

(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
2015 年 9 月 3 日(03.09.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/129442 A1

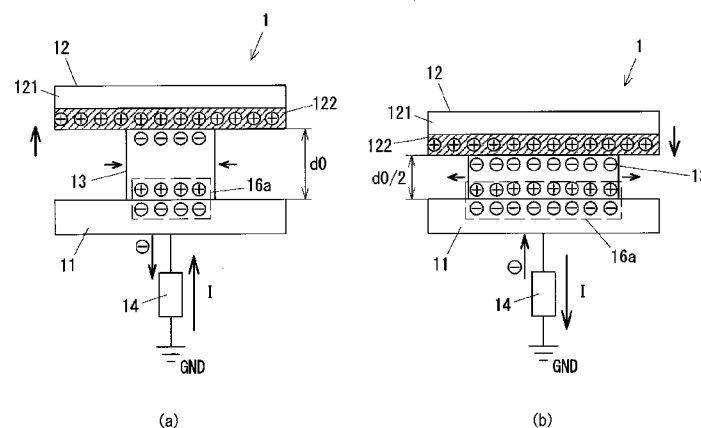
- (51) 国際特許分類:
H02N 1/08 (2006.01) *B81B 5/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/053523
- (22) 国際出願日: 2015 年 2 月 9 日(09.02.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-036507 2014 年 2 月 27 日(27.02.2014) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人 東京大学(THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1130033 東京都文京区本郷七丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP). 株式会社鷺宮製作所(KABUSHIKI KAISHA SAGINOMIYA SEISAKUSHO) [JP/JP]; 〒1658907 東京都中野区若宮 2 丁目 5 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 藤田 博之(FUJITA, Hiroyuki); 〒1130033 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). 三屋 裕幸(MITSUYA, Hiroyuki); 〒3501395 埼玉県狭山市笹井 5 3 5 株式会社鷺宮製作所 狭山事業所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 永井 冬紀(NAGAI, Fuyuki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 2 号 富国生命ビル 永井特許事務所 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, JP, 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: VIBRATION ELECTRICAL POWER GENERATION ELEMENT

(54) 発明の名称: 振動発電素子

【図 3】



(57) Abstract: A vibration electrical power generation element (1) is provided with a fixed electrode (11), a movable electrode (12) that is arranged opposite the fixed electrode (11) and is capable of moving relative to the fixed electrode (11), and an ionic liquid (13) provided so as to be interposed between the mutually opposed fixed electrode (11) and movable electrode (12). The motion of the movable electrode (12) due to an external vibration changes the area of an electric double layer (16a) and/or an electric double layer (16b), the electric double layer (16a) being formed so as to sandwich the interface of the fixed electrode (11) and the ionic liquid (13), and the electric double layer (16b) being formed so as to sandwich the interface of the movable electrode (12) and the ionic liquid (13).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/129442 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

振動発電素子 (1) は、固定電極 (11) と、固定電極 (11) に対して対向配置され、固定電極 (11) に対して移動可能な可動電極 (12) と、対向配置された固定電極 (11) と可動電極 (12) との間に介在するように設けられたイオン液体 (13) と、を備え、外部からの振動による可動電極 (12) の移動により、固定電極 (11) とイオン液体 (13) との界面を挟んで形成される電気二重層 (16a)、および可動電極 (12) とイオン液体 (13) との界面を挟んで形成される電気二重層 (16b) の、少なくとも一方の面積が変化することによって発電を行う。

明 細 書

発明の名称：振動発電素子

技術分野

[0001] 本発明は、イオン液体を用いた振動発電素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、環境中の振動により発電するデバイス（エネルギーハーベスター）として、エレクトレットを用いるのが有効であり、多くの研究、開発がされている。振動発電デバイスは、自立型の各種センサの電源として、また、その自立型センサ信号の無線通信用デバイスの電源として利用することが主な目的であるため、小型で、かつ大きな発電量（ μW ～ mW レンジ）が必要とされる。例えば、特許文献1に記載の振動発電素子では、エレクトレットが形成された電極に対して振動電極を振動させることにより、発電を行う構成としている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2011-36089号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上述した振動発電素子では電極間距離が μm オーダーであるため、エレクトレットを使用した場合であっても発電量が小さく、デバイスサイズの小型化、発電量の向上に対して課題となっていた。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第1の態様によると、振動発電素子は、固定電極と、固定電極に対して対向配置され、固定電極に対して移動可能な可動電極と、対向配置された固定電極と可動電極との間に介在するように設けられたイオン液体と、を備え、外部からの振動による可動電極の移動により、固定電極とイオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層、および可動電極とイオン液体と

の界面を挟んで形成される電気二重層の、少なくとも一方の面積が変化することによって発電を行う。

本発明の第2の態様によると、第1の態様の振動発電素子において、可動電極は、固定電極との間隔が変化する方向に移動可能であり、外部からの振動による可動電極の移動により、固定電極とイオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層、および可動電極とイオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面積がそれぞれ変化することが好ましい。

本発明の第3の態様によると、第2の態様の振動発電素子において、互いに対向する固定電極および可動電極の一方はエレクトレット電極であり、エレクトレット電極の表面電位はイオン液体の電位窓の範囲内に設定されていることが好ましい。

本発明の第4の態様によると、第2の態様の振動発電素子において、電気二重層は、固定電極および可動電極とイオン液体との接触領域に生じる界面動電現象により形成されたものであることが好ましい。

本発明の第5の態様によると、第2乃至4のいずれか一態様の振動発電素子において、可動電極は、該可動電極の表面側に設けられた表面側電極と、可動電極の裏面側に設けられた裏面側電極とを有し、固定電極は、表面側電極に対して対向配置された第1電極と裏面側電極に対して対向配置された第2電極とを有し、イオン液体は、第1電極と表面側電極との間、および、第2電極と裏面側電極との間にそれぞれ介在するように設けられていることが好ましい。

本発明の第6の態様によると、第1の態様の振動発電素子において、可動電極は、固定電極との間隔を一定に保持した状態でスライド移動可能であり、外部からの振動による可動電極のスライド移動により、可動電極とイオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面積が変化することが好ましい。

本発明の第7の態様によると、第6の態様の振動発電素子において、可動電極は、可動基板と、可動基板の固定電極と対向する面に設けられ、表面電

位がイオン液体の電位窓の範囲内に設定されているエレクトレット電極とを有し、可動電極のスライド移動により、エレクトレット電極とイオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面積が変化することが好ましい。

本発明の第 8 の態様によると、第 7 の態様の振動発電素子において、可動電極は、可動基板の表面に設けられた第 1 エレクトレット電極と、可動基板の裏面に設けられた第 2 エレクトレット電極とを有し、固定電極は、可動基板の表面に対して対向配置された第 1 電極と可動基板の裏面に対して対向配置された第 2 電極とを有し、イオン液体は、第 1 電極と可動基板の表面との間、および、第 2 電極と可動基板の裏面との間にそれぞれ介在するように設けられていることが好ましい。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、振動発電素子の小型化および発電量向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図 1 は、本発明に係る振動発電素子の第 1 の実施の形態を示す断面図である。

[図2]図 2 は、図 1 に示す振動発電素子の要部を示す模式図である。

[図3]図 3 は、第 1 の実施の形態における発電動作を説明する図である。

[図4]図 4 は、第 2 の実施の形態の振動発電素子の概略構成を示す図である。

[図5]図 5 は、図 4 に示す振動発電素子の要部を示す模式図である。

[図6]図 6 は、第 2 の実施の形態における発電動作を説明する図である。

[図7]図 7 は、第 3 の実施の形態を説明する図である。

[図8]図 8 は、第 4 の実施の形態の振動発電素子の概略構成を示す図である。

[図9]図 9 は、第 4 の実施形態における発電動作を説明する図である。

[図10]図 10 は、第 2 の実施の形態において、電極側が振動する場合の構成を示す図である。

[図11]図 11 は、第 4 の実施の形態の変形例を示す図である。

[図12]図 12 は、第 5 の実施の形態における振動発電素子 1 の断面図を示す

図である。

[図13]図13は、可動基板42の表裏面を示す図である。

[図14]図14は、第5の実施の形態における発電動作を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0008] ー第1の実施の形態ー

図1は、本発明による振動発電素子の第1の実施の形態を説明する図である。図1(a)は振動発電素子1の断面図であり、図1(b)は図1(a)のA-A断面図である。振動発電素子1は、固定電極11と可動基板12とイオン液体13(ionic liquid)とを備えている。イオン液体13は、固定電極11と可動基板12との間に介在するように設けられている。固定電極11は振動発電素子1に設けられた容器の底板を兼ねており、この固定電極11と絶縁材料で形成された円筒部2および天板3とで容器が構成されている。

[0009] 上述した可動基板12とイオン液体13は容器内に納められている。可動基板12は図1(a)において上下方向に移動可能に設けられており、リング状のストッパ4a、4bにより上下方向の可動範囲Lが規定されている。容器内の気体は可動基板12の移動に対して妨げとなるので、容器内は真空状態に保たれているのが好ましい。円板状の可動基板12は、支持基板121と、支持基板121の下面(固定電極11に対向する面)に設けられたエレクトレット122とを備えている。

[0010] エレクトレット122は、例えば、ポリプロピレン(PP)やポリテトラフルオロエチレン(PTFE)等の誘電体膜にコロナ放電等によりプラス電荷(またはマイナス電荷)を帯電させてエレクトレット化したものである。すなわち、エレクトレット122が形成された可動基板12は可動電極として機能する。

[0011] 一方、固定電極11のイオン液体13と接触する面は撥水性に優れているのが好ましく、例えば、電極材料として金(Au)を用いるのが好ましい。また、可動基板12が上下動した際の摺動面である円筒部内面と支持基板1

21の外周面には、摩擦係数の低い材料（例えば、P T F E等）を形成するのが好ましい。

[0012] 可動基板12と固定電極11との間に設けられたイオン液体13は、エレクトレット122と固定電極11とに接触している。本実施形態では、エレクトレット122はプラスに帯電しており、イオン液体13のマイナスイオンがエレクトレット方向に移動し、プラスイオンが固定電極11方向に移動する。その結果、エレクトレット122とイオン液体13との界面を挟んで電気二重層16bが形成され、固定電極11とイオン液体13との界面を挟んで電気二重層16aが形成される。イオン液体13には種々のものを使用することができるが、本実施の形態では、一例として1-エチル-3-メチルイミダゾリウムテトラフルオロ硼酸塩を使用している。

[0013] 図2は、振動発電素子1の要部を示す模式図である。負荷14は固定電極11に接続されている。可動基板12の電位は、固定電極11に対してエレクトレット電圧（エレクトレット122の表面電位）だけ高くなっている。イオン液体13はプラスイオンとマイナスイオンのみから成る有機液体の一種であり、常温では蒸気圧が非常に低くほとんど蒸発しない。また、粘性は、 $30 \sim 500$ [Pa · s] 程度である。イオン液体13はイオンのみから構成されるので良伝導性であるが、電位窓が広く電氣的安定性が高い。電位窓とは、電解液中で実質的に電流が流れない電位領域のことであり、上述したイオン液体13では $\pm 1 \sim 3$ [V] 程度の電位窓を有する。

[0014] 上述したエレクトレット122の電圧（表面電位）は、イオン液体13の電位窓の範囲内で設定される。なお、振動発電素子の発電能力の点から、エレクトレット122の電圧は、電位窓の範囲内において可能な限り大きな値に設定するのが好ましい。以下では、エレクトレット122によってイオン液体13に印加される電圧を、バイアス電圧と呼ぶことにする。

[0015] エレクトレット122と固定電極11との間に設けられたイオン液体13のマイナスイオンは、エレクトレット122によって形成される電場によってエレクトレット122の方向に引き寄せられる。その結果、上述したよう

にエレクトレット 122 とイオン液体 13 との界面を挟んで電気二重層 16b が形成される。一方、固定電極 11 とイオン液体 13 との接触領域においては、イオン液体 13 のプラスイオンが固定電極 11 側に移動し、そのプラスイオンと固定電極 11 側に静電誘導されたマイナス電荷とにより電気二重層 16a が形成される。イオン液体 13 の種類にも依存するが、電気二重層の厚さは 1 [nm] 程度である。また、電気二重層に交流電圧を印加した際の静電容量は、一般に、実験上 $0.1\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ の範囲において $10\text{ [}\mu\text{F/cm}^2\text{]} \sim 0.2\text{ [}\mu\text{F/cm}^2\text{]}$ 程度であることが知られている。

[0016] 図 1 に示すように、振動発電素子 1 の可動基板 12 は、固定電極 11 と可動基板 12 との間隔 d が変化する方向に移動可能に構成されている。外部からの振動（以下、外乱と呼ぶ）により振動発電素子 1 の容器が振動すると（特に、軸方向に振動すると）、固定電極 11 に対して可動基板 12 が図示上下方向に振動する。例えば、後述する図 3 のように、可動基板 12 は間隔 d が $d_0 \sim d_0/2$ の範囲で上下動することができる。この可動範囲は、図 1 に示したストッパ 4a, 4b の位置によって設定することができる。

[0017] 次に、振動発電素子 1 の動作について説明する。従来の振動発電素子は、電極間（例えば、金属電極とエレクトレット電極との間）の静電容量の変化を利用するものであるが、本実施の形態の振動発電素子 1 は、可動基板 12 の振動によるイオン液体 13 の接触面積変化（すなわち、電気二重層の面積変化）によって発電を行うところに特徴がある。

[0018] 電気二重層の単位面積当たりの静電容量は上述したようにバイアス電圧や振動周波数によって変化するが、イオン液体 13 に対する上記バイアス電圧が電位窓の範囲で、振動周波数が 0.1 Hz であるとする、 $1\text{ [cm}^2\text{]}$ 当たりの静電容量は $10\text{ [}\mu\text{F/cm}^2\text{]}$ 程度となる。すなわち、電気二重層 16a, 16b の面積が $1\text{ [cm}^2\text{]}$ である場合には、電気二重層 16a, 16b が介在している部分の静電容量は $10\text{ [}\mu\text{F]} = 1 \times 10^{-5}\text{ [F]}$ 程度となる。電気二重層 16a, 16b の電圧を 1 [V] とすると、電荷の量（帯電量）は $1 \times 10^{-5}\text{ [C]}$ となる。

[0019] 一方、エレクトレット電極を用いた従来の振動発電素子の場合、エレクトレット電極および金属電極の対向面積を $1 \text{ [cm}^2\text{]}$ 、電極間隔を $10 \sim 100 \text{ [}\mu\text{m]}$ 程度とすると、電極間の静電容量 C ($C = \epsilon_0 \times (\text{面積}) / (\text{間隔})$) は、 $8.85 \times 10^{-12} \text{ [F]} \sim 8.85 \times 10^{-11} \text{ [F]}$ となる。エレクトレット電極の電圧を 200 [V] とすれば、帯電量は $1.77 \times 10^{-9} \sim 1.77 \times 10^{-10} \text{ [C]}$ となる。ただし、真空の誘電率 ϵ_0 を、 $\epsilon_0 \div 8.85 \times 10^{-12} \text{ [F/m]}$ とした。

[0020] このように、本実施の形態の場合には電気二重層に与える電圧が 1 [V] 程度と低いにもかかわらず、電極における帯電量が従来のエレクトレットを用いた振動発電素子に比べて 1 万倍から 10 万倍と非常に大きい。これは、層厚さ（以下では、符号 d で表す）が nm オーダーの電気二重層を用いていることに起因する。本実施の形態では、このように大きな静電容量を有する電気二重層の面積変化によって発電を行う構成であるため、後述するように従来の振動発電素子に比べて桁違いに大きな発電量を得ることができる。

[0021] なお、図 2 に示すように、固定電極 11 と可動基板 12 との隙間は、イオン液体 13 が介在する領域と単なる空間（本実施の形態の場合は真空）の領域とがあり、イオン液体 13 が介在しない領域においても静電容量を有している。例えば、イオン液体 13 が介在せずに単に一对の電極（面積は $1 \text{ [cm}^2\text{]}$ とする）が $d = 1 \text{ [mm]}$ で対向している場合、静電容量 C は、 $C = \epsilon_0 \times 1 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} / 1 \times 10^{-3} \text{ [m]} \div 8.85 \times 10^{-13} \text{ [F]}$ となる。

[0022] 一方、上述したように、電気二重層 16a, 16b の面積が $1 \text{ [cm}^2\text{]}$ の場合には、電気二重層 16a, 16b が介在している部分の静電容量は $10 \text{ [}\mu\text{F]} = 1 \times 10^{-5} \text{ [F]}$ 程度となる。そのため、イオン液体 13 が介在していない領域の静電容量は、電気二重層 16a, 16b の静電容量の $1 / 10^7$ 程度と非常に小さなものとなる。

[0023] よって、以下の振動発電素子 1 の動作説明においては、イオン液体 13 が介在しない領域の静電容量をゼロとみなし、電気二重層キャパシタが直列接

続されているものとして考える。このように、振動発電素子 1 においては、実質的に、電気二重層 16 a, 16 b の面積変化による静電容量の変化によって発電が行われる。

[0024] 図 3 は、振動発電素子 1 の動作を説明する模式図である。図 3 (a) は間隔 d が最も大きくなった $d = d_0$ の場合 (図 2 と同様) を示し、図 3 (b) は間隔 d が最も小さくなった $d = d_0 / 2$ の場合を示す。図 3 (a) の場合と図 3 (b) の場合とではイオン液体 13 の体積は同じなので、図 3 (a) におけるエレクトレット 122 とイオン液体 13 との接触面積、および固定電極 11 とイオン液体 13 との接触面積を S_0 とすると、図 3 (b) における各接触面積は $2 S_0$ となる。すなわち、図 3 (b) における電気二重層 16 a の面積は 2 倍に増加し、静電容量が 2 倍になる。

[0025] その結果、図 3 (a) の状態から可動基板 12 が固定電極方向に移動すると、GND 側からマイナス電荷が固定電極 11 に移動し、負荷 14 には図 3 (b) の矢印方向に電流 I が流れる。逆に、図 3 (b) の状態から可動基板 12 が図示上方に移動すると、マイナス電荷が固定電極 11 から GND 側へと移動し、負荷 14 には図 3 (a) の矢印方向に電流 I が流れる。

[0026] 図 3 (a) における電気二重層 16 a の面積を $0.5 [cm^2]$ 、図 3 (b) における電気二重層 16 a の面積を $1 [cm^2]$ とすると、電気二重層 16 a の静電容量は $5 [\mu F]$ から $10 [\mu F]$ に増加する。例えば、電気二重層 16 a における電位差を $1 V$ と仮定した場合、 $5 [\mu C]$ の電荷が負荷 14 を通過することになる。図 3 (a) の状態から図 3 (b) の状態への変化に要した時間を $0.05 [sec]$ とすれば (これは、 $20 Hz$ の振動に対応する)、 $100 [\mu A]$ の電流が負荷 14 に流れることになる。上述したように、隙間寸法 d が $d_0 \rightarrow d_0 / 2$ のように減少すると固定電極 11 から GND へ電流が流れ、逆に $d_0 / 2 \rightarrow d_0$ のように増加すると GND から固定電極 11 へ電流が流れる。すなわち、外乱により可動基板 12 が上下に振動すると、交流電流が負荷 14 に流れる。

[0027] なお、図 2, 3 の説明では、振動発電素子 1 で発電された電力を電流とし

て取り出す場合について説明したが、電圧として取り出すような負荷接続構成としても良い。振動発電素子 1 が開回路の状態でも可動基板 1 2 が振動すると、支持基板 1 2 1 と固定電極 1 1 との間の電位差が変化するので、この電位差の変化を利用する。

[0028] 例えば、固定電極 1 1 とエレクトレット 1 2 2 との間隔（以下では、電極間隔と呼ぶ）が $d_0 \rightarrow d_1$ のように変化し、イオン液体 1 3 と固定電極 1 1 との接触面積、すなわち電気二重層 1 6 a, 1 6 b の面積が $S_0 \rightarrow S_1$ のように変化した場合を考える。各電気二重層 1 6 a, 1 6 b の静電容量を C 、電気二重層 1 6 a, 1 6 b における電位差、面積、厚さを V_e , S , d_e とし、固定電極 1 1 の帯電量を Q とすると、 $Q = C V_e$ 、 $C = \epsilon \cdot S / d_e$ が成り立つ。2つの式から $S \cdot V_e = Q \cdot d_e / \epsilon$ と表せるが、ここで Q および電気二重層の厚さ d_e は変化しないので、電極間隔 d_0 における電位差 V_{e0} と電極間隔 d_1 における電位差 V_{e1} との間には、 $S_0 \cdot V_{e0} = S_1 \cdot V_{e1}$ が成り立つ。すなわち、電極間隔 d_1 における電気二重層 1 6 a, 1 6 b の電位差 V_{e1} は、 $V_{e1} = (S_0 / S_1) \cdot V_{e0}$ のように変化する。

[0029] ところで、従来のように電極間の静電容量を利用する振動発電素子の場合、例えば、前述したように面積が $1 \text{ [cm}^2\text{]}$ で間隔が 1 [mm] のキャパシタを考えた場合、間隔が 1 [mm] から 0.5 [mm] に変化すると、静電容量は $8.85 \times 10^{-13} \text{ [F]}$ からその2倍に増えるので、静電容量の変化 ΔC は $\Delta C = 8.85 \times 10^{-13} \text{ [F]}$ となる。例えば、電圧 200 V のエレクトレットを用いた場合、電極の電荷量の変化は $1.77 \times 10^{-10} \text{ [C]} = 1.77 \times 10^{-4} \text{ [\mu C]}$ となる。これは、本実施の形態の場合の $5 \text{ [\mu C]}$ （ただし、電気二重層 1 6 a における電位差を 1 V と仮定する）の約 $1 / 10000$ である。

[0030] このように、本実施の形態の振動発電素子では、イオン液体による電気二重層の静電容量を利用することによって桁違いに大きな発電量を得ることができる。電気二重層の静電容量は、一般的なキャパシタの静電容量に比べて非常に大きい。そのため、小さな変位でより大きな電力を得ることができる

と共に、振動発電素子の小型化を図ることができる。また、外乱による可動基板 12 と固定電極 11 との間隔の変化により電気二重層の面積を変化させているので、少ない変位によって大きな面積変化を得ることができ、振動発電素子 1 のさらなる小型化を図ることができる。

[0031] 従来の振動発電素子の場合、特許文献 1 に記載の振動発電素子のように、質量が比較的に大きな可動部を、ばね定数の非常に小さな弾性支持部で可動可能に支持する構成が一般的である。それは、振動発電素子に対する外部からの振動として歩行時の振動や橋の振動等が用いられるため、振動の周波数が数 Hz ～数十 Hz 程度であることに起因している。このような低周波数において共振可能なように、可動部を非常に弱い弾性支持部で支持する構造が採用されている。そのため、従来の振動発電素子は、弾性支持部が壊れやすいという欠点があった。また、共振を利用しているので利用可能な帯域が狭いという欠点もあった。

[0032] このような理由から、本実施の形態では図 1 に示すような摺動構造を採用することで、可動基板 12 が自由に振動できる構成としている。その結果、外部振動の周波数によらず、発電を効率良く行うことができる。もちろん、本実施の形態の振動発電素子の場合も、可動基板 12 を弾性支持部により支持する構造を採用することは可能である。

[0033] なお、本実施の形態では、イオン液体 13 との接触面積を変化させて発電を行うので、接触面積変化を効果的に行わせるためには、イオン液体 13 との接触面、特に固定電極 11 の接触面における撥水性が重要である。電極材料として金を用いた場合には撥水性に優れているので撥水处理（例えば、撥水性膜の形成）は必要とされないが、電極材料の種類によっては撥水处理が必要となる。ただし、撥水性膜を形成した場合、電気二重層の層厚さ（上述した $C = \epsilon \cdot S / d_e$ における d_e ）が大きくなり静電容量の低下を招くので、膜厚は可能な限り薄い方が好ましい。例えば、撥水性の単分子膜を用いるのが好ましい。

[0034] なお、上述した実施の形態では容器の形状を円筒とし、固定電極 11 や可

動基板 1 2 を円板状としているが、これらの形状に限定されるものではない。例えば、固定電極 1 1 や可動基板 1 2 を矩形状としても良い。また、可動基板 1 2 は摺動構造により上下に移動する構成としたが、電極側が振動する構成でも良い。

[0035] 動作原理を説明する図 2 では、固定電極 1 1 に負荷 1 4 を直接接続する構成としたが、振動発電素子 1 の出力側に整流回路や蓄電部等を設けて発電装置を構成するようにしても良い。

[0036] ー第 2 の実施の形態ー

図 4 ～ 6 は、本発明の第 2 の実施の形態を説明する図である。図 4 は振動発電素子 1 の概略構成を示す図であり、図 1 (a) の場合と同様の断面形状を示したものである。なお、以下では図 1 に示す構成と異なる部分を中心に説明する。

[0037] 本実施形態における可動基板 2 2 は、支持基板 2 2 1 の表裏面にエレクトレット 2 2 2 a, 2 2 2 b が形成されている。エレクトレット 2 2 2 a に対向するように第 1 の固定電極 1 1 a が配置され、エレクトレット 2 2 2 b に対向するように第 2 の固定電極 1 1 b が配置されている。エレクトレット 2 2 2 a と固定電極 1 1 a との隙間にはイオン液体 1 3 a が介在しており、エレクトレット 2 2 2 b と固定電極 1 1 b との隙間にはイオン液体 1 3 b が介在している。

[0038] 可動基板 2 2 は固定電極 1 1 a, 1 1 b の間を図示上下方向に移動可能に構成されており、可動範囲 2 L はストッパ 4 a, 4 b によって設定される。図 4 に示す例では、可動基板 2 2 が可動範囲の中央位置にある場合を示している。円筒部 2 と、円筒部 2 の下部開口に取り付けられた固定電極 1 1 a と、円筒部 2 の上部開口に取り付けられた固定電極 1 1 b とにより、容器が構成されている。第 1 の実施の形態の場合と同様、容器内は真空状態とされる。

[0039] 図 5 は、振動発電素子 1 の要部を示す模式図である。図 5 は電流を取り出す場合の負荷接続構成を示したものであり、負荷 1 4 は固定電極 1 1 a と固

定電極 11b との間に接続され、固定電極 11a は GND 電位とされている。各エレクトレット 222a, 222b はプラスに帯電している。そのため、第 1 の実施の形態の場合と同様に、イオン液体 13a と固定電極 11a およびエレクトレット 222a との界面、および、イオン液体 13b と固定電極 11b およびエレクトレット 222b との界面には、それぞれ電気二重層が形成される。ここでは、イオン液体 13a と固定電極 11a との間の電気二重層を符号 16a で表し、イオン液体 13b と固定電極 11b との間の電気二重層を符号 16b で表すことにする。また、イオン液体 13a, 13b とエレクトレット 222a, 222b との界面に形成される電気二重層を符号 16c, 16d で表す。

[0040] 図 6 は、可動基板 22 が振動した場合に負荷 14 に流れる電流を説明する図である。図 6 (a) は可動基板 22 が可動範囲の下端に移動した場合を示す。このとき、エレクトレット 222a と固定電極 11a との間隔が $d_0/2$ となり、可動電極 11b とエレクトレット 222b との間隔が d_0 となるように設定されている。一方、図 6 (b) は可動基板 22 が可動範囲の上端に移動した場合を示す。エレクトレット 222a と固定電極 11a との間隔は d_0 となり、可動電極 11b とエレクトレット 222b との間隔は $d_0/2$ となる。

[0041] イオン液体 13a, 13b の体積は同一 ($= d_0 \times S_0$) であり、図 6 (a) の場合には、イオン液体 13b と固定電極 11b およびエレクトレット 222b との接触面積はそれぞれ S_0 、イオン液体 13a と固定電極 11a およびエレクトレット 222a との接触面積はそれぞれ $2S_0$ になっている。そのため、電気二重層 16b の静電容量を C_0 とすると、電気二重層 16a の静電容量は $2C_0$ となる。一方、図 6 (b) に示す状態では、イオン液体 13b と固定電極 11b およびエレクトレット 222b との接触面積はそれぞれ $2S_0$ となり、イオン液体 13a と固定電極 11a およびエレクトレット 222a との接触面積はそれぞれ S_0 となる。

[0042] この場合、電気二重層の静電容量は接触面積に比例するので、図 6 (a)

の状態から可動基板 2 2 が固定電極 1 1 b 側に移動して図 6 (b) に示す状態になると、電気二重層 1 6 a の静電容量は $2C_0 \rightarrow C_0$ のように変化し、電気二重層 1 6 b の静電容量は $C_0 \rightarrow 2C_0$ のように変化する。その結果、固定電極 1 1 a から固定電極 1 1 b にマイナス電荷が移動し、負荷 1 4 には図 6 (b) の矢印方向に電流 I が流れる。

[0043] 逆に、図 6 (b) の状態から可動基板 2 2 が固定電極 1 1 a 側に移動して図 6 (a) に示す状態になると、電気二重層 1 6 a の静電容量は $C_0 \rightarrow 2C_0$ のように変化し、電気二重層 1 6 b の静電容量は $2C_0 \rightarrow C_0$ のように変化する。その結果、固定電極 1 1 b から固定電極 1 1 a にマイナス電荷が移動し、負荷 1 4 には図 6 (a) の矢印方向に電流 I が流れる。

[0044] ここで、開回路状態を考えると、可動基板 2 2 と固定電極 1 1 a との間の電位差、および、可動基板 2 2 と固定電極 1 1 b との間の電位差は、図 2 に示した可動基板 1 2 と固定電極 1 1 との関係と同様となっている。ただし、それぞれの電位は互いの位相が 180 度ずれているので、固定電極 1 1 a と固定電極 1 1 b との間の電位差は図 3 に示す構成の 2 倍となる。

[0045] このように、本実施の形態の場合に得られる発電のパワー（電力）は、図 1 に示す第 1 の実施の形態の場合に比べて 2 倍になることが分かる。

[0046] なお、本実施の形態の場合も発電された電力を電流として出力しているが、電圧を取り出すような構成としても良い。その場合、第 1 の実施の形態で説明した場合と同様の動作となり、ここでは説明を省略する。また、上述した実施の形態では容器の形状を円筒とし、固定電極 1 1 a, 1 1 b や可動基板 2 2 を円板状としているが、これらの形状に限定されるものではない。さらにまた、可動基板 2 2 は摺動構造により上下に移動する構成としたが、例えば、可動基板 2 2 を弾性体で支持する構成としても構わない。

[0047] また、図 10 のようにエレクトレット側でなく電極側が振動する構成としても良い。図 10 に示す例では、固定電極として機能する一対のエレクトレット 2 2 2 a, 2 2 2 b の間に、可動電極 1 0 を上下方向に移動可能に配置する構成としている。エレクトレット 2 2 2 a, 2 2 2 b は、可動電極 1 0

と対向する面が帯電するようにエレクトレット化されている。可動電極 10 は、金等で構成される電極 101 a, 101 b の間に絶縁基板 102 を挟持した構造を有している。電極 101 a はエレクトレット 222 a と対向し、電極 101 b はエレクトレット 222 b と対向している。

[0048] 負荷 14 は、電極 101 a と電極 101 b との間に接続される。例えば、可動電極 10 がエレクトレット 222 a 方向に移動すると、電極 101 a とイオン液体 13 a との接触面積が増加して、電極 101 b とイオン液体 13 b との接触面積が減少する。その結果、マイナス電荷が負荷 14 を介して電極 101 b から電極 101 a へ移動し、負荷 14 には図示上方向に電流 I が流れることになる。逆に、可動電極 10 がエレクトレット 222 b 方向に移動すると、マイナス電荷が電極 101 a から電極 101 b へ移動し、負荷 14 には図示下方向に電流が流れる。

[0049] ー第 3 の実施の形態ー

図 7 は本発明の第 3 の実施の形態を説明する図であり、振動発電素子 1 の要部を示す模式図である。上述した第 1 の実施の形態では、図 2 に示したようにイオン液体 13 と固定電極 11 との接触領域に電気二重層 16 a を形成するために、エレクトレット 122 を用いた。本実施の形態では、エレクトレット 122 が形成された可動基板 12 に代えて、外部電源によりバイアス電圧 V_{dd} が印加された可動電極 32 を用いる構成とした。

[0050] 可動電極 32 にバイアス電圧 V_{dd} を印加すると、図 7 (a) に示すように、イオン液体 13 のマイナスイオンが可動電極側に引き寄せられ、プラスイオンが固定電極側に引き寄せられる。その結果、固定電極 11 および可動電極 32 とイオン液体 13 との界面に電気二重層 16 a, 16 b が形成される。バイアス電圧 V_{dd} を第 1 の実施の形態におけるエレクトレット 122 の電圧（表面電位）と同一とすれば、図 2 に示す場合と同様の電気二重層 16 a, 16 b が形成されることになる。図 7 (b) に示すように固定電極 11 と可動電極 32 との間隔を $d_0/2$ に減少させると、電気二重層 16 a, 16 b の面積は 2 倍になり、それらの静電容量も 2 倍になることは、第 1 の実施

の形態と同様である。

[0051] また、電源が接続された電極を上下に移動させる代わりに、負荷が接続された電極を上下に移動させる構成としても良い。ところで、金属電極とイオン液体との界面には界面動電現象により電気二重層が形成されることが知られている。例えば、金属電極に金を用いた場合には、数十[mV]程度の界面動電位が発生する。そのため、上述したエレクトレットや外部電源を用いる場合に比べて電圧は小さくなるが、それに応じた電気二重層が金属電極とイオン液体との界面に発生する。そのため、界面動電位を利用して上述した実施の形態と同様の振動発電素子を構成することができる。

[0052] ー第4の実施の形態ー

図8、9は、本発明の第4の実施形態を示す図である。上述した第1～第3の実施の形態では、隙間にイオン液体13を保持した一对の基板の間隔を変化させることによって、イオン液体と基板との接触面積（すなわち、電気二重層の面積）を変化させ、発電を行うようにした。本実施の形態では、エレクトレットが形成された可動基板を、イオン液体との接触面に対して平行にスライド移動させることにより、電気二重層の面積を変化させるようにした。

[0053] 図8は、振動発電素子1の概略構成を示す図である。図8(a)は振動発電素子1の断面図であり、図8(b)はB-B断面図である。振動発電素子1は、一对の固定電極11a、11bと、それらの間に配置された可動基板42とを備えている。固定電極11aは、枠部材43aの孔430に嵌め込まれるように枠部材43aに固定されている。固定電極11bは、枠部材43bの孔431に嵌め込まれるように枠部材43bに固定されている。孔430と孔431とは対向している。

[0054] 枠部材43a、43bの可動基板42に対向する面には、ボール432がそれぞれ設けられている。図8(b)に示すように、ボール432は孔430、431の中心軸を中心とする円周上に複数配置されている。可動基板42は、枠部材43aに設けられたボール432と枠部材43bに設けられた

ボール４３２との間に挟持されるように配置されている。枠部材４３ａ，４３ｂは絶縁材料で形成される。また、ボール４３２についても絶縁材料（例えば、セラミックボール等）で形成するのが好ましい。

[0055] 固定電極１１ａが嵌め込まれた孔４３０にはイオン液体１３ａが充填されており、イオン液体１３ａは固定電極１１ａと可動基板４２との間に介在する。同様に、固定電極１１ｂが嵌め込まれた孔４３１にはイオン液体１３ｂが充填されており、イオン液体１３ｂは固定電極１１ｂと可動基板４２との間に介在する。

[0056] 円板状の可動基板４２は、支持基板４２１の表裏面に誘電体部材４２２ａ，４２２ｂを設けたものである。誘電体部材４２２ａ，４２２ｂは、それらの中央の円形領域Ｒのみが帯電処理によりエレクトレット化されている。すなわち、円形領域Ｒの誘電体部材４２２ａ，４２２ｂはエレクトレットとして機能する。以下では、円形領域ＲをエレクトレットＲと呼ぶことにする。本実施形態では、エレクトレット（円形領域）Ｒは孔４３０，４３１の断面形状とほぼ同一に設定されている。

[0057] 可動基板４２、固定電極１１ａが設けられた枠部材４３ａ、および固定電極１１ｂが設けられた枠部材４３ｂは、円筒部４４０、円筒部４４０の上開口に設けられた天板４４１、および円筒部４４０の下開口に設けられた底板４４２から構成される容器内に収納されている。固定電極１１ａの下端面は、底板４４２の中央部に形成された孔から外部に露出している。固定電極１１ｂの上端面は、天板４４１の中央に形成された孔から外部に露出している。枠部材４３ａは、円筒部４４０または底板４４２に固定されている。枠部材４３ｂは、円筒部４４０または天板４４１に固定されている。そのため、容器に外部振動が加わると、可動基板４２は枠部材４３ａ，４３ｂに対して左右方向にスライド移動する。なお、可動基板４２の振動を妨げないように、容器内は真空とされるのが好ましい。

[0058] 図９は、第４の実施形態における発電動作を説明する図である。上述したように、可動基板４２は、支持基板４２１の表裏面に誘電体部材４２２ａ，

4 2 2 b が形成されたものである。誘電体部材 4 2 2 a, 4 2 2 b の中央領域がプラスに帯電されたエレクトレット R となっている。

[0059] 図 9 (a) に示すように可動基板 4 2 が中央に位置しているときには、エレクトレット R がイオン液体 1 3 a, 1 3 b の部分に対向する。この場合には、エレクトレット R とイオン液体 1 3 a, 1 3 b との界面を挟んで電気二重層 1 6 a, 1 6 b が形成される。また、固定電極 1 1 a とイオン液体 1 3 a との界面を挟んで電気二重層 1 6 c が形成され、固定電極 1 1 b とイオン液体 1 3 b との界面を挟んで電気二重層 1 6 d が形成される。この状態から図 9 (b) に示すように可動基板 4 2 が左方向にスライド移動するとエレクトレット R も左側に移動し、イオン液体 1 3 a, 1 3 b に接触するエレクトレット R の面積が減少する。そのため、電気二重層 1 6 a ~ 1 6 d の面積が減少し、電気二重層 1 6 a ~ 1 6 d の静電容量が減少する。その結果、固定電極 1 1 a, 1 1 b のマイナス電荷が GND 側に移動して、負荷 1 4 に矢印で示すような電流 I が流れる。逆に、図 9 (b) の状態から図 9 (a) に示す状態となるように可動基板 4 2 がスライド移動すると、負荷 1 4 には図 9 (b) の矢印方向とは逆方向の電流が流れることになる。

[0060] 上述した第 4 の実施形態では、スライド移動する可動基板 4 2 の上下両方に固定電極 1 1 a, 1 1 b を配置したが、可動基板 4 2 の一方の側にのみ固定電極を設ける構成としても良い。ただし、可動基板 4 2 の上下両方に固定電極 1 1 a, 1 1 b を配置する構成の場合には、片側のみに固定電極を配置する構成に比べて 2 倍の電流を得ることができる。

[0061] また、図 1 1 に示すように、固定電極 1 1 a, 1 1 b の位置にエレクトレット 5 2 2 a, 5 2 2 b をそれぞれ配置し、可動基板 5 2 の円形領域 R (凹部になっている) に電極 1 1 a, 1 1 b を配置するようにしても良いし、エレクトレット 5 2 2 a, 5 2 2 b の代わりにバイアス電圧が印加された電極を配置するようにしても良い。図 1 1 において、電極 1 1 a, 1 1 b は絶縁性の支持基板 5 2 0 の表裏面に設けられている。

[0062] また、固定電極 1 1 a, 1 1 b およびエレクトレット R は円形でなくても

良く、例えば、矩形状のエレクトレットが矩形状の固定電極に対して、矩形の辺に対して垂直方向にスライド移動する構成であっても良い。

[0063] ー第5の実施の形態ー

図12～14は、本発明の第5の実施の形態を示す図である。図12は振動発電素子1の断面図であり、図13は、可動基板42の表裏面を示す図である。第5の実施の形態は、可動基板42の表裏面に設けられた誘電体部材422a、422bのエレクトレット化領域の形態が第4の実施の形態と異なる。その他の構成については第4の実施の形態と同様であり、説明を省略する。

[0064] 上述した第4の実施の形態では、図8に示すように誘電体部材422a、422bのいずれも中央領域Rをエレクトレット化した。しかし、第5の実施の形態では、図12、13に示すように、誘電体部材422aについては中央領域R（半径rの領域）をエレクトレット化しているが、誘電体部材422bについては、中央領域Rの外側の領域R1（半径r～2rの領域）をエレクトレット化している。

[0065] 図14は、発電動作を説明する図である。図14（a）に示すように可動基板42が中央位置にある場合には、可動基板42の中央領域Rが固定電極11a、11b（すなわち、イオン液体13a、13b）と対向している。この場合、誘電体部材422aのエレクトレット化された領域とイオン液体13aとの接触領域には電気二重層16aが形成され、固定電極11aとイオン液体13aとの接触領域には電気二重層16cが形成される。この場合の電気二重層16a、16cの面積は領域Rの面積と同一となる。

[0066] 次いで、図14（b）に示すように可動基板42が図示左方向に移動すると、誘電体部材422aのエレクトレット化された領域Rの、固定電極11aと対向する部分の面積が減少する。その結果、電気二重層16a、16cの面積も減少する。一方、誘電体部材422aに関しては、エレクトレット化された領域R1の一部が固定電極11bと対向するようになる。その結果、誘電体部材422bのエレクトレット化された領域R1とイオン液体13

bとの接触領域には電気二重層16bが形成され、それに対応するように、固定電極11bとイオン液体13bとの接触領域には電気二重層16dが形成される。すなわち、イオン液体13b側においては電気二重層の面積が増加する。その結果、負荷14には矢印方向に電流が流れることになる。

[0067] 図14(b)に示す状態から可動基板42が図示右方向に移動すると、電気二重層16a, 16cの面積が増加し、電気二重層16b, 16dの面積が減少する。そのため、負荷14に流れる電流の向きは、図14(b)の場合とは逆向きになる。その後、可動基板42が図14(a)に示す状態まで移動し、さらに右側に移動すると図14(b)を左右反転したような状態となり、負荷14に流れる電流の向きは図14(b)の場合と同じとなる。このように、可動基板42が図14(a)の状態から左右に振動すると、負荷14には交流電流が流れる。

[0068] 以上説明したように、本発明による振動発電素子においては、図1, 2に示すように、固定電極11と、固定電極11に対して対向配置され、固定電極11との間隔が変化する方向(図示上下方向)に移動可能な可動基板12と、対向配置された固定電極11と可動基板12との間に介在するように設けられたイオン液体13と、を備える。

[0069] 図3に示すように外乱により可動基板12が移動すると、固定電極11とイオン液体13との界面を挟んで形成される電気二重層16a、および可動基板12のエレクトレット122とイオン液体13との界面を挟んで形成される電気二重層16bの面積がそれぞれ変化する。その結果、電気二重層16aの静電容量が変化し、固定電極11に接続された負荷14に電流が流れる。

[0070] 電気二重層の厚さはnmオーダーと、従来の振動発電素子の電極間距離に比べ桁違いに小さいため、可動基板12の振動に伴う静電容量変化も桁違いに大きくなる。その結果、従来の振動発電素子に比べて非常に大きな発電量を得ることができ、振動発電素子の小型化を図ることができる。また、固定電極11とエレクトレット122との間隔の変化で電気二重層の面積変化を

生じさせるようにしているので、可動基板 1 2 の僅かな変化により大きな面積変化を生じさせることが可能となる。

[0071] なお、エレクトレット 1 2 2 の表面電位はイオン液体 1 3 の電位窓の範囲内に設定されるので、イオン液体 1 3 に電流が流れることなく電気二重層 1 6 a, 1 6 b を安定的に形成することができる。

[0072] なお、電気二重層 1 6 a, 1 6 b の形成方法としては、上述したようにエレクトレット 1 2 2 を用いても良いし、界面動電現象により生じる電気二重層を利用しても良いし、図 7 に示したように電圧源を設けて可動電極にバイアス電圧を印加して電気二重層を形成するようにしても良い。バイアス電圧は、上述した電位窓の範囲内に設定される。

[0073] さらに、図 4 に示すように、可動基板 2 2 は、その表裏面に表面側電極としてのエレクトレット 2 2 2 b と裏面側電極としてのエレクトレット 2 2 2 a とを有し、エレクトレット 2 2 2 b に対して対向配置された固定電極 1 1 b とエレクトレット 2 2 2 a に対して対向配置された固定電極 1 1 a とを有するような構成としても良い。その場合、固定電極 1 1 b とエレクトレット 2 2 2 b との間にイオン液体 1 3 b を介在させると共に、固定電極 1 1 a とエレクトレット 2 2 2 a との間にイオン液体 1 3 a を介在させるようにする。その結果、固定電極 1 1 a と固定電極 1 1 b との間の電圧変化は、図 2 に示すように固定電極 1 1 が一つの場合に比べて 2 倍となる。

[0074] また、図 8, 9 に示すように、固定電極 1 1 a, 1 1 b と可動基板 4 2 との間にイオン液体 1 3 a, 1 3 b を介在させ、固定電極 1 1 a, 1 1 b に対して可動基板 4 2 をスライド移動させるようにしても良い。可動基板 4 2 がスライド移動すると、可動基板 4 2 の表裏面に設けられた誘電体部材 4 2 2 a, 4 2 2 b のエレクトレット化された領域 R とイオン液体 1 3 a, 1 3 b との接触面積が変化し、固定電極 1 1 a, 1 1 b とイオン液体 1 3 a, 1 3 b との界面を挟んで形成される電気二重層 1 6 b の面積が変化する。

[0075] 上述した各実施形態は、それぞれ組み合わせて用いても良い。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるもの

ではない。なお、上述した各実施形態は振動発電素子の形態で説明してきたが、ここで示されたイオン液体を用いた電気二重層による大きな容量のキャパシタは、容量の大きな蓄電素子として利用することができる。例えば、電力の使用が必要なときまで、外部からの振動で発生した電荷を蓄積しておく目的で、この蓄電素子を利用することが可能である。蓄電素子も発電素子と類似の材料と構造で構成できるため、発電と蓄電の両機能を兼ねたデバイスを容易に作ることが可能である。

[0076] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願 2014 年第 36507 号（2014 年 2 月 27 日出願）

符号の説明

[0077] 1…振動発電素子、4a, 4b…ストッパ、10, 32…可動電極、11, 11a, 11b…固定電極、12, 22, 42, 52…可動基板、13, 13a, 13b…イオン液体、14…負荷、16a~16d…電気二重層、121, 221…支持基板、122, 222a, 222b, 522a, 522b…エレクトレット

請求の範囲

- [請求項1] 固定電極と、
 前記固定電極に対して対向配置され、前記固定電極に対して移動可能な可動電極と、
 対向配置された前記固定電極と前記可動電極との間に介在するように設けられたイオン液体と、を備え、
 外部からの振動による前記可動電極の移動により、前記固定電極と前記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層、および前記可動電極と前記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の、少なくとも一方の面積が変化することによって発電を行う、振動発電素子。
- [請求項2] 請求項1に記載の振動発電素子において、
 前記可動電極は、前記固定電極との間隔が変化する方向に移動可能であり、
 外部からの振動による前記可動電極の移動により、前記固定電極と前記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層、および前記可動電極と前記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面積がそれぞれ変化する、振動発電素子。
- [請求項3] 請求項2に記載の振動発電素子において、
 互いに対向する前記固定電極および前記可動電極の一方はエレクトレット電極であり、
 前記エレクトレット電極の表面電位は前記イオン液体の電位窓の範囲内に設定されている振動発電素子。
- [請求項4] 請求項2に記載の振動発電素子において、
 前記電気二重層は、前記固定電極および前記可動電極と前記イオン液体との接触領域に生じる界面動電現象により形成されたものである振動発電素子。
- [請求項5] 請求項2乃至4のいずれか一項に記載の振動発電素子において、

前記可動電極は、該可動電極の表面側に設けられた表面側電極と、
前記可動電極の裏面側に設けられた裏面側電極とを有し、

前記固定電極は、前記表面側電極に対して対向配置された第 1 電極
と前記裏面側電極に対して対向配置された第 2 電極とを有し、

前記イオン液体は、前記第 1 電極と前記表面側電極との間、および
、前記第 2 電極と前記裏面側電極との間にそれぞれ介在するように設
けられている振動発電素子。

[請求項6]

請求項 1 に記載の振動発電素子において、

前記可動電極は、前記固定電極との間隔を一定に保持した状態でス
ライド移動可能であり、

外部からの振動による前記可動電極のスライド移動により、前記可
動電極と前記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面
積が変化する、振動発電素子。

[請求項7]

請求項 6 に記載の振動発電素子において、

前記可動電極は、

可動基板と、

前記可動基板の前記固定電極と対向する面に設けられ、表面電位が
前記イオン液体の電位窓の範囲内に設定されているエレクトレット電
極とを有し、

前記可動電極のスライド移動により、前記エレクトレット電極と前
記イオン液体との界面を挟んで形成される電気二重層の面積が変化する
振動発電素子。

[請求項8]

請求項 7 に記載の振動発電素子において、

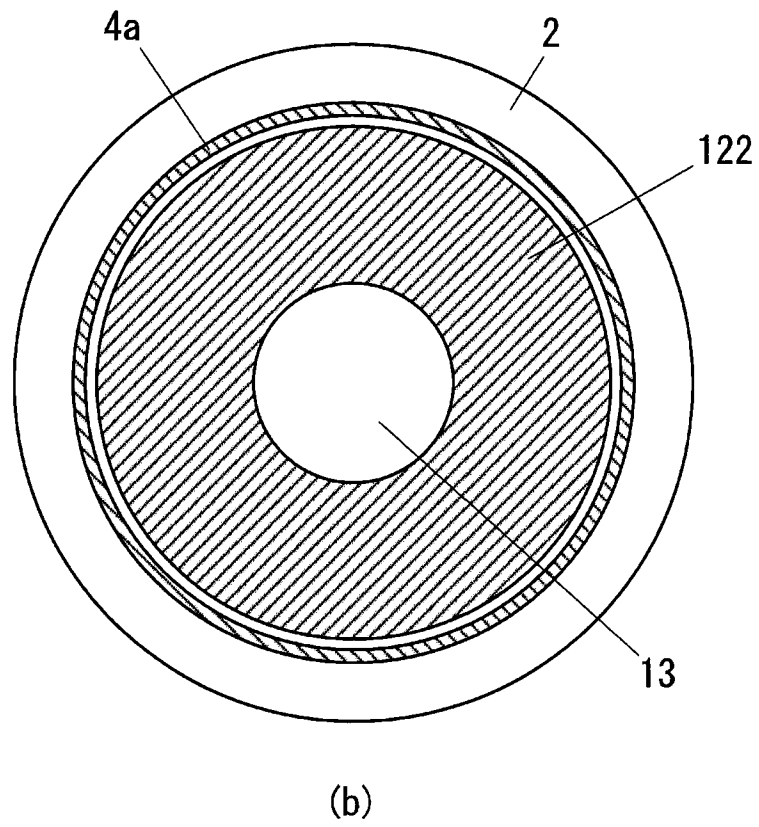
前記可動電極は、前記可動基板の表面に設けられた第 1 エレクトレ
ット電極と、前記可動基板の裏面に設けられた第 2 エレクトレット電
極とを有し、

前記固定電極は、前記可動基板の表面に対して対向配置された第 1
電極と前記可動基板の裏面に対して対向配置された第 2 電極とを有し

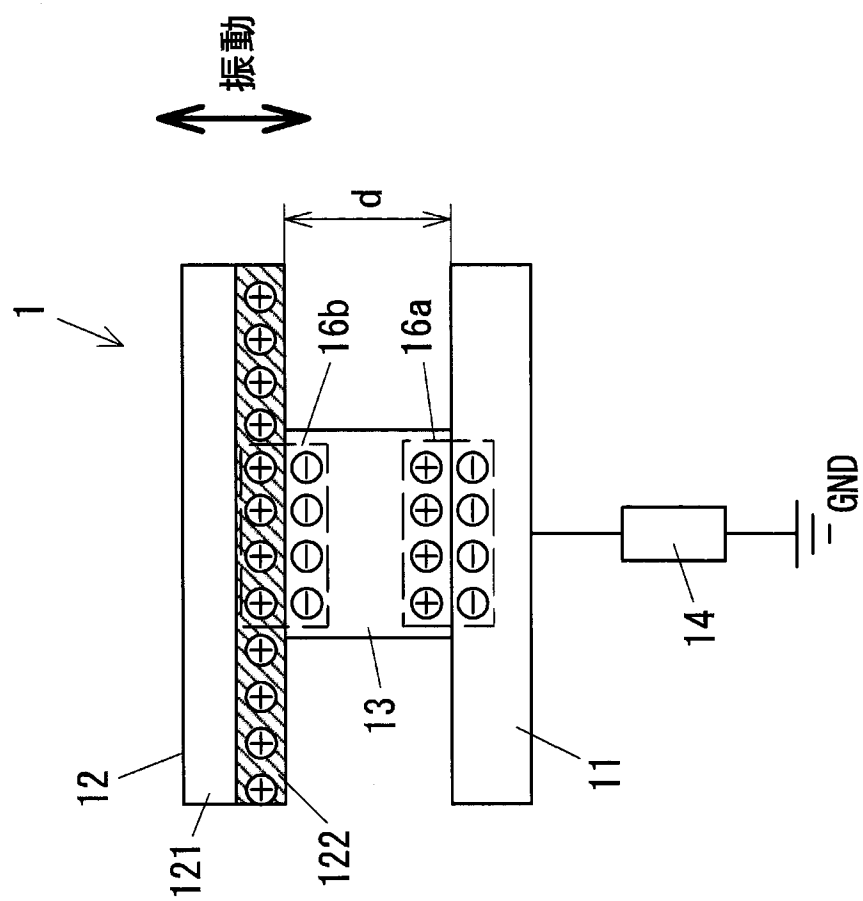
、

前記イオン液体は、前記第 1 電極と前記可動基板の表面との間、および、前記第 2 電極と前記可動基板の裏面との間にそれぞれ介在するように設けられている振動発電素子。

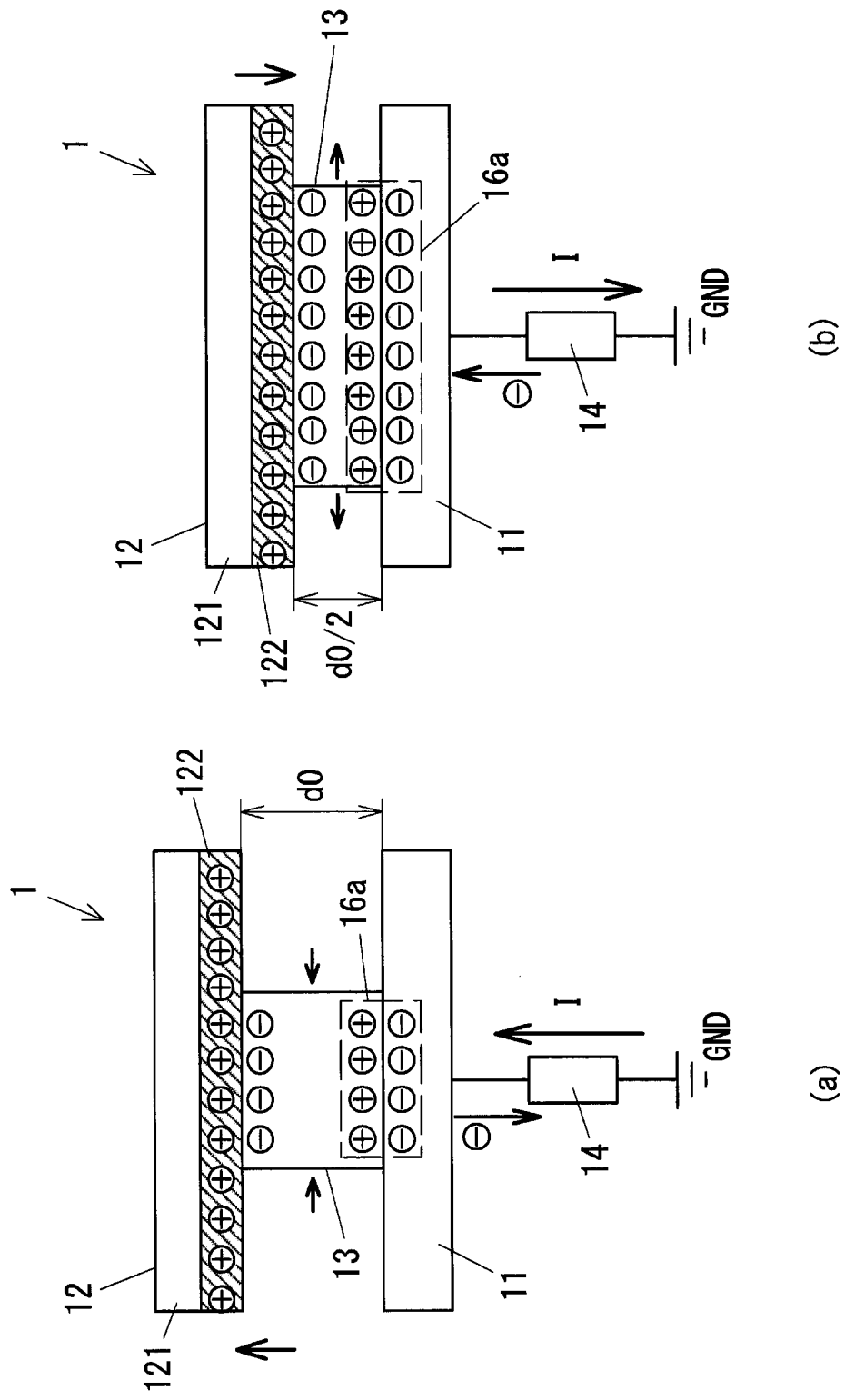
【図 1】



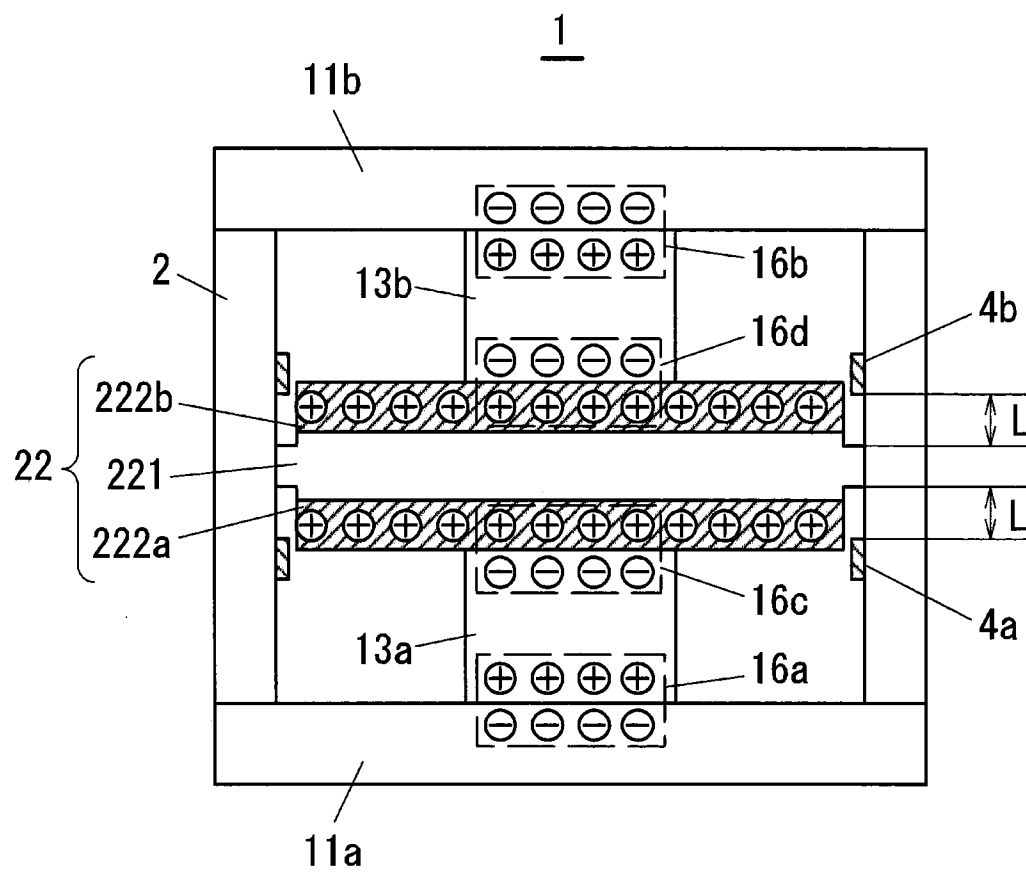
[図2]



【図3】

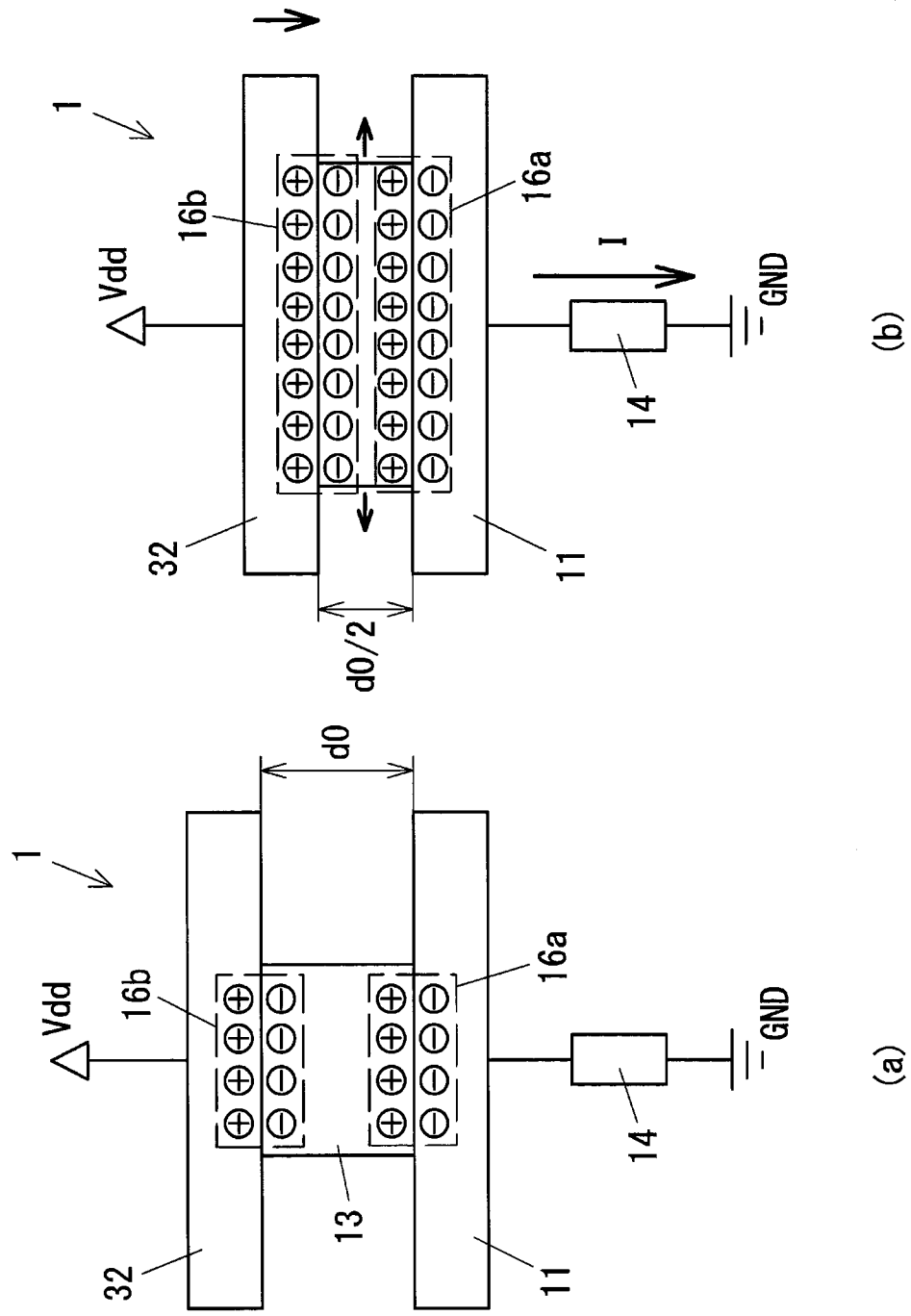


【圖 4】



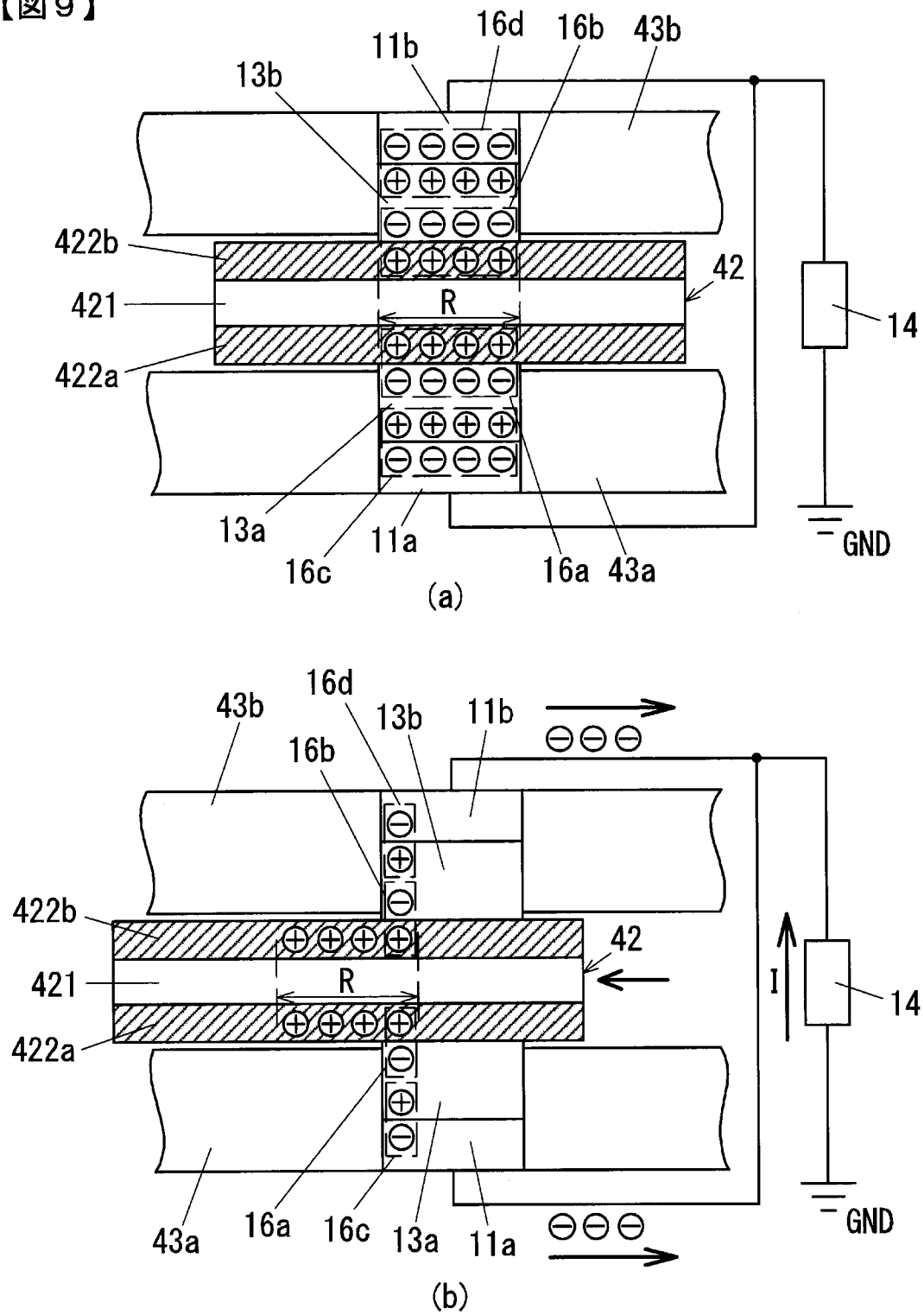
【図7】

【図7】



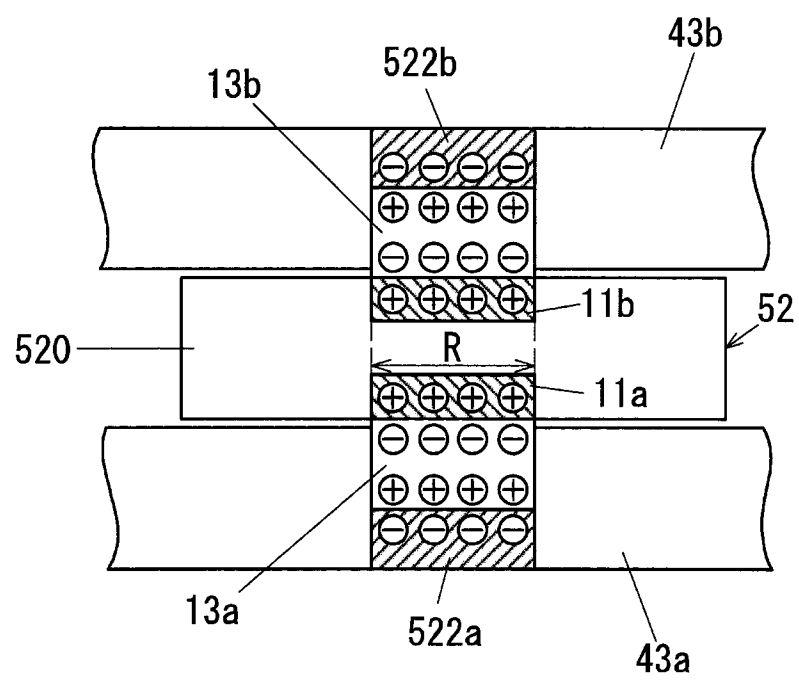
[図9]

【図9】



[図11]

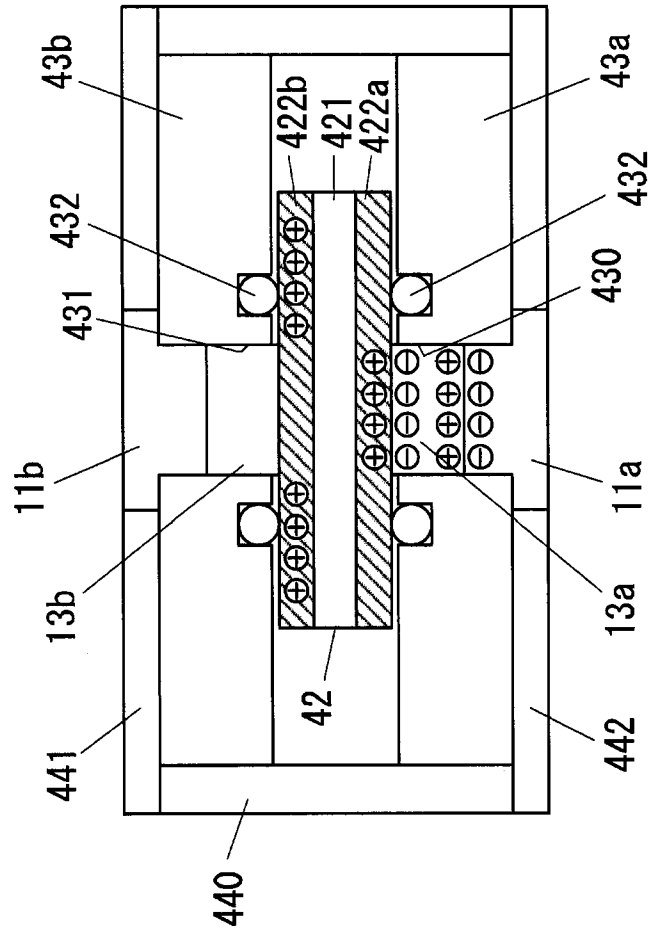
【図 1 1】



[図12]

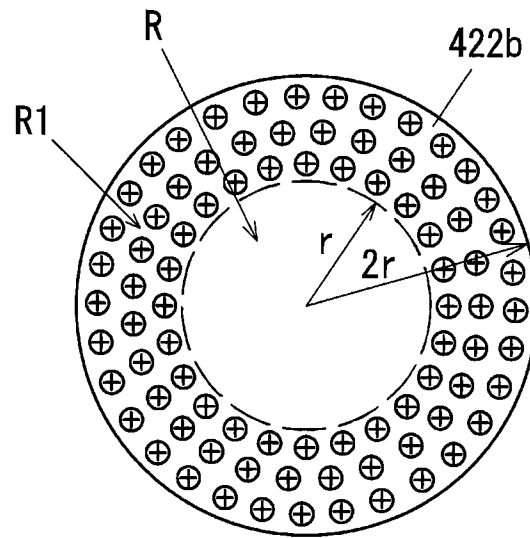
【図12】

1

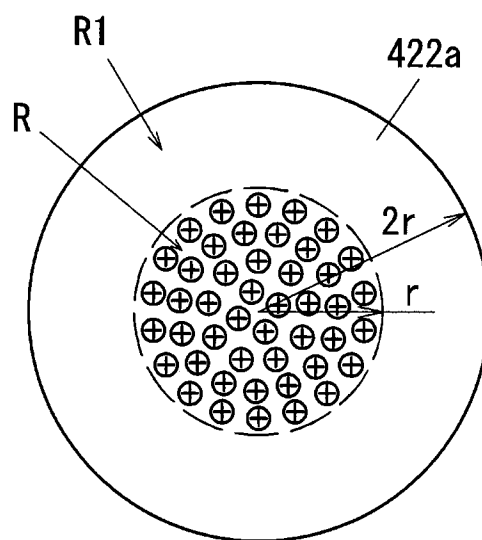


[図13]

【図 13】



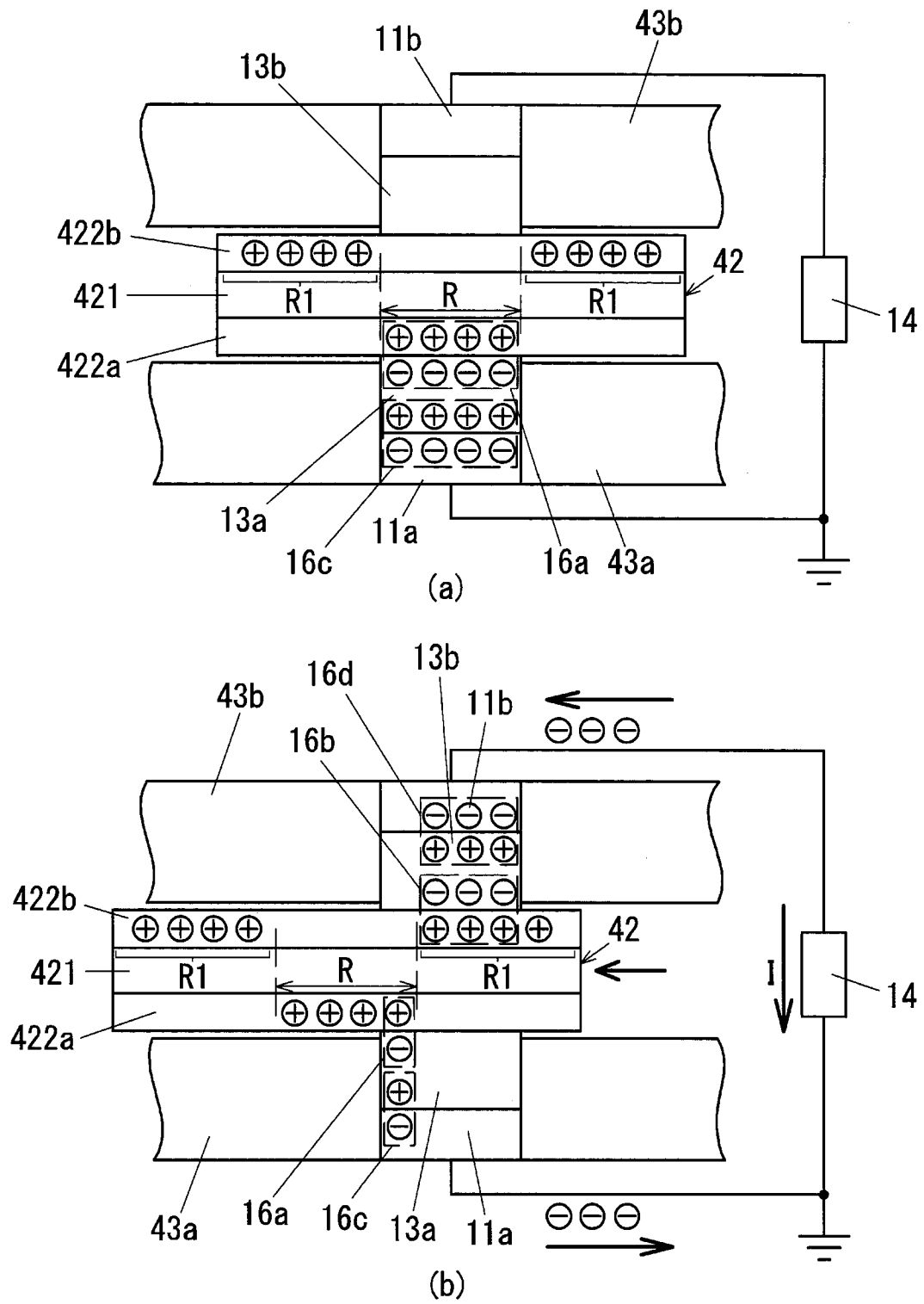
(a)



(b)

[図14]

【図 1 4】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/053523

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N1/08(2006.01) i, B81B5/00(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)

H02N1/08, B81B5/00

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.
X A	US 7898096 B1 (Thomas NIKITA KRUPENKIN), 01 March 2011 (01.03.2011), column 11, line 43 to column 12, line 59; column 13, line 64 to column 14, line 18; fig. 16 to 19, 22 to 23 & US 8053914 B1	1 2-8
A	JP 2011-507479 A (Commissariat a l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives), 03 March 2011 (03.03.2011), paragraphs [0042] to [0070], [0164] to [0177]; fig. 1A to 1D, 10 to 11 & FR 2925792 A1 & WO 2009/083542 A1 & US 2010/0295415 A1	1-8

☐ 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
24 April 2015 (24.04.15)

Date of mailing of the international search report
12 May 2015 (12.05.15)

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. H02N1/08(2006.01)i, B81B5/00(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（I P C）） Int.Cl. H02N1/08, B81B5/00			
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 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	
X A	US 7898096 B1 (Thomas NIKITA KRUPENKIN) 2011.03.01, 第 1 1 欄 第 4 3 行 - 第 1 2 欄第 5 9 行、第 1 3 欄第 6 4 行 - 第 1 4 欄第 1 8 行、図 1 6 - 1 9、図 2 2 - 2 3 & US 8053914 B1	1 2-8	
A	JP 2011-507479 A (コミッサリア ア レネルジー アトミック エ オ ゼネルジ ザルタナテイヴ) 2011.03.03, 【0 0 4 2】 - 【0 0 7 0】、【0 1 6 4】 - 【0 1 7 7】、図 1 A - 図 1 D、図 1 0 - 図 1 1 & FR 2925792 A1 & WO 2009/083542 A1 & US 2010/0295415 A1	1-8	
☐ 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 2 4 . 0 4 . 2 0 1 5		国際調査報告の発送日 1 2 . 0 5 . 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） 槻木澤 昌司 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 7	3 V 9 3 2 6