが、固定側部 3 A M 及び固定側部 3 B M の突部を、振動方向に 2 つのグループに分けるようにしても勿論よい。

[0123] 図示は省略したが、この第 2 の実施形態の振動発電デバイス 10 M においても、可動側部 2 M の可動主軸部 201 の上には、錘が載せられるのは、第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 の場合と同様である。

[0124] この第 2 の実施形態の振動発電デバイス 10 M も、第 1 の実施形態の振動発電デバイス 10 と同様にして、可動側部 2 M の両端側に電極 25 M 及び 26 M が形成されると共に、固定側部 3 A M には電極 33 A M が形成され、固定側部 3 B M には電極 33 B M が形成される。そして、この第 2 の実施形態の振動発電デバイス 10 M の場合にも、図 9 に示した充電回路により、蓄電用キャパシタ 9 に蓄電することができる。

[0125] この場合に、この第 2 の実施形態においては、図 9 に示す電極 25 に対応する電極 25 M と、電極 33 A に対応する電極 33 A M との間には、複数の可動枝部 203 U L 及び可動枝部 203 U R（可動主軸部 201 を含む）と複数の固定枝部 303 A L 及び固定枝部 303 A R（固定主軸部 301 A を含む）との対の間でそれぞれ生成される複数個の静電容量が並列に接続されていることになる。同様に、図 9 に示す電極 26 に対応する電極 26 M と、電極 33 B に対応する電極 33 B M との間には、複数の可動枝部 203 D L 及び可動枝部 203 D R（可動主軸部 201 を含む）と複数の固定枝部 303 B L 及び固定枝部 303 B R（固定主軸部 301 B を含む）との対の間でそれぞれ生成される複数個の静電容量が並列に接続されていることになる。

[0126] したがって、この第 2 の実施形態の振動発電デバイス 10 M によれば、第

1の実施形態と同様の作用効果を有する上に、振動発電の発電量を大きくすることができる広帯域の振動発電デバイスを実現することができる。

[0127] そして、この第2の実施形態の振動発電デバイス10Mによれば、可動側部の突部と固定側部の突部との対向位相が互いに異なる2つのグループに分け、それら2つのグループ間で、可動側部と固定側部との間に働く静電力を互いに相殺するように構成したので、可動側部が静電力により振動しづらくなる状態を軽減、あるいは振動を継続しなくなる状態を回避することができる。

[0128] [第2の実施形態の変形例]

上述の第2の実施形態の例においても、固定側部3BM側を省略して、可動側部2Mと、固定側部3AMとの組み合わせからなるものとしてもよい。

[0129] また、可動側部2Mの可動主軸部201から振動方向に直交する方向に延伸するアーム部を、更に、振動方向の異なる位置に複数個設け、それぞれのアーム部について、上述と同様の構成となるようにするとともに、固定側部3AM及び3BMも、それぞれのアーム部に対応する部分を、上述と同様に構成することにより、より多数の可動枝部と固定枝部との対からなる構成とすることもできる。

[0130] また、上述の第2の実施形態においては、可動側部と固定側部との間の静電力を相殺するようにするために、突部の対向位相が異なるグループを、可動側部の振動方向に配置するようにした。しかし、突部の対向位相が異なるグループを、振動方向に直交する方向に配置してもよい。すなわち、可動側部2Mと固定側部3AMとのグループと、可動側部2Mと固定側部3BMとのグループとで、突部の対向位相が異なるグループを構成してもよい。その場合には、第1の実施形態においても適用が可能であることは言うまでもない。

[0131] そして、突部の対向位相の異なりは、上述の例の90度に限らず、可動側部と固定側部との間の静電力を相殺するようにする寄与する位相の異なりであればよい。

[0132] [第3の実施形態]

上述の実施形態では、可動側部2の対向面21、22及び固定側部3A、3Bの対向面31A、31Bには、振動方向に直交する方向の高さ H_m 及び H_s が異なる複数個の櫛歯状の突部23、24及び32A、32Bをそれぞれ形成するようにした。しかし、このような櫛歯状の突部を形成することなく、可動側部2の対向面21、22及び固定側部3A、3Bの対向面31A、31Bの形状を、平面ではなく、可動側部2の振動方向の振幅の大きさに応じて、可動側部2の対向面21、22と、固定側部3A、3Bの対向面31A、31Bとの間隔が変化するように構成する。

[0133] 第3の実施形態は、この場合の構成例である。図15は、この第3の実施形態の振動発電デバイスの要部を説明するための図で、上述の実施形態の可動側部2の対向面と固定側部3Aの対向面の形状の例を示す図である。

[0134] すなわち、図15の例においては、可動側部2の固定側部3Aとの対向面21Wと、固定側部3Aの可動側部2との対向面31AWとは、平面ではなく、矢印ARで示す可動側部2の振動方向において、図15に示すように、同一の繰り返し周期の正弦波状の波形形状となるように形成されている。

[0135] したがって、可動側部2の対向面21Wにおいては、波形形状において、固定側部3Aの対向面31AW側に突出する部分が凸部91となると共に、隣接する2個の凸部91の間が凹部92となる。また、固定側部3Aの対向面31AWにおいては、波形形状において、可動側部2の対向面21W側に突出する部分が凸部93となると共に、隣接する2個の凸部93の間が凹部94となる。

[0136] そして、図15に示すように、可動側部2が静止状態においては、可動側部2の対向面の凸部91と固定側部3Aの対向面31AWの凹部94とが対向すると共に、可動側部2の凹部92と固定側部3Aの凸部93とが対向するように構成されている。そして、この可動側部2が静止状態であるときの、可動側部2の対向面21Wと固定側部3Aの対向面31AWとの間隔は、上述の第1の実施形態の場合と同様に、比較的大きい間隔 g_s となるように

構成されている。そして、可動側部 2 が振動して、可動側部 2 の対向面の凸部 9 1 と固定側部 3 A の対向面 3 1 A W の凹部 9 4 とが対向するようになったときの、可動側部 2 の対向面 2 1 W と固定側部 3 A の対向面 3 1 A W との間隔は、上述の第 1 の実施形態の場合と同様に、微小な間隔 g_{min} ($< g_s$) となるように構成されている。

[0137] この第 3 の実施形態の振動発電デバイスにおいては、可動側部 2 と固定側部 3 B との間も同様に構成されるのは勿論である。

[0138] これにより、この図 1 5 の例の振動発電デバイスにおいても、振動振幅が小さいときには、図 1 9 の (式 2) の $d_o = g_s$ となって、力係数 (電気機械変換係数) A が小さくなり、出力インピーダンスは大きくなる。また、振動振幅が大きいときには、図 1 9 の (式 2) の $d_o = g_{min}$ となって、力係数 (電気機械変換係数) A が大きくなり、出力インピーダンスは小さくなる。したがって、この第 3 の実施形態の振動発電デバイスにおいても、第 1 の実施形態の振動発電デバイス 1 0 と同様に、低加速度の状態から高加速度の状態まで、効率良く、出力電流を整流して、蓄電することができる。

[0139] なお、この第 3 の実施形態を、上述の第 2 の実施形態に適用することができることは言うまでもない。

[0140] [第 4 の実施形態]

以上の実施形態では、図 1 9 の (式 2) で表される力係数 (電気機械変換係数) A が、可動側部 2 と固定側部 3 A, 3 B との間隔 d_o に応じて変化することに鑑み、可動側部 2 の振動振幅に応じて、この間隔 d_o を、振動振幅が小さいときには大きく、振動振幅が大きいときには小さくするようにした。しかし、力係数 (電気機械変換係数) A を変化させる因子は、図 1 9 の (式 2) から分かるように、間隔 d_o に限られず、エレクトレット電位 E であってもよい。

[0141] 第 4 の実施形態においては、固定側部 3 A, 3 B または可動側部 2 のいずれか一方にエレクトレット膜を生成する際に、そのエレクトレット膜のエレクトレット電位 E を、可動側部 2 の振動方向において変化させることで、力

係数（電気機械変換係数） A を変化させるように構成する。

[0142] 図16は、この第4の実施形態の振動発電デバイスの要部を説明するための図で、上述の実施形態の可動側部2の対向面と固定側部3Aの対向面の部分の場合の例を示す図である。この第4の実施形態では、図16の例に示すように、可動側部2の振動方向の長さは、固定側部3Aの振動方向の長さよりも短く構成する。そして、この例では、固定側部3Aにエレクトレット膜を形成するようにするが、そのエレクトレット電位 E を、可動側部2の振動方向において、図16において、一点鎖線で示すように、変化させておくようにする。

[0143] すなわち、可動側部2が静止状態においては、固定側部3Aの可動側部2と対向している中央部分のエレクトレット電位 E は低くしておく。また、可動側部2が大きく振動したときに対向することとなる固定側部3Aの部分には、エレクトレット電位 E は高くしておく。

[0144] なお、図16の例では、可動側部2の対向面21と固定側部3Aの対向面31Aとには、突部23と突部32Aは形成されず、また、可動側部2の対向面21と固定側部3Aの対向面31aとの間の間隔は、一定の間隔、例えば間隔 g_{min} とする。

[0145] また、可動側部2と固定側部3Bとの間の関係は、上述した可動側部2と固定側部3Aとの関係と同様に構成する。

[0146] このように構成した第4の実施形態の振動発電デバイスにおいては、可動側部2の振動振幅が小さいときには、対向する固定側部3A、3Bにおけるエレクトレット電位 E は低いので、力係数（電気機械変換係数） A は、（式2）から小さくなり、出力インピーダンスは大きくなる。一方、可動側部2の振動振幅が大きくなると、対向する固定側部3A、3Bにおけるエレクトレット電位 E は高くなるので、力係数（電気機械変換係数） A は、（式2）から大きくなり、出力インピーダンスは小さくなる。

[0147] したがって、この第3の実施形態の振動発電デバイスにおいても、第1の実施形態の振動発電デバイス10と同様に、低加速度の状態から高加速度の

状態まで、効率良く、出力電流を整流して、蓄電することができる。

[0148] なお、図 1 6 の例では、可動側部 2 の対向面 2 1 と固定側部 3 A の対向面 3 1 A とには、突部 2 3 と突部 3 2 A は形成されず、また、可動側部 2 の対向面 2 1 と固定側部 3 A の対向面 3 1 a との間の間隔は、一定の間隔としたが、可動側部 2 の対向面 2 1 と固定側部 3 A の対向面 3 1 A とにおいては、第 1 の実施形態や第 1 の実施形態の変形例、さらに、第 3 の実施形態のように構成してもよい。また、この第 4 の実施形態を、第 2 の実施形態に適用することも可能であることは言うまでもない。

[0149] [その他の実施形態または変形例]

上述の実施形態の振動発電デバイスは、半導体製造プロセスにより製造される MEMS デバイスの場合であったが、この発明による振動発電デバイスは、MEMS デバイスに限られるものではない。

[0150] また、上述の第 1 の実施形態においては、可動側部及び固定側部に形成する突部（凸部）は、断面が矩形形状のものとしたが、突部（凸部）の形状は、これに限られるものではない。

[0151] また、上述の実施形態では、振動発電デバイスを重力方向から見たときに、可動側部の左右方向に固定側部を配置するようにしたが、図 1 7 に示すように、可動側部と固定側部とを上下方向に所定の間隔 g （可動側部の振動により変化する場合有り）を空けて配置するようにしてもよい。図 1 7 の例の場合、上側が可動側部 2 C であり、下側が固定側部 3 C となるが、可動側部 2 C の固定側部 3 C に対する対向面 2 1 C と、固定側部 3 C の可動側部 2 に対する対向面 3 1 C とは、上述した第 1 の実施形態、その変形例、あるいは第 3 の実施形態や第 4 の実施形態のいずれかと同様に形成するようにする。

[0152] また、可動側部の振動方向は、直線方向ではなく、回転方向であってもよい。図 1 8 は、そのように構成される振動発電デバイスの可動側部 2 D と、固定側部 3 D の一例である。すなわち、図 1 8 に示すように、可動側部 2 D と、固定側部 3 D とは円板状に構成され、所定の間隔 g （可動側部の振動により変化する場合有り）を空けて配置する。そして、可動側部 2 D は、図 1

8において矢印で示すように、固定側部3 Dとの間隔を保った状態で、その円板に直交する方向を回転中心軸O z（円板の中心位置）として回転するように構成される。

[0153] この図1 8の例においても、可動側部2 Dの固定側部3 Dに対する対向面2 1 Dと、固定側部3 Dの可動側部2 Dに対する対向面3 1 Dとは、上述した第1の実施形態、その変形例、あるいは第3の実施形態や第4の実施形態のいずれかと同様に形成するようにする。ただし、振動方向が回転方向となるので、突部の高さの変化方向や、エレクトレット電位Eの変化方向などが回転方向となる点が、上述の実施形態とは異なる。

符号の説明

[0154] 1, 1 M…半導体基板、2, 2 M…可動側部、3 A, 3 B, 3 A M, 3 B M…固定側部、4 L, 4 R, 4 L M, 4 R M…支持梁部、7…錘、2 1, 2 2…可動側部2の対向面、2 3, 2 4…可動側部2の突部、3 1 A, 3 1 B…固定側部3 A, 3 Bの対向面、3 2 A, 3 2 B…固定側部3 A, 3 Bの突部

請求の範囲

[請求項1]

外部から印加される振動エネルギーにより所定の振動方向に振動することが可能なように構成されており、前記振動方向に沿う第1の面を備える可動側部と、

前記可動側部が前記振動方向に振動することが可能なように、前記可動側部の前記第1の面と所定の間隔を隔てて対向する第2の面を備え、前記振動エネルギーに対しても位置固定するように構成されている固定側部と、

を備え、

前記可動側部の前記第1の面及び前記固定側部の前記第2の面のそれぞれの表面には、複数個の凹部と凸部とが前記振動方向に交互に形成されていると共に、

前記固定側部と前記可動側部との少なくとも一方には、エレクトレット膜が形成されており、

前記可動側部の前記第1の面側と前記固定側部の第2の面側との間隔に応じた値を有する力係数（電気機械変換係数）が、前記可動側部の前記振動振幅が小さいときには小さく、前記可動側部の前記振動振幅が大きいときには大きくなるように構成されている

ことを特徴とする振動発電デバイス。

[請求項2]

前記可動側部の前記第1の面の前記複数個の凹部と凸部と、前記固定側部の前記第2の面の前記複数個の凹部と凸部とは、前記可動側部の前記振動振幅が小さいときには、前記可動側部の前記第1の面の前記凸部と、前記固定側部の前記第2の面の前記凸部との間隔の最小値が大きい状態となり、かつ、前記可動側部の前記振動振幅が大きいときには、前記可動側部の前記第1の面の前記凸部と、前記固定側部の前記第2の面の前記凸部との間隔の最小値が小さい状態となるように、形成されている

ことを特徴とする請求項1に記載の振動発電デバイス。

[請求項3] 前記可動側部の前記第1の面の複数個の前記凸部と、前記固定側部の前記第2の面の複数個の前記凸部とは、前記振動方向の配列ピッチは同一とされていると共に、前記振動方向に配列されている複数の前記凸部の前記振動方向に直交する方向の高さが、振動方向に沿って徐々に大きくなった後、徐々に小さくなるような変化を繰り返すように形成されている

ことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の振動発電デバイス。

[請求項4] 前記可動側部の前記第1の面の複数個の前記凸部と、前記固定側部の前記第2の面の複数個の前記凸部とは、前記振動方向に直交する方向が高さが低いものほど、前記振動方向の幅が狭くされている

ことを特徴とする請求項3に記載の振動発電デバイス。

[請求項5] 前記可動側部の前記第1の面の複数個の前記凸部と、前記固定側部の前記第2の面の複数個の前記凸部は、前記振動方向の存在密度が、前記振動方向において変えられている

ことを特徴とする請求項1～請求項4のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項6] 前記可動側部の前記第1の面及び前記固定側部の前記第2の面のそれぞれの表面の、前記凸部は、前記振動方向に直交する方向に突出する複数個の突部が前記振動方向に櫛歯状に配列されている

ことを特徴とする請求項1～請求項5のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項7] 前記可動側部の前記第1の面及び前記固定側部の前記第2の面のそれぞれの表面の前記凸部は、前記振動移動方向に配列された複数個のくさび形状からなる

ことを特徴とする請求項2～請求項6のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項8] 前記可動側部の前記第1の面及び前記固定側部の前記第2の面のそ

それぞれの表面の前記凹部と前記凸部とにより波形形状に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の振動発電デバイス。

[請求項9]

外部から印加される振動エネルギーにより所定の振動方向に振動することが可能なように構成されており、前記振動方向に沿う第 1 の面を備える可動側部と、

前記可動側部が前記振動方向に振動することが可能なように、前記可動側部の前記第 1 の面と所定の間隔を隔てて対向する第 2 の面を備え、前記振動エネルギーに対しても位置固定するように構成されている固定側部と、

を備え、

前記固定側部と前記可動側部との少なくとも一方には、エレクトレット膜が形成されており、

前記固定側部と前記可動側部との少なくとも一方に形成される前記エレクトレット膜のエレクトレット電位が前記振動方向において変化せられていることにより、前記エレクトレット膜の電位に応じた値を有する力係数（電気機械変換係数）が、前記可動側部の前記振動振幅が小さいときには小さく、前記可動側部の前記振動振幅が大きいときには大きくなるように構成されている

ことを特徴とする振動発電デバイス。

[請求項10]

前記固定側部と前記可動側部とが半導体基板から形成された MEMS デバイスである

ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 9 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項11]

前記可動側部の前記第 1 の面と前記固定側部の前記第 2 の面とは、それぞれ前記半導体基板の基板面に直交する方向の面であり、前記可動側部の前記振動方向の両端は、前記半導体基板から形成された支持梁により支持されて、前記可動側部が振動移動可能とされている

ことを特徴とする請求項 10 に記載の振動発電デバイス。

[請求項12] 前記可動側部及び前記固定側部は、それぞれ平板状部材であることを特徴とする請求項 1 ～請求項 11 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項13] 前記可動側部は前記第 1 の面に直交する方向を回転軸方向として回転振動する

ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 12 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項14] 前記可動側部の前記前記振動方向に沿う前記第 1 の面は複数個であり、

前記固定側部は、前記可動側部の複数個の前記第 1 の面のそれぞれに対向する複数個の前記第 2 の面を有する

ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 13 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項15] 前記可動側部には、前記振動移動方向に対して交差する方向に重さが加わるように錘が配置されている

ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 14 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

[請求項16] 前記振動移動方向に直交する方向に複数個の前記可動側部を備えると共に、前記固定側部材は、複数個の前記可動側部の前記第 1 の面のそれぞれに対向する複数個の前記第 2 の面を有する

ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 15 のいずれかに記載の振動発電デバイス。

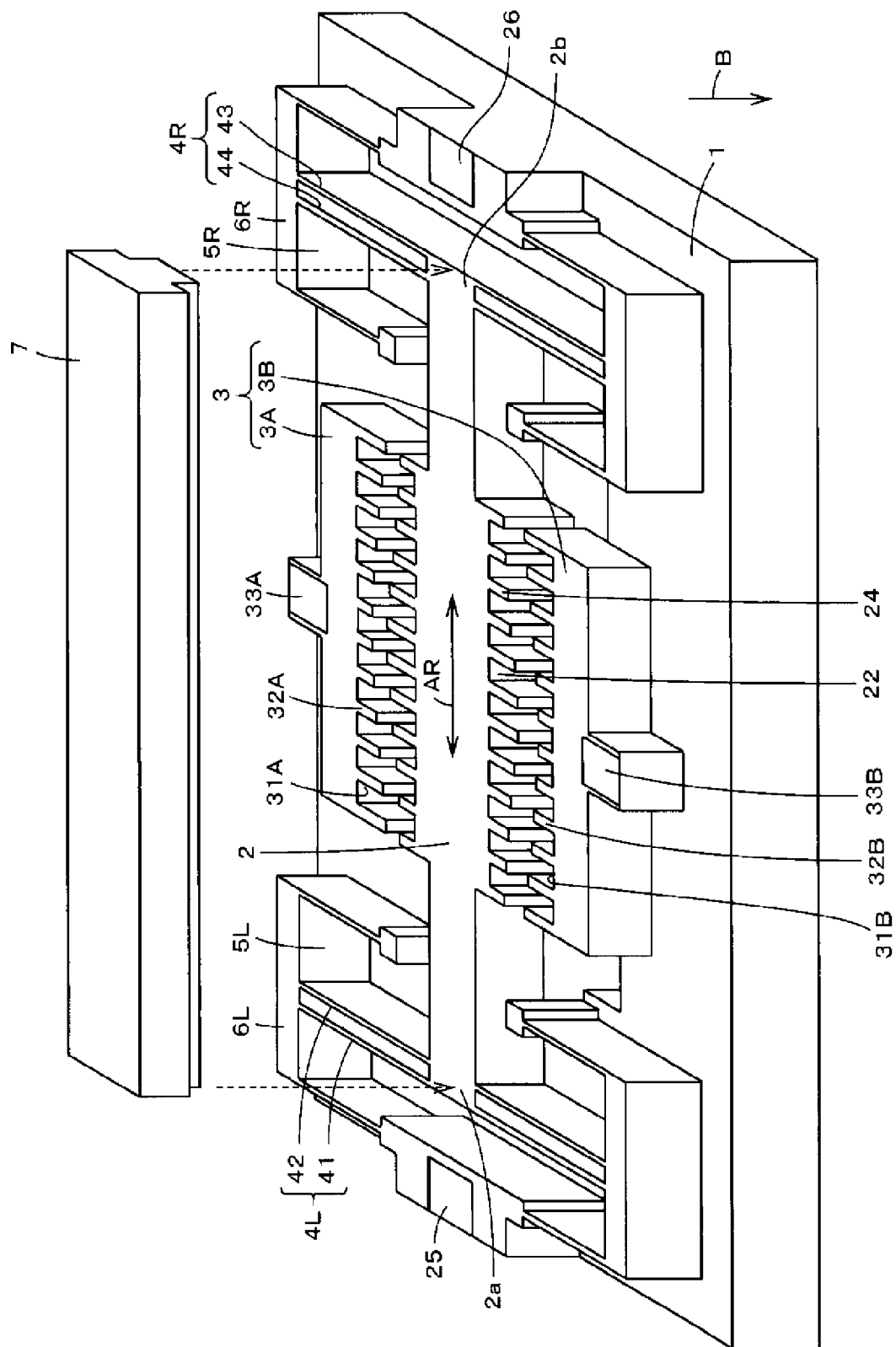
[請求項17] 前記可動側部の前記第 1 の面及び前記固定側部の前記第 2 の面に形成されている前記複数個の凹部と凸部は、前記振動方向の配列ピッチの位相が異なる第 1 のグループと第 2 のグループとに分けられており、

前記第 1 のグループにおいて、前記可動側部の複数個の前記凸部と

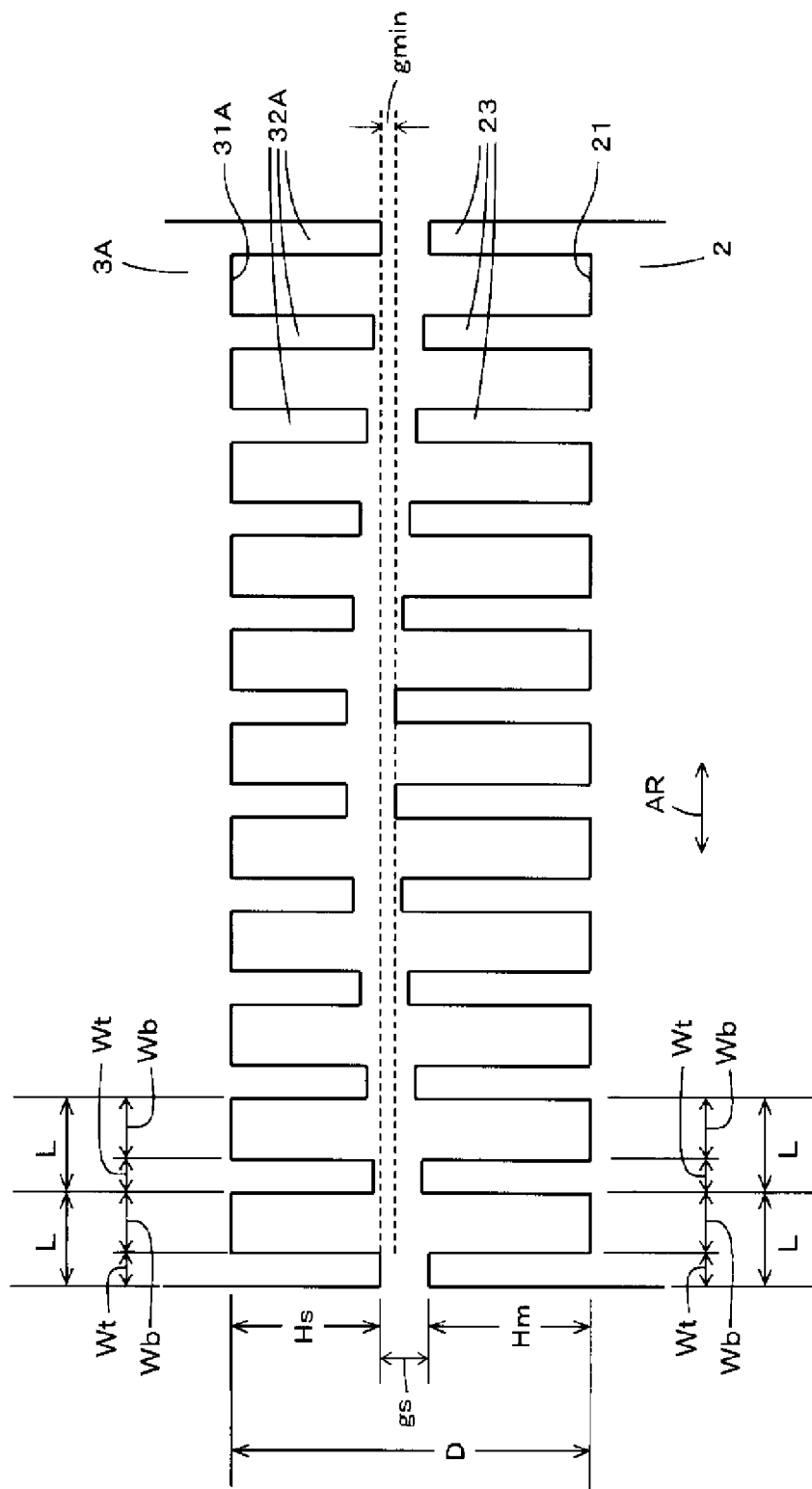
、前記固定側部の複数個の前記凸部とが対向して前記振動方向に直交する方向において重なる状態のときには、前記第2のグループの前記可動側部の複数個の前記凸部と、前記固定側部の複数個の前記凸部とは前記振動方向に直交する方向において重ならない状態となるようにされている

ことを特徴とする請求項1～請求項16のいずれかに記載の振動発電デバイス。

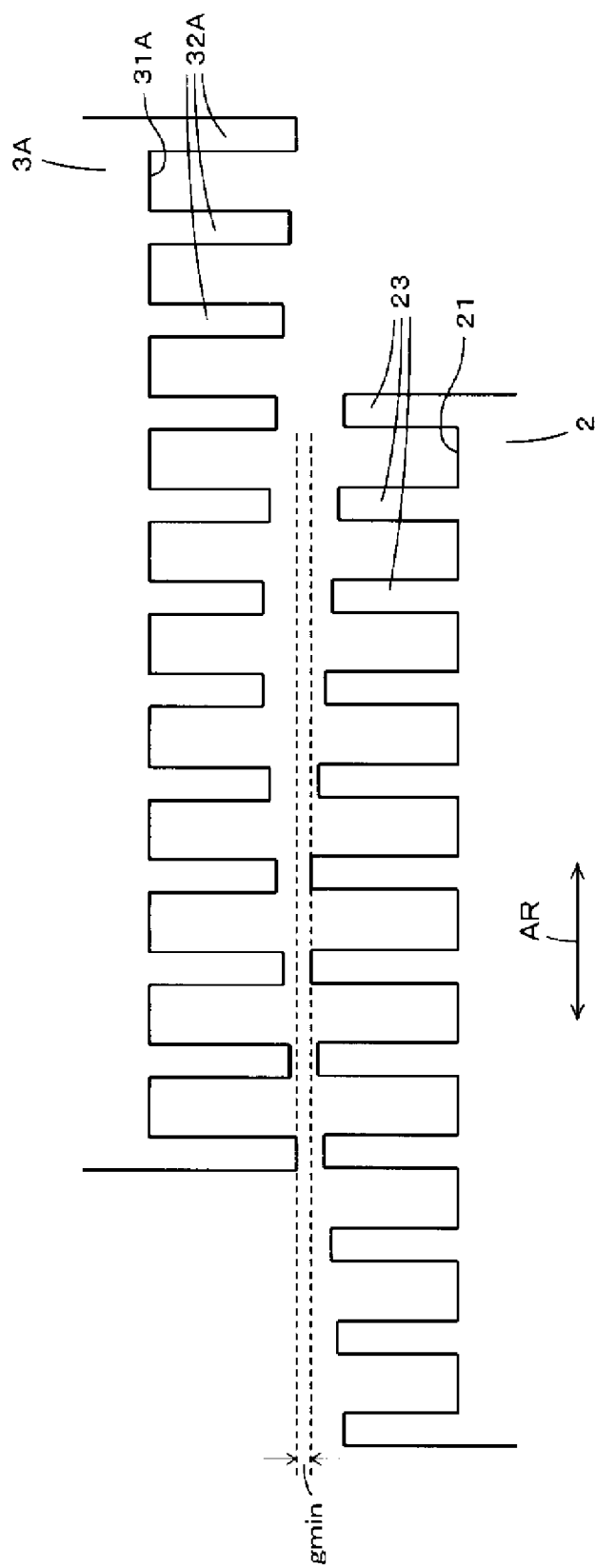
[図1]



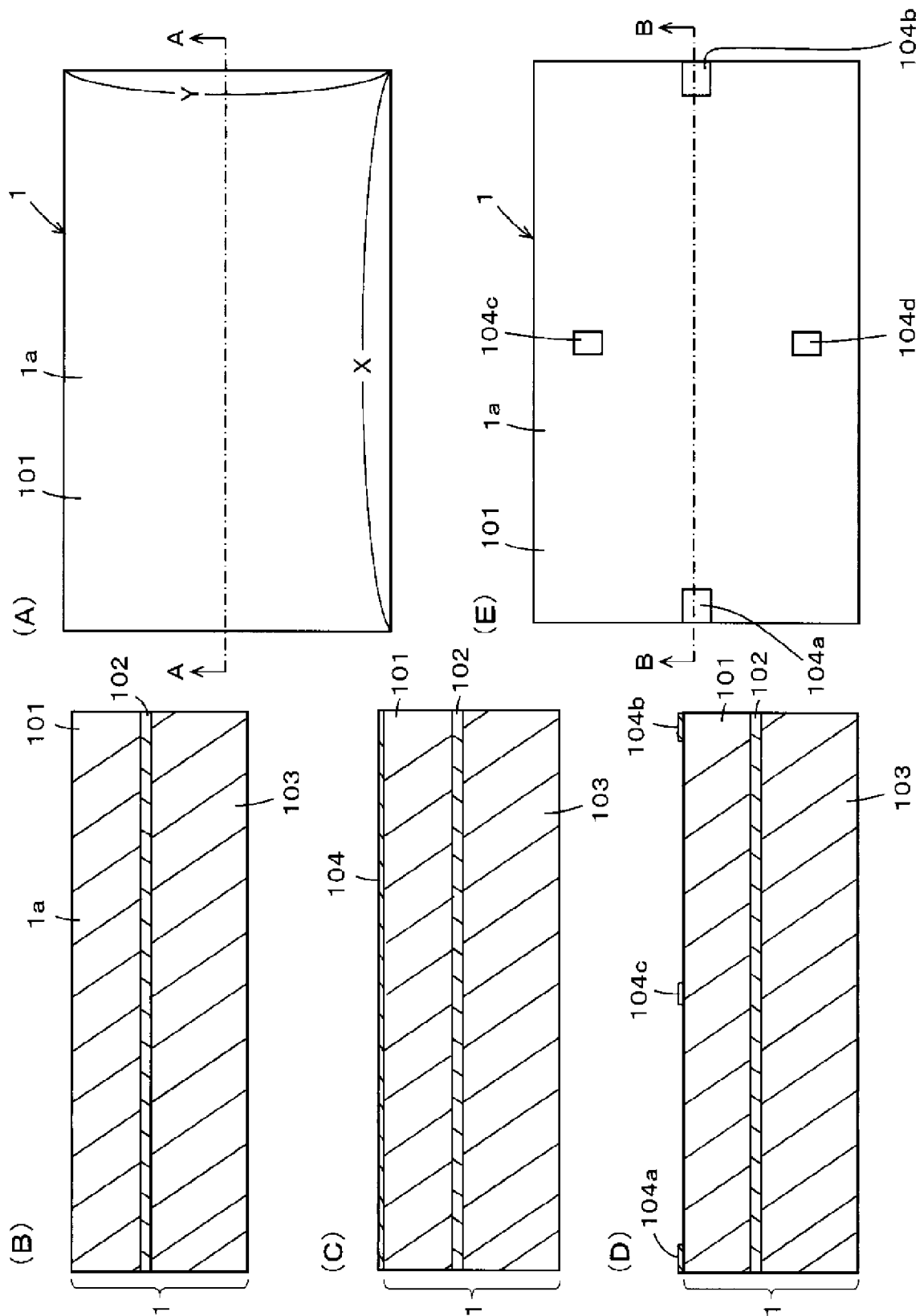
[図2]



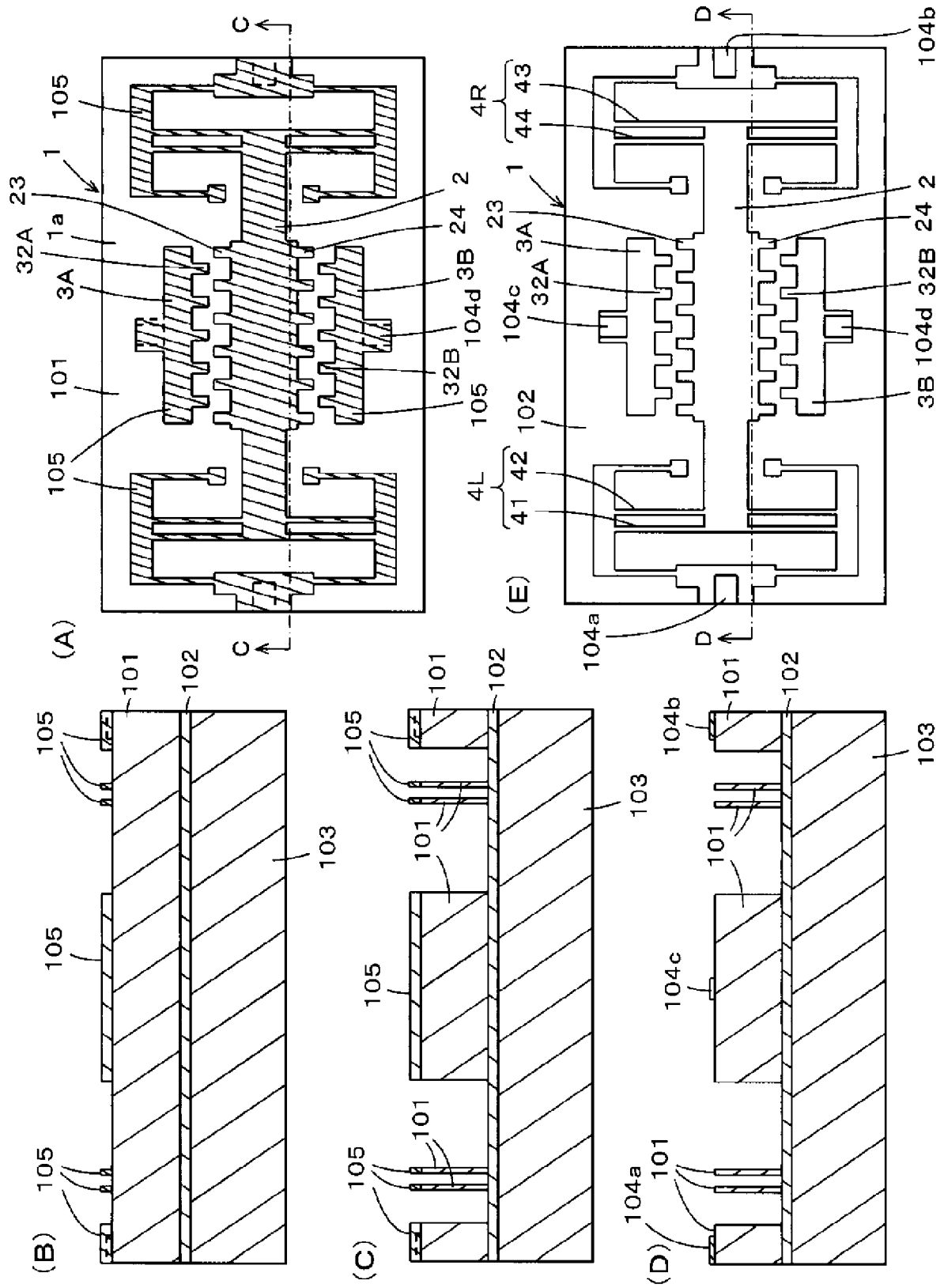
[図4]



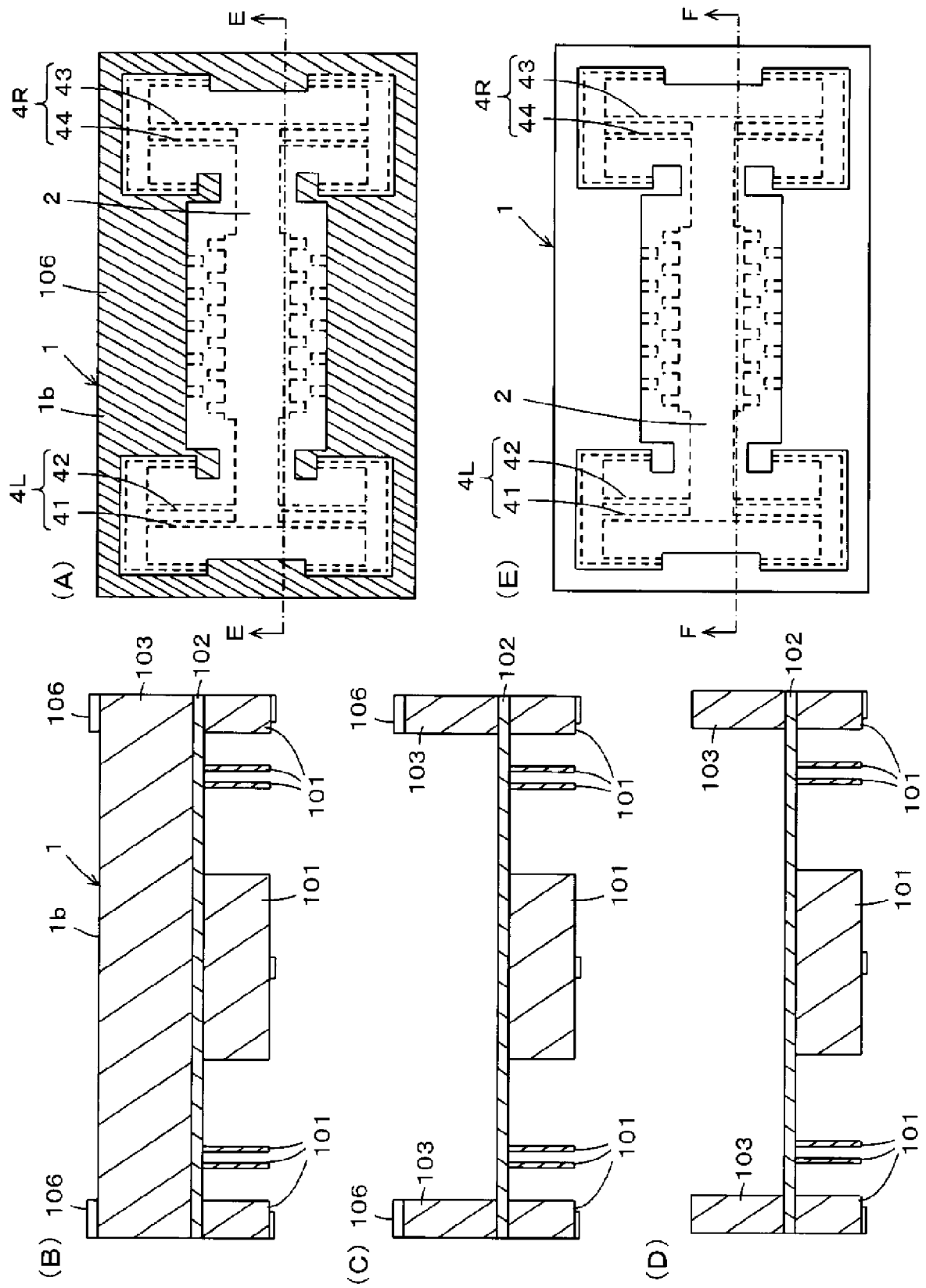
[図5]



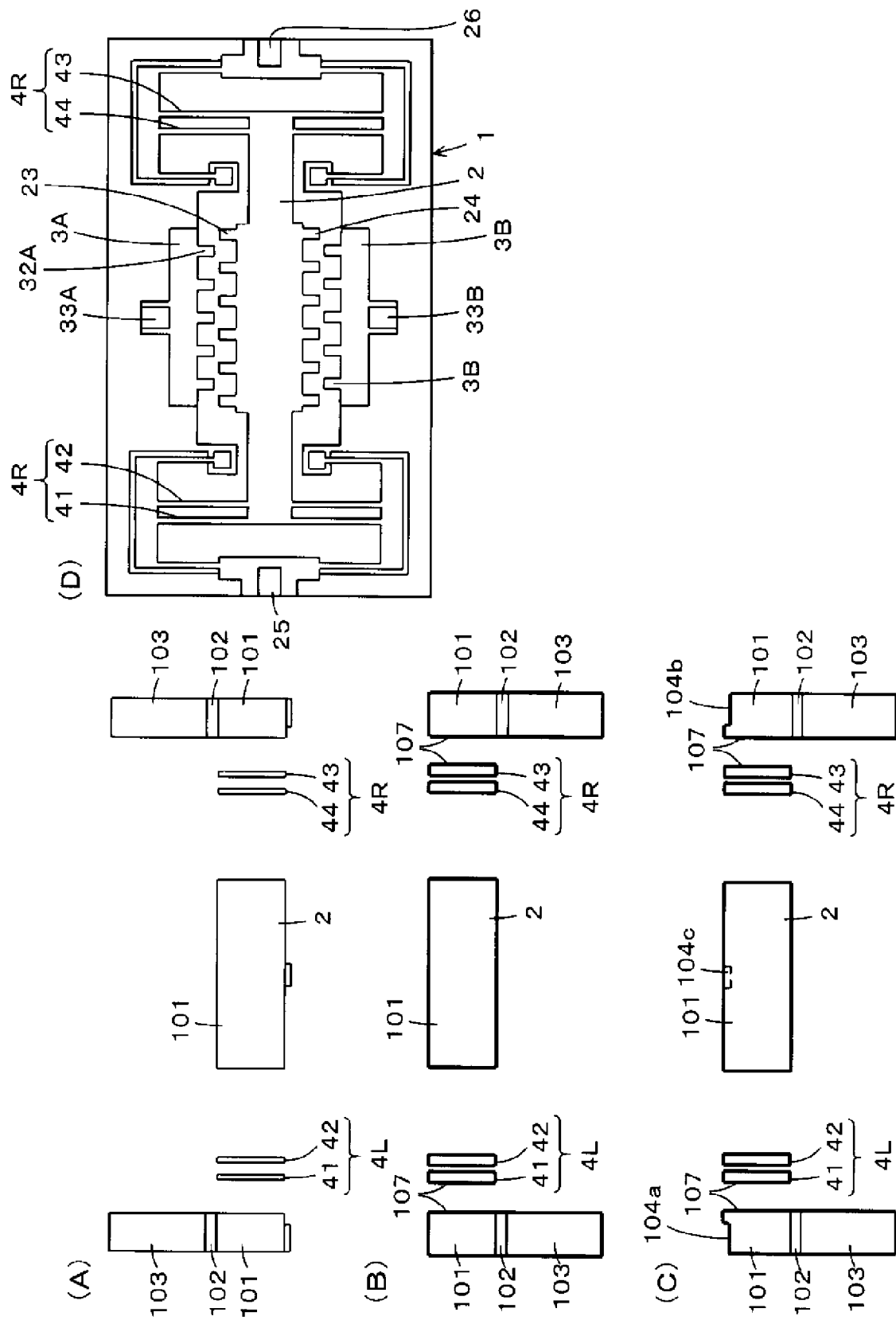
[図6]



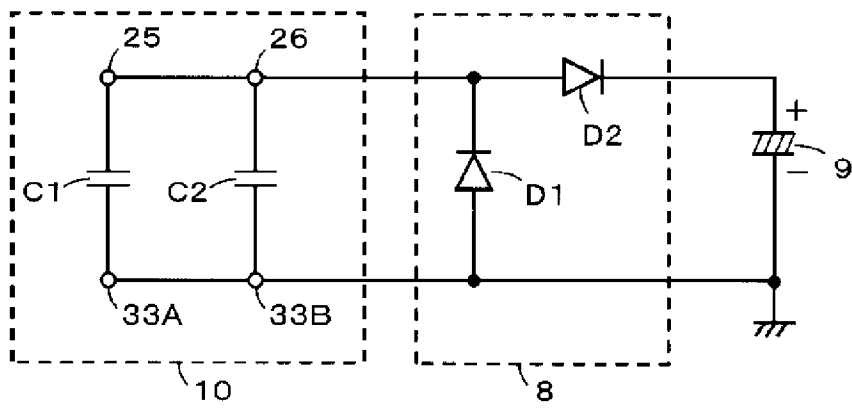
[図7]



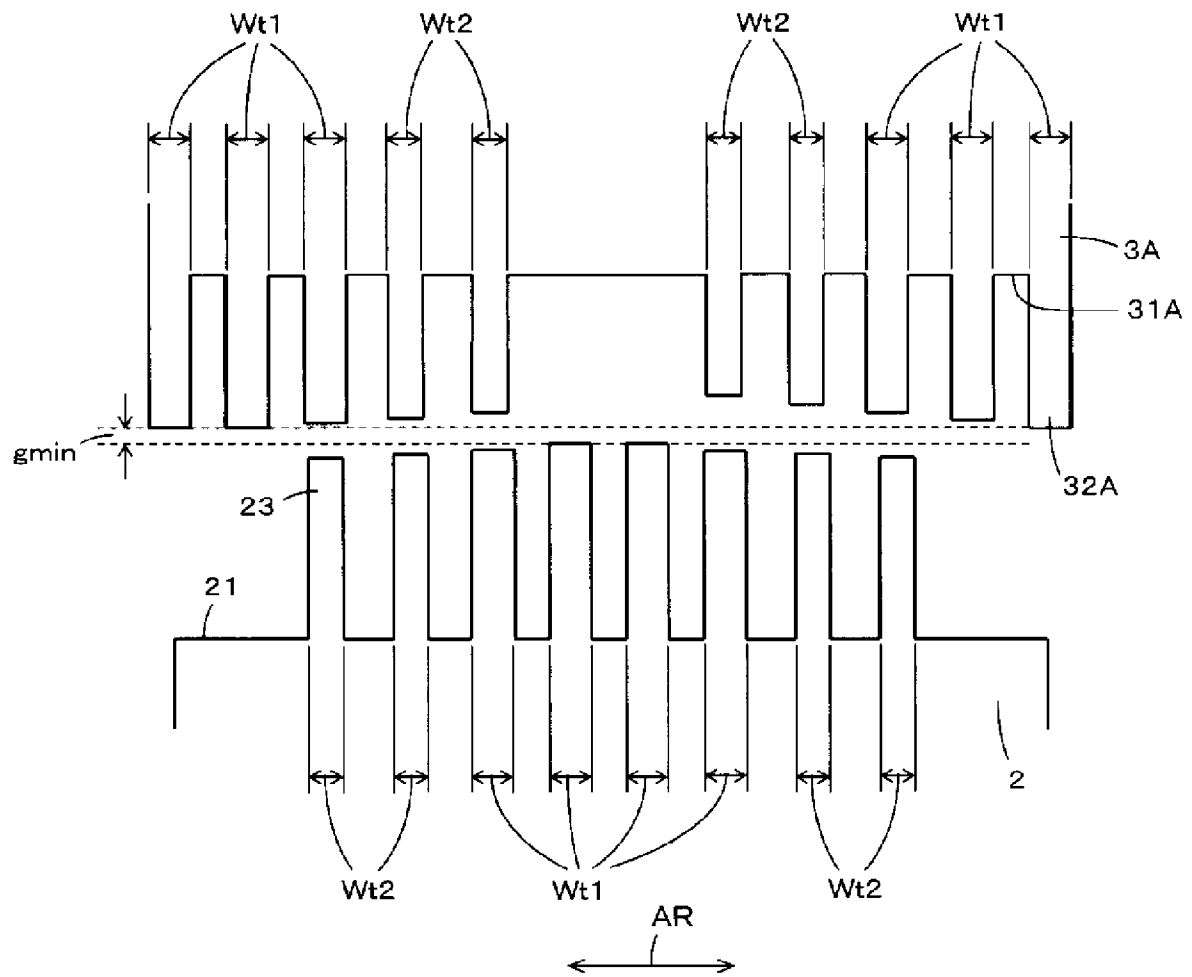
[図8]



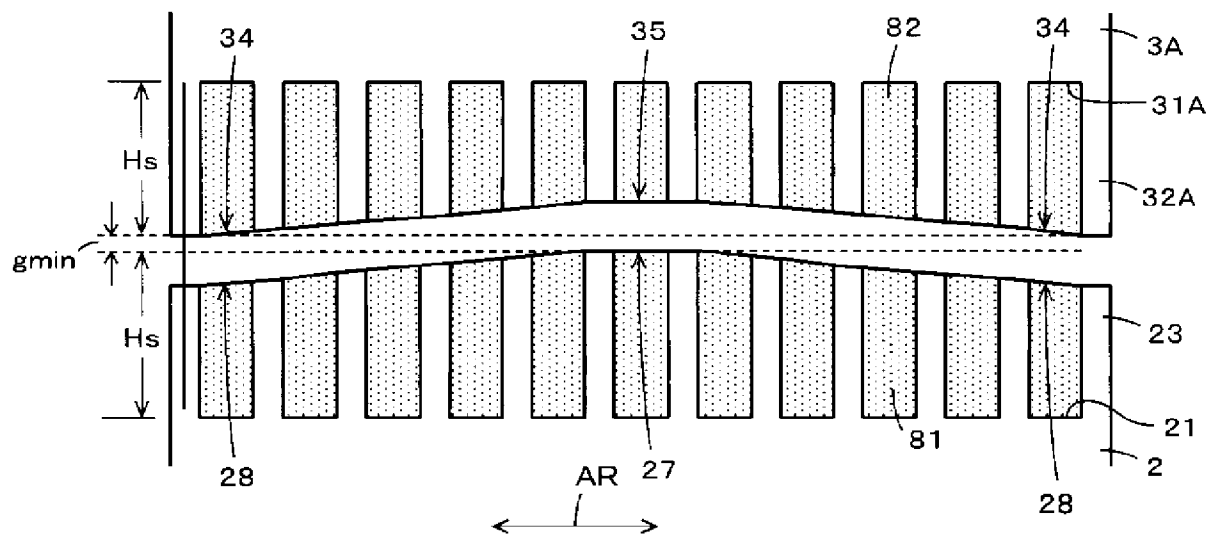
[図9]



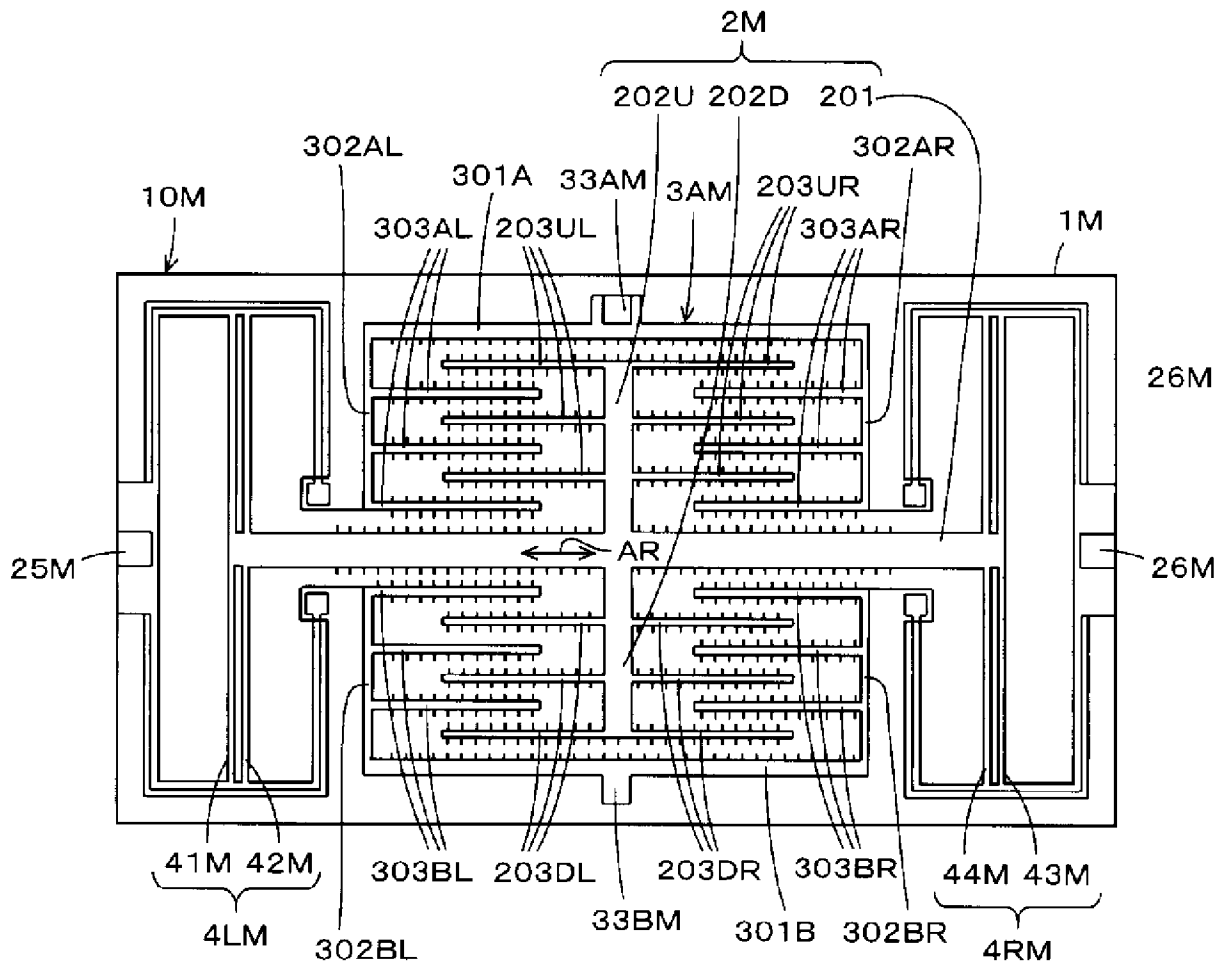
[図11]



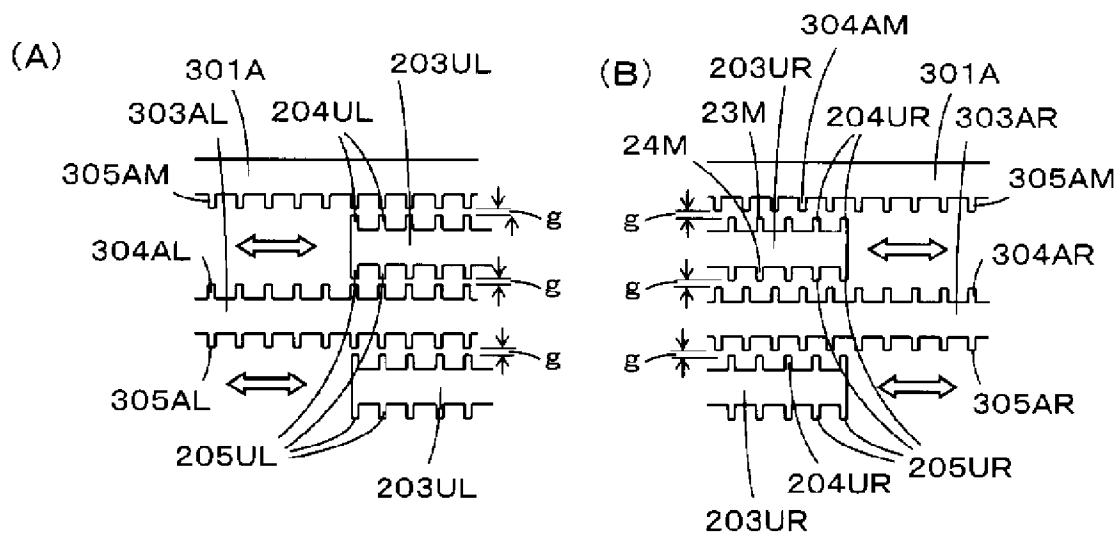
[図12]



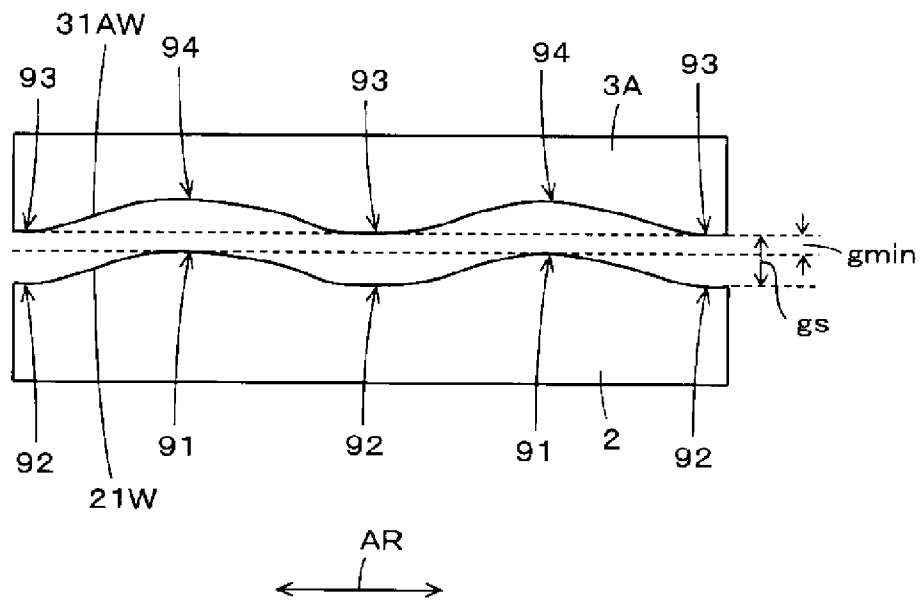
[図13]



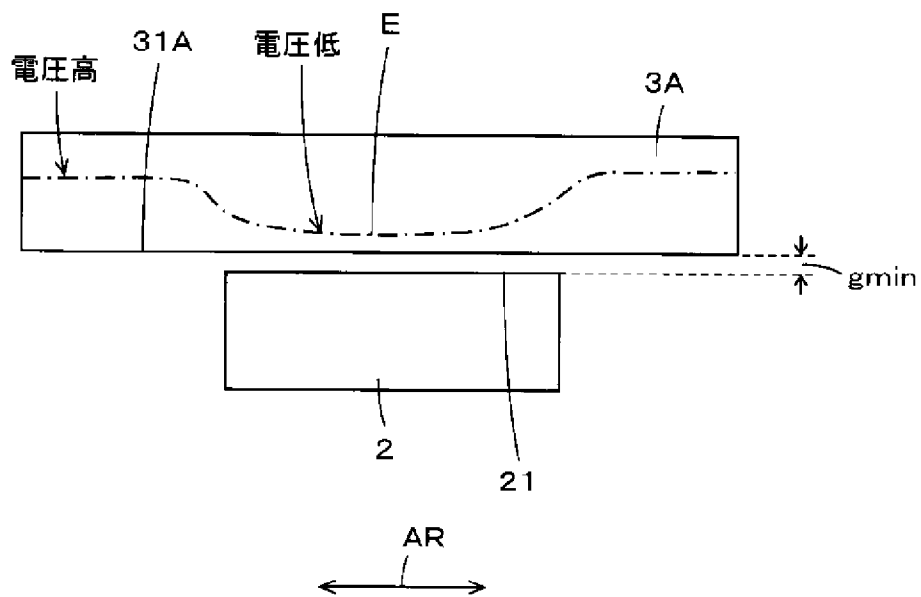
[図14]



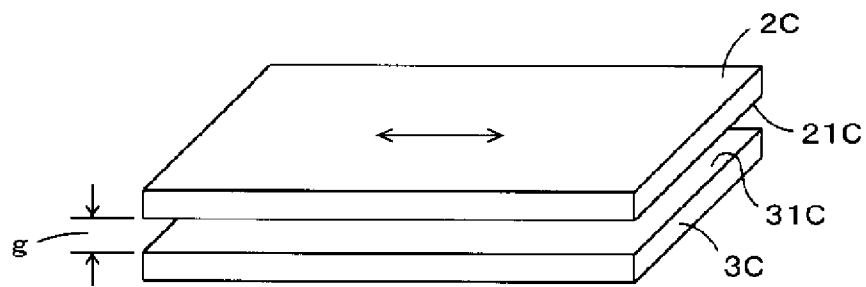
[図15]



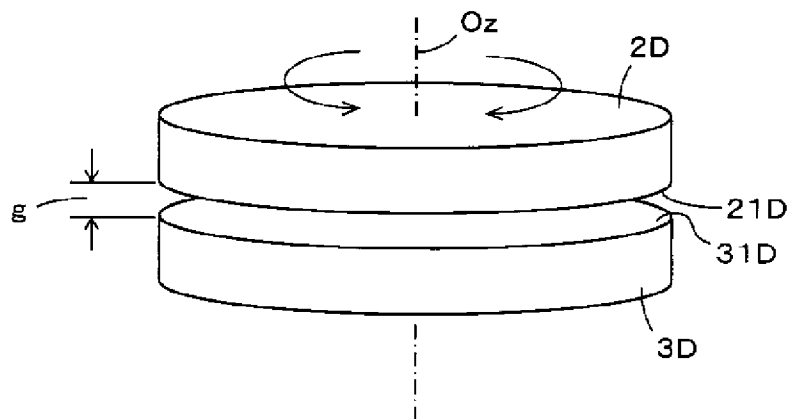
[図16]



[図17]



[図18]



[図19]

$$\begin{bmatrix} f \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_m & -A \\ A & J\omega(C_o + C_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ e \end{bmatrix} \quad \dots\dots (式1)$$

$$A = \frac{2n\epsilon_0 b E}{d_o} \quad \dots\dots (式2)$$

$$Z_m = \frac{r}{A^2} \quad \dots\dots (式3)$$

$$i = \frac{Af}{Z_m} \quad \dots\dots (式4)$$

$$e = \frac{f}{A} \quad \dots\dots (式5)$$

$$P = \frac{mx^2\omega^3 Q}{4} \quad \dots\dots (式6)$$

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/041175

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02N1/00 (2006.01) i, B81B3/00 (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)

Int.Cl. H02N1/00, B81B3/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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	WO 2012/169196 A1 (PANASONIC CORP.) 13 December 2012, paragraphs [0034]-[0060], [0082]-[0086], fig. 1-3,	1-2, 5-8, 10, 12, 16
Y	8-10 & US 8716916 B2, column 8, line 1 to column 13,	11, 13-15, 17,
A	line 37, column 17, line 30 to column 18, line 36, fig. 1-3, 8-10	3-4, 9
Y	WO 2016/129597 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 18 August 2016, paragraph [0031], fig. 8 & EP 3244527 A1, paragraph [0037], fig. 8 & CN 107251402 A & KR 10-2017-0094278 A	11, 15

☐ 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
11 January 2018 (11.01.2018)

Date of mailing of the international search report
23 January 2018 (23.01.2018)

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. H02N1/00(2006.01)i, B81B3/00(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. H02N1/00, B81B3/00

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 A	WO 2012/169196 A1 (パナソニック株式会社) 2012.12.13, 段落 [0034]-[0060], [0082]-[0086], 図 1-3, 8-10 & US 8716916 B2, 第 8 欄第 1 行-第 13 欄第 37 行, 第 17 欄第 30 行-第 18 欄第 36 行, 図 1-3, 8-10	1-2, 5-8, 10, 1 2, 16 11, 13-15, 17 3-4, 9
Y	WO 2016/129597 A1 (国立大学法人東京大学) 2016.08.18, 段落 [0031], 図 8 & EP 3244527 A1, 段落[0037], 図 8 & CN 107251402 A & KR 10-2017-0094278 A	11, 15

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

11.01.2018

国際調査報告の発送日

23.01.2018

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)

土田 嘉一

3 V

9825

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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
Y	WO 2012/073465 A1 (富士フイルム株式会社) 2012.06.07, 段落 [0021], 図1 (ファミリーなし)	13
Y	WO 2012/008113 A1 (パナソニック株式会社) 2012.01.19, 段落 [0030], 図1 & US 2013/0076202 A1, 段落[0062], 図1	14, 17