

(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  
2013年8月22日(22.08.2013)



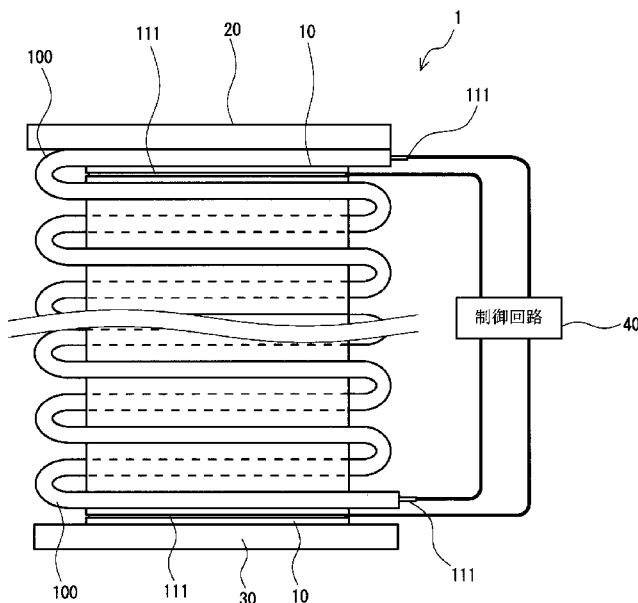
(10) 国際公開番号  
WO 2013/122110 A1

- (51) 国際特許分類:  
H02N 11/00 (2006.01) H02N 2/18 (2006.01)  
H02N 2/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/053426
- (22) 国際出願日: 2013年2月13日(13.02.2013)
- (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 2012-031171 2012年2月15日(15.02.2012) JP  
特願 2012-031172 2012年2月15日(15.02.2012) JP
- (71) 出願人: バンドー化学株式会社(BANDO CHEMICAL INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町4丁目6番6号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 加藤 秀之(KATO Hideyuki); 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町4丁目6番6号 バンドー化学株式会社内 Hyogo (JP). 大高 秀夫(OTAKA Hideo); 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町4丁目6番6号 バンドー化学株式会社内 Hyogo (JP). 野中 敬三(NONAKA Keizo); 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町4丁目6番6号 バンドー化学株式会社内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 天野 一規(AMANO Kazunori); 〒6500025 兵庫県神戸市中央区相生町1丁目1番18号 富士興業西元町ビル6階 天野特許事務所内 Hyogo (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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: PIEZOELECTRIC ELEMENT, ACTUATOR ELEMENT, ACTUATOR, POWER GENERATING ELEMENT, POWER GENERATING DEVICE AND FLEXIBLE SHEET

(54) 発明の名称: 圧電素子、アクチュエータ素子、アクチュエータ、発電素子、発電デバイス及び可撓性シート



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing a piezoelectric element that is capable of obtaining a large piezoelectric effect while also having a relatively simple structure that is easy to manufacture. This piezoelectric element is provided with a plurality of band-like flexible sheets (100) that have elastomer dielectric layers (120) and an electrode layer (110) that has elasticity and is laminated to the dielectric layer, and the piezoelectric element has a structure in which the plurality of flexible sheets (100) cross and overlap each other and are alternately folded in an accordion shape. It is preferable that at least one of the plurality of flexible sheets (100) is provided with a pair of the dielectric layers (120) laminated on the front and back sides of the electrode layer (110). It is preferable for a pair of the flexible sheets (100) to cross and overlap each other at substantially right angles. It is preferable for the number of laminated layers of the flexible sheet (100) to be between 10 and 10000 layers.

(57) 要約:

[続葉有]

40 Control circuit

WO 2013/122110 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

---

本発明の課題は、比較的簡易な構造で製造が容易であるとともに大きな圧電効果を得ることのできる圧電素子を提供することにある。本発明の圧電素子は、エラストマー製の誘電層(120)と、伸縮性を有するとともに上記誘電層に積層される電極層(110)とを有する複数の帯状の可撓性シート(100)を備え、複数の可撓性シート(100)が、交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている構成を有する。複数の可撓性シート(100)のうち少なくとも一つの可撓性シート(100)が、電極層(110)の表面側及び裏面側に積層される一対の上記誘電層(120)を備えることが好ましい。一対の上記可撓性シート(100)が、略直角に交差して重ねあわされていることが好ましい。可撓性シート(100)の積層数は10層以上10000層以下であることが好ましい。

## 明 細 書

発明の名称：

圧電素子、アクチュエータ素子、アクチュエータ、発電素子、発電デバイス及び可撓性シート

### 技術分野

[0001] 本発明は、圧電素子、アクチュエータ素子、アクチュエータ、発電素子、発電デバイス及び可撓性シートに関する。

### 背景技術

[0002] 従来、アクチュエータとして、伸縮性を有する一对の電極層によってエラストマー製の誘電層をサンドした構造のものが公知である。このアクチュエータは、電極層に電圧を印加させると、電極層間の電界によってエラストマー製の誘電層が面方向に伸長するものである。つまり、このアクチュエータは、電圧無印加状態で収縮し、電圧印加状態で伸長する伸長型アクチュエータであり、通常時に伸長状態で必要に応じて収縮させたい部位に用いる場合には、常時電極層に電圧を印加しておく必要がある。このような伸長型アクチュエータにあっては、常時原型状態ではなく変形状態にあるので、電極層及びエラストマー製の誘電層の劣化が生じやすく、また電極層に常時電圧が印加されているのでこの電圧が周囲に悪影響を及ぼさないよう配慮する必要があるとともに上記電気エネルギーをロスするので、結果的にコスト高を招くという不都合を有する。

[0003] また、伸縮性を有する複数の第一電極層及び第二電極層を交互に所定間隔をもって配設し、この第一電極層と第二電極層との間にエラストマー製の誘電層を配設した収縮型のアクチュエータも公知である（特開2011-103713号公報参照）。この収縮型のアクチュエータは、第一電極層と第二電極層とに電圧を印加すると、各エラストマー製の誘電層が平面方向に伸長することで、積層厚方向に収縮するものである。しかし、このような構造の収縮型のアクチュエータは、複数の第一電極層及び第二電極層をそれぞれ電

氣的に接続する必要があり、その配線構造が複雑である。特に、収縮量及び収縮力を増加させるためには、多数の電極層を積層する必要があり、この場合には配線構造がより複雑化してしまい、電氣的接続の不備や製品としての欠陥が生ずるおそれがある。

[0004] なお、剛性を有する板状部材によって電極テープを保持させて、一对の電極テープを交差して重ね合せるとともに複数の板状部材を一定の隙間（空気層）を有するように積層したアクチュエータも公知である（特開2010-57321号公報参照）。このアクチュエータは、板状部材、一方の電極テープ、板状部材、空気層（隙間）、板状部材、他方の電極テープ、板状部材、空気層と順次積層された構造からなる。このアクチュエータは、一对の電極テープに電圧を印加することで、静電力により電極テープ同士が近接する方向に力が作用する。そして、この力により板状部材間の隙間が狭くなって、全体として積層厚方向に収縮する。しかしながら、このアクチュエータにあっては、収縮を許容するために板状部材間に隙間（空気層）が必要であるが、この隙間の存在によって電極テープ同士の間隔が広がるので電極テープに作用する静電力が小さくなる。つまり、このアクチュエータは、収縮量を大きくするために隙間を大きくすると収縮力が小さくなり、逆に収縮力を大きくするために隙間を小さくすると、収縮量が小さくなるという不都合を有している。また、板状部材間に隙間が存在するため、板状部材を積層厚方向に移動可能に保持する機構が必要となり、的確に力を取り出すためにはその機構の精密さが要求され、製品コストの増大を招くおそれもある。

[0005] また、発電素子として、伸縮性を有する一对の電極層によってエラストマー製の誘電層をサンドしたシート構造のものが公知である（特表2003-505865号公報及び特開2010-263750号公報参照）。この発電素子は、平面方向に伸長させ、その後復元（収縮）させる一連の変形（伸長収縮）によって生ずる静電容量の変化を利用して発電するものである。この発電素子の一回の伸長及び収縮による発電量 $J$ は、以下の式（1）で表される。

$$J = (1/2) \times C_1 \times V_1^2 \times (C_1/C_2 - 1) \dots \text{式 (1)}$$

ここで、 $C_1$ は伸長状態での静電容量で、 $C_2$ は収縮状態での静電容量、 $V_1$ は伸長状態で与えられるバイアス電圧である。

[0006] 上記静電容量 $C$ は、以下の式(2)で表される。

$$C = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A / t = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times b / t^2 \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 $\varepsilon_0$ は自由空間の誘電率、 $\varepsilon$ はエラストマー製の誘電層の比誘電率、 $A$ は電極面積、 $t$ は電極間の距離(エラストマー製の誘電層の厚み)である。また、 $b$ は、電極間の体積(エラストマー製の誘電層の体積)であり、 $b = A \times t$ である。

[0007] また、伸長状態での静電容量 $C_1$ 及び収縮状態での静電容量 $C_2$ は式(3)及び式(4)で表される。

$$C_1 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A_1 / t_1 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times b_1 / t_1^2 \dots \text{式 (3)}$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A_2 / t_2 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times b_2 / t_2^2 \dots \text{式 (4)}$$

ここで、 $A_1$ は伸長状態での電極面積、 $t_1$ は伸長状態での電極間の距離(エラストマー製の誘電層の厚み)、 $b_1$ は、伸長状態での電極間の体積(エラストマー製の誘電層の体積)であり、 $b_1 = A_1 \times t_1$ である。また、 $A_2$ は収縮状態での電極面積、 $t_2$ は収縮状態での電極間の距離(エラストマー製の誘電層の厚み)、 $b_2$ は、収縮状態での電極間の体積(エラストマー製の誘電層の体積)であり、 $b_2 = A_2 \times t_2$ である。

[0008] なお、ポアソン比が0.5のエラストマーの理想状態では、伸長状態の体積と収縮状態の体積は一定であり( $b_1 = b_2$ )、静電容量は厚み $t$ の二乗に反比例することになる。このため、伸長状態での静電容量 $C_1$ 及び収縮状態での静電容量 $C_2$ は式(5)の関係を満たす。

$$C_1 / C_2 = t_2^2 / t_1^2 \dots \text{式 (5)}$$

[0009] この式(5)及び式(3)によって式(1)は以下の式(6)のように書き直すことができる。

$$J = (1/2) \times \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A_1 / t_1 \times V_1^2 \times (t_2^2 / t_1^2 - 1) \dots \text{式 (6)}$$

- [0010] この式(6)において $\varepsilon$ 、 $A_1$ 、 $t_1$ は初期状態で一定であるとする、発電量 $J$ は、バイアス電圧 $V_1$ の二乗、及び厚み比 $t_2/t_1$ の二乗に比例する。
- [0011] これらのことから、一回の伸長及び収縮による発電量 $J$ を大きくするためには、以下のA~Cの手法が考えられる。
- A. 伸長時の静電容量 $C_1$ を大きくする。このためには、比誘電率の大きいエラストマー製の誘電層を採用し、伸長状態の厚み $t_1$ を小さくし、電極の面積 $A_1$ を大きくすることが考えられる。
- B. 収縮状態の静電容量に対する伸長状態の静電容量の比 $C_1/C_2$ を大きくする。つまり、発電素子に大きな伸長を与えて、厚みの変化を大きくすることが考えられる。
- C. バイアス電圧 $V_1$ を大きくする。
- [0012] しかし、上記従来の発電素子にあっては、一对の電極しか有さないので、上記A~Cのような手法をとったとしても十分な発電量が得られない。また、伸長するためには発電素子のシート状の端部を把持する部材が必要であり、この把持部分に応力が集中してしまい、電極層等の破損を招くおそれがある。
- [0013] なお、特開2010-263750号公報には、シートを筒状にした例が開示されているが、この筒状のシートを軸心方向に伸長した際に、中央部分の電極層間の距離が短くなり、結果として絶縁破壊の発生を的確に防止できない。
- [0014] また、特開2010-263750号公報には、既述のような一对の電極層とエラストマー製の誘電層との三層構造のシートに、さらに他のエラストマー製の誘電層と他の電極層とを積層した発電デバイスも開示されている。この場合、電極層が三層形成されることになるが、例えば表面側の電極層及び裏面側の電極層に、中央の電極層と異なる極の電位を与えるよう電氣的接続がなされることになる。このため、仮に発電量を大きくするために電極層及びエラストマー製の誘電層の層を多数にした場合には、その電氣的接続（

配線)が困難となる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0015] 特許文献1：特開2011-103713号公報

特許文献2：特開2010-57321号公報

特許文献3：特表2003-505865号公報

特許文献4：特開2010-263750号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0016] 本発明は、以上のような事情に基づいてなされたものであり、本発明の課題は、比較的簡易な構造で製造が容易であるとともに高い圧電効果（アクチュエータ素子としては大きな収縮力、また発電素子としては大きい発電量）を得ることのできる圧電素子を提供することを課題とする。また、本発明の課題は、上記のような圧電素子を容易に製造することのできる可撓性シートを提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0017] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、本発明に係る圧電素子は、

エラストマー製の誘電層と、伸縮性を有するとともに上記誘電層に積層される電極層とを有する複数の帯状の可撓性シートを備え、

複数の可撓性シートが、交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている構成を有する。

[0018] 当該圧電素子は、一の可撓性シートの電極層の一方の面にエラストマー製の誘電層を介して他の可撓性シートの電極層が積層され、この他の可撓性シートの電極層の一方の面にエラストマー製の誘電層を介して折り返された上記一の可撓性シートの電極層が積層される構造となる。

[0019] このため、当該圧電素子を例えばアクチュエータ素子として用いた場合、

各可撓性シートにそれぞれ電圧を印加する（以下、電圧印加状態ということがある）ことによって、電極層間に静電力が発生する。そして、この静電力によって、誘電層及び電極層が平面方向に伸長し、可撓性シートが層厚方向に収縮する。このため、電圧印加状態において収縮状態とすることができる。また、印加している電圧をなくすと、誘電層及び電極層が平面方向に収縮し、可撓性シートが層厚方向に伸長する（以下、電圧無印加状態ということがある）。このため、電圧無印加状態において伸長状態とすることができる。

[0020] 一方、当該圧電素子を例えば発電素子として用いた場合、上記電極層及びエラストマー製の誘電層の積層された積層部分に負荷がかけられ、層厚方向に圧縮されると、誘電層及び電極層が平面方向に伸長する。そして、上記積層部分にかけられていた負荷が除かれると、エラストマー製の誘電層の弾性復元力によって復元し、つまり積層部分が層厚方向に伸長する。この積層部分の圧縮・伸長に伴って電極層間の距離が変更され、静電容量の変化が生じるので、この静電容量の変化を利用して発電することが可能となる。また、当該発電素子は、上述のように可撓性シートの積層部分を圧縮・伸長することによって発電するものであるため、従来の伸長・収縮によって発電するものと異なり、可撓性シートを把持する必要性がなく、可撓性シートが劣化し難い。また、従来の伸長・収縮させる発電デバイスと比較して、圧縮時における電極層間の距離が平面方向一定になり易く、絶縁破壊が起こりにくい。当該発電素子は、上述のような構造からなり少なくとも四層の電極層が積層された構造であるため、従来の発電デバイスに比べて発電量を大きくすることが可能である。

[0021] また、当該圧電素子は、上記のように複数の可撓性シートを交差して重ね合わせ交互に蛇腹状に折り畳む簡易な構成であるため、容易に製造することが可能である。特に、電極層を有する可撓性シートが折り畳まれ、一つの電極層によって複数の電極が構成されることになるため、従来のアクチュエータ素子及び発電素子のように電極ごとの配線が不要であり、配線構造が簡易で



ある。

[0022] さらに、当該圧電素子は、複数の可撓性シートが重ねあわされた構造であり、板状部材間に隙間を有する従来のアクチュエータ素子に比べて、構造が容易であるとともに、電極層間にエラストマー製の誘電層が介在されるので当該圧電素子をアクチュエータ素子として用いた場合に電極層間に作用する静電力が大きくなり、収縮力が大きい。

[0023] 上述のように当該圧電素子をアクチュエータ素子として用いた場合、複数の可撓性シートのうち少なくとも一つの可撓性シートが、電極層の表面側及び裏面側に積層される一対の上記誘電層を備えることが好ましい。これにより、この電極層が一対のエラストマー製の誘電層に挟まれた構造の可撓性シート（以下、サンドイッチ構造型可撓性シートということがある）を蛇腹状に折り畳むことによって、このサンドイッチ構造型可撓性シートの電極層と、他の可撓性シートの電極層との間にはサンドイッチ構造型可撓性シートのエラストマー製の誘電層が必ず介在することになる。

[0024] また、当該アクチュエータ素子にあっては、一対の上記可撓性シートが、略直角に交差して重ねあわされ、交互に蛇腹状に折り畳まれていることが好ましい。つまり、当該アクチュエータ素子にあっては、一対の可撓性シートが例えば $60^\circ$ に交差して重ね合せたものとすることも可能であるが、この場合には一対の可撓性シートの重ねあわされる面積が小さくなってしまふ。これに対して、一対の可撓性シートを略直角に交差して重ね合わせることによって、一対の可撓性シートの重ね合わされる面積を大きくすることができ、エラストマー製の誘電層が変形する領域が広がる。なお、一対の可撓性シートの交差角度は、一対の可撓性シートの中心線同士のなす角度を意味し、略直角とは、 $80^\circ$ 以上、好ましくは $85^\circ$ 以上である。

[0025] 当該アクチュエータ素子は、上記一対の可撓性シートが10層以上1000層以下で重畳されていることが好ましい。つまり、当該アクチュエータ素子は、一対の可撓性シートが交差して重ねあわされ交互に蛇腹状に折り畳まれて4層構造（各可撓性シートが2層ずつ）とすることも可能であるが、

この4層構造では十分な収縮量が得られないおそれがある。これに対して、  
一対の可撓性シートが10層以上10000層以下で重畳されている（各可  
撓性シートが5層以上5000層以下で重畳されている）ことにより、十分  
な収縮量が得られる。

[0026] 当該アクチュエータ素子は、エラストマー製の誘電層の平均厚みが10 $\mu$   
m以上100 $\mu$ m以下であることが好ましい。これにより、エラストマー製  
の誘電層が的確に平面方向に伸長（層厚方向に収縮）することができる。

[0027] 当該アクチュエータ素子は、電極層の平均厚みが、エラストマー製の誘電  
層の平均厚みの1/10以下であることが好ましい。これにより、電極層に  
対するエラストマー製の誘電層の割合（層厚）を大きくすることができ、エ  
ラストマー製の誘電層が的確に平面方向に伸長（層厚方向に収縮）するこ  
とができる。

[0028] また、本発明に係るアクチュエータは、上記構成からなる当該アクチュエ  
ータ素子と、上記アクチュエータ素子の一面側に接合される第一剛性部材と  
、上記アクチュエータ素子の他面側に接合される第二剛性部材とを備える。

[0029] 当該アクチュエータは、各可撓性シートにそれぞれ電圧を印加すること  
によって、アクチュエータ素子が層厚方向に収縮し、第一剛性部材と第二剛性  
部材との距離を縮めることができる。

[0030] また、当該アクチュエータは、複数の上記アクチュエータ素子を備え、上記  
第一剛性部材が、上記複数のアクチュエータ素子の一面側に接合され、上記  
第二剛性部材が、上記複数のアクチュエータ素子の他面側に接合されてい  
ることが好ましい。これにより、第一剛性部材と第二剛性部材との距離を複数  
のアクチュエータ素子によって縮めることが可能であるとともに、一方のア  
クチュエータ素子のみを収縮状態とすることによって第一剛性部材と第二剛  
性部材とを傾斜状態とすることも可能である。

[0031] 上述のように当該圧電素子をアクチュエータ素子として用いた場合、複数  
の可撓性シートのうち少なくとも一つの可撓性シートが、電極層の表面側及  
び裏面側に積層される一対の上記誘電層を備えることが好ましい。これによ

り、このサンドイッチ構造型可撓性シートを蛇腹状に折り畳むことによって、このサンドイッチ構造型可撓性シートの電極層と、他の可撓性シートの電極層との間にはサンドイッチ構造型可撓性シートのエラストマー製の誘電層が必ず介在することになる。

[0032] また、当該発電素子にあっては、一対の上記可撓性シートが、略直角に交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれていることが好ましい。つまり、当該発電素子にあっては、一対の可撓性シートが例えば $60^\circ$ に交差して重ねあわせたものとする 것도可能であるが、この場合には一対の可撓性シートの重ねあわせられる面積が小さくなってしまふ。これに対して、一対の可撓性シートを略直角に交差して重ねあわせることによって、一対の可撓性シートの重ねあわせられる面積を大きくすることができ、静電容量が大きくなり、発電量を大きくすることができる。

[0033] 当該発電素子は、上記一対の可撓性シートが10層以上10000層以下で重畳されていることが好ましい。つまり、当該発電素子は、一対の可撓性シートが交差して重ねあわせられ交互に蛇腹状に折り畳まれて4層構造（各可撓性シートが2層ずつ）とする 것도可能であるが、この4層構造では十分な発電量が得られないおそれがある。これに対して、一対の可撓性シートが10層以上10000層以下で重畳されている（各可撓性シートが5層以上5000層以下で重畳されている）ことにより、十分な発電量が得られる。

[0034] 当該発電素子は、エラストマー製の誘電層の平均厚みが $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これにより、エラストマー製の誘電層を的確に平面方向に伸長（層厚方向に圧縮）させることができる。

[0035] 当該発電素子は、電極層の平均厚みが、エラストマー製の誘電層の平均厚みの $1/10$ 以下であることが好ましい。これにより、電極層に対するエラストマー製の誘電層の割合（層厚）を大きくすることができ、エラストマー製の誘電層を的確に平面方向に伸長（層厚方向に圧縮）させることができる。

[0036] また、本発明に係る発電デバイスは、上記構成からなる当該発電素子と、

上記発電素子の一面側に接合される第一剛性部材と、上記発電素子の他面側に接合される第二剛性部材とを備える。

[0037] 当該発電デバイスは、各可撓性シートにそれぞれ電圧を印加することによって、発電素子が層厚方向に収縮し、第一剛性部材と第二剛性部材との距離を縮めることができる。

[0038] また、当該発電デバイスは、複数の上記アクチュエータ素子を備え、上記第一剛性部材が、上記複数の発電素子の一面側に接合され、上記第二剛性部材が、上記複数の発電素子の他面側に接合されていることが好ましい。これにより、第一剛性部材と第二剛性部材との距離を複数の発電素子によって縮めることが可能であるとともに、一方の発電素子のみを収縮状態とすることによって第一剛性部材と第二剛性部材とを傾斜状態とすることも可能である。

[0039] また、本発明に係る可撓性シートは、帯状の可撓性シートであって、伸縮性を有する電極層と、この電極層の表面側及び裏面側に積層される一对のエラストマー製の誘電層とを備える。

[0040] 当該可撓性シートによれば、例えば他の帯状の可撓性シートと交差して重ねあわせ、交互に蛇腹状に折り畳むことによって、既述の利点を奏する当該圧電素子を製造することができる。

[0041] なお、「エラストマー製の誘電層の平均厚み」及び「電極層の平均厚み」とは、電極層に電圧をかけない電圧無印加状態で、かつ上記積層部分に負荷をかけていない（圧縮していない）無負荷状態の厚みを意味する。

### 発明の効果

[0042] 以上説明したように、本発明に係る圧電素子は、比較的簡易な構造で製造が容易であるとともに大きな圧電効果を得ることができる。また、本発明に係る可撓性シートは、上記利点を有する圧電素子を備えつつ、容易に製造することができる。

### 図面の簡単な説明

[0043] [図1]図1は、本発明の第一実施形態のアクチュエータの一部省略した概略的

正面図である。

[図2]図2は、図1のアクチュエータのアクチュエータ素子の概略的平面図である。

[図3]図3は、図2のアクチュエータ素子の可撓性シートの説明図で、(A)は要部を拡大した概略的側面図で、(B)は概略的正面断面図である。

[図4]図4は、図2のアクチュエータ素子における一对の可撓性シートの関係を説明するための概略的正面端面図である。

[図5]図5は、本発明の他の実施形態のアクチュエータの概略的正面図（アクチュエータの具体的構造の図示は省略）である。

[図6]図6は、本発明の他の実施形態のアクチュエータの概略的正面図（アクチュエータの具体的構造の図示は省略）である。

[図7]図7は、本発明の他の実施形態の可撓性シートの要部を拡大した概略的正面断面図である。

[図8]図8は、本発明の他の実施形態のアクチュエータ素子の概略的正面図である。

[図9]図9は、本発明の他の実施形態のアクチュエータ素子の概略的正面図である。

[図10]図10は、本発明のアクチュエータの実施例の印加電圧と収縮率との関係を示すグラフである。

[図11]図11は、本発明の第二実施形態の発電デバイスの一部省略した概略的正面図である。

[図12]図12は、図11の発電デバイスの発電素子の概略的平面図である。

[図13]図13は、図12の発電素子における一对の可撓性シートの関係を説明するための概略的正面端面図である。

[図14]図14は、本発明の他の実施形態の発電デバイスの概略的正面図（発電デバイスの具体的構造の図示は省略）である。

[図15]図15は、本発明の他の実施形態の発電デバイスの概略的正面図（発電デバイスの具体的構造の図示は省略）である。

[図16]図16は、本発明の発電デバイスの実施例の圧縮率及びバイアス電圧と発生エネルギーとの関係を示す表である。

### 発明を実施するための形態

[0044] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参酌しつつ説明する。

[0045] [第一実施形態]

まず、本発明に係る圧電素子の第一実施形態として、図1に示すアクチュエータ1に用いられるアクチュエータ素子10を例にとり説明する。

[0046] <アクチュエータ1>

図1のアクチュエータ1は、アクチュエータ素子10と、アクチュエータ素子10の一面側に接合される第一剛性部材20と、アクチュエータ素子10の他面側に接合される第二剛性部材30とを備える。図示例では、第一剛性部材20と第二剛性部材30とは板状の部材から構成され、この第一剛性部材20と第二剛性部材30との間に収縮可能なアクチュエータ素子10が介在されている。

[0047] 上記アクチュエータ素子10は、図2に示すように電極層110及びエラストマー製の誘電層120を有する複数の可撓性シート100を有しており、この電極層110は可撓性シート100の端部から突設された接続部111を有している。そして、当該アクチュエータ1は、図1に示すように電極層110に電氣的に接続される制御回路40を有している。なお、電極層110は制御回路40を介して電圧が印加される。

[0048] <アクチュエータ素子10>

当該アクチュエータ素子10は、複数の帯状の可撓性シート100が電極層110、110同士の間にはエラストマー製の誘電層120が配設されるよう折り畳まれている。具体的には、図1及び図2に示すように、一对の可撓性シート100が、略直角に交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている。この一对の可撓性シート100は、同一構成のものを使用している。

[0049] また、一对の可撓性シート100は、10層以上10000層以下で重畳

されていることが好ましく30層以上1000層以下で重畳されていることがより好ましく、50層以上100層以下で重畳されていることがさらに好ましい。上記下限値未満であると、アクチュエータ素子10の高さが低く十分な収縮量が得られないおそれがある。上記上限値を超えると、可撓性シート100の長さが長くなり過ぎ、可撓性シート100に欠陥を生ずるおそれがあり、この欠陥によって絶縁破壊が生ずるおそれがある。

[0050] <可撓性シート100>

当該可撓性シート100は、図3に示すように、伸縮性を有する電極層110と、この電極層110の表面側及び裏面側に積層される一対のエラストマー製の誘電層120とを備えている。表裏一対のエラストマー製の誘電層120は同一構成を有している。

[0051] 当該可撓性シート100は、平均厚みが20 $\mu$ m以上200 $\mu$ m以下であることが好ましく、40 $\mu$ m以上140 $\mu$ m以下であることがより好ましい。また、当該可撓性シート100の幅（短手方向の長さ）は、用いられるアクチュエータ1の用途等に応じて適宜設計変更可能であり、例えば1cmとすることが可能である。さらに、当該可撓性シート100の長さ（長手方向の長さ）は、重畳する回数やシートの幅等により適宜設計変更可能であるが、例えば80cmとすることが可能である。

[0052] 上記誘電層120は、弾性変形可能な層である。このエラストマー製の誘電層120は、天然ゴム、イソプレングム、ニトリルゴム（NBR）、エチレンプロピレングム（EPDM）、スチレン・ブタジエングム（SBR）、ブタジエングム（BR）、クロロプレングム（CR）、シリコングム、フッ素ゴム、アクリルゴム、水素添加ニトリルゴム、ウレタングム等から構成することが可能である。なお、エラストマー製の誘電層120としては、高い絶縁強度を有し、吸湿性も少ない疎水性ゴム（例えば、天然ゴム、イソプレングム、エチレンプロピレングム、ブタジエングム、シリコングム、アクリルゴム等）から構成することが好ましい。特に、弾性圧縮率を小さくしても圧縮変形ひずみが大きくなり過ぎないように、上記誘電層120は、ポ

リロタキタン構造を有するエラストマー、特に疎水性のポリロタキサン構造を有するエラストマーであることが好ましい。

[0053] 上記誘電層120は、他のエラストマー製の誘電層120と略同一厚みで形成されている。なお、略同一厚みとは、一方のエラストマー製の誘電層120の平均厚みに対する他方のエラストマー製の誘電層120の平均厚みの比が0.95以上1.05以下であることを意味する。

[0054] このエラストマー製の誘電層120（一層）の平均厚み（T1）は、10 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であることが好ましく、20 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下であることがより好ましく、30 $\mu$ m以上50 $\mu$ m以下であることが特に好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が薄くなり過ぎ、エラストマー製の誘電層120が絶縁破壊するおそれが生ずるとともに、アクチュエータ素子10の高さ（積層厚方向の長さ）を十分なものとするために当該可撓性シート100の積層数が多くなり過ぎ、製造コストの増大を招くおそれがある。一方、上記上限値を超えると、重ね合せてアクチュエータ1として利用した際に電極同士の間が離間し過ぎ、静電容量が小さくなり、収縮力が小さくなるおそれがある。

[0055] また、エラストマー製の誘電層120は、圧縮弾性率が、0.1MPa以上1.5MPa以下であることが好ましく、0.3MPa以上0.7MPa以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が軟らかすぎ、圧縮変形ひずみが大きくなり過ぎるおそれがある。一方、上記上限値を超えると、エラストマー製の誘電層120が硬すぎ、層厚方向に収縮し難いおそれがある。上記圧縮弾性率は、JIS-K6254の低変形圧縮試験に準拠して、10%歪を与えた場合の圧縮弾性率である。

[0056] さらに、エラストマー製の誘電層120の比誘電率は、2以上9以下が好ましく、3以上8以下がより好ましく、4以上7以下がさらに好ましい。上記下限値未満であると、静電容量が小さくなり、アクチュエータ1として利用した際に十分な収縮力が得られないおそれがある。一方、比誘電率が上記



上限値を超えると、誘電性フィラーを大量に添加する必要がありエラストマー製の誘電層が硬くなり変形しにくくなる。

[0057] また、エラストマー製の誘電層120は他のエラストマー製の誘電層120と略同一幅で形成されている。なお、略同一幅とは、一方のエラストマー製の誘電層120の幅に対する他方のエラストマー製の誘電層120の幅の比が0.95以上1.05以下であることを意味する。このエラストマー製の誘電層120の幅(W1)は、用いられるアクチュエータ1の用途等に応じて適宜設計変更可能であり、例えば1cmとすることが可能である。

[0058] 上記電極層110は、上記誘電層120の伸縮に追従可能な伸縮性を有するエラストマー製の導電層から構成することが好ましい。このエラストマー製の導電層は、エラストマーに導電性フィラーが含有されている。ここで、導電層のエラストマーとしては、エラストマー製の誘電層120と接着可能なものが好適に用いられ、例えばエラストマー製の誘電層120と同様の素材のものをを用いることが可能である。

[0059] また、電極層110はエラストマー製の誘電層120よりも薄く設けられ、電極層110の平均厚み(T2)は、エラストマー製の誘電層120(一層)の平均厚み(T1)の $1/30$ 以上 $1/10$ 以下であることが好ましく、 $1/20$ 以上 $1/15$ 以下であることがより好ましい。上記上限値を超えると、アクチュエータ素子10における電極層110の割合(層厚)が大きくなり、エラストマー製の誘電層120の割合が小さくなるので、アクチュエータ素子10が十分に収縮できないおそれがある。一方、上記下限値未満であると、エラストマー製の導電層が薄くなり過ぎ、電極層110の抵抗値が大きくなるおそれがある。

[0060] また、電極層110の平均厚み(T2)は、50nm以上50 $\mu$ m以下であることが好ましく、1 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下であることがより好ましい。上記上限値を超えると、アクチュエータ素子10における電極層110の割合(層厚)が大きくなり、エラストマー製の誘電層120の割合が小さくなるので、アクチュエータ素子10が十分に収縮できないおそれがある。一方

、上記下限値未満であると、エラストマー製の導電層が薄くなり過ぎ、電極層 110 の抵抗値が大きくなるおそれがある。

[0061] さらに、電極層 110 は、圧縮弾性率が、0.1MPa 以上 1.5MPa 以下であることが好ましく、0.3MPa 以上 0.7MPa 以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると、電極層 110 が軟らかすぎ、圧縮変形ひずみが大きくなり過ぎるおそれがある。一方、上記上限値を超えると、電極層 110 が硬すぎ、当該可撓性シート 100 が変形しにくくなり、変形させるためには高い電圧を印加する必要性が生じ、この高い電圧によってエラストマー製の誘電層 120 の絶縁破壊を招くおそれがある。

[0062] また、電極層 110 は、エラストマー製の誘電層 120 よりも幅狭に形成されている。つまり、エラストマー製の誘電層 120 は、電極層 110 よりも外側に延出した袖部 121 を有しており、電極層 110 の端面での短絡等を防止している。ここで、この袖部 121 の幅 ( $W3 = (W1 - W2) / 2$ ) は、電極層 110 の平均厚み ( $T2$ ) に対して 5 倍以上 100 倍以下であることが好ましく、10 倍以上 50 倍以下であることがより好ましい。また、袖部 121 の幅は、エラストマー製の誘電層 120 の幅 ( $W1$ ) に対して  $1 / 100$  倍以上  $1 / 20$  倍以下であることが好ましく、 $1 / 50$  倍以上  $1 / 30$  倍以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると短絡防止効果が十分に得られないおそれがある。一方、上記上限値を超えると、電極層 110 の幅が狭くなり、平面視電極が重なっている領域の面積が狭くなり、十分な収縮力が得られないおそれがある。

[0063] さらに、電極層 110 は、可撓性シート 100 の両端部において、エラストマー製の誘電層 120 よりも突出した上記接続部 111 を有し、当該アクチュエータ素子 10 は、この接続部 111 を介して他の部材（制御回路 40）と電氣的に接続されている。なお、この両端部の接続部 111 がアクチュエータ素子 10 の同一の側（図 1 では右側）となるよう、可撓性シート 100 は奇数回折り返されていることが好ましい。

[0064] さらに、上記電極層 110 の導電性フィラーとしては、種々のものが採用

可能であり、例えば導電性カーボンブラック、カーボンナノチューブ（単層カーボンナノチューブ又は多層カーボンナノチューブ）、導電性金属フィラー等を採用可能である。特に、電極層 110 の導電性フィラーとしては、伸縮によっても通電性が維持されることを考慮すると、アスペクト比の大きいカーボンナノチューブを採用することが好ましい。

[0065] <当該可撓性シート 100 の製造方法>

当該可撓性シート 100 は種々の方法によって製造可能であるが、その一例を以下に示す。

[0066] まず、印刷やコーティング等の手法によってエラストマー製の誘電層形成材料を層状にして、このエラストマー製の誘電層形成材料を乾燥させてエラストマー製の誘電層 120 を形成する。なお、エラストマー製の誘電層 120 の形成は、押出し成形法等によって形成することも可能である。

[0067] エラストマー製の誘電層 120 の表面に、印刷やコーティング等の手段によって導電性フィラーが分散された電極層形成材料を積層し、この積層された電極層形成材料の表面に他のエラストマー製の誘電層 120 を積層し、この電極層形成材料を乾燥させることによって、三層構造の可撓性シート 100 が形成される。なお、導電性フィラーを電極層形成材料中で分散させる手法は、固層分散であっても液相分散であっても良い。

[0068] <利点>

当該アクチュエータ素子 10 は、図 4 に示すように、下側の可撓性シート 100 の電極層 110 の上面に、この可撓性シート 100 の上側のエラストマー製の誘電層 120 及び他方の可撓性シート 100 の下側のエラストマー製の誘電層 120 を介して、この他方の可撓性シート 100 の電極層 110 が積層された構造となる。このため、一对の可撓性シート 100 の電極層 110 に電圧を印加すると、エラストマー製の誘電層 120 が平面方向に伸長することによってエラストマー製の誘電層 120 が層厚方向に収縮する。このときの発生する静電力  $P$  は、次式で表される。

$$P = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times E^2$$

$$E = V / (T_1 + T_1)$$

ここで、 $\epsilon_0$ は自由空間の誘電率、 $\epsilon$ はエラストマー製の誘電層120の比誘電率、 $E$ は一对の電極層110間の電界強度であり、 $V$ は一对の電極層110間の電位差（印加電圧）、 $T_1$ はエラストマー製の誘電層120の平均厚みである。

[0069] 一方、印加している電圧をなくすと、エラストマー製の誘電層120が平面方向に収縮し、可撓性シート100が層厚方向に伸長する。つまり、エラストマー製の誘電層120が復元する。

[0070] このように、電圧無印加状態において伸長状態とし、電圧印加状態において収縮状態とすることができる。

[0071] 当該アクチュエータ1は、上記のように一对の可撓性シート100を交差して重ね合せ交互に蛇腹状に折り畳む簡易な構成であるため、容易に製造することが可能である。特に、電極層110を有する可撓性シート100が折り畳まれ、一つの電極層110によって複数の電極が構成されることとなるため、従来のアクチュエータ素子10のように電極ごとの配線が不要であり、配線構造が簡易である。

[0072] さらに、当該アクチュエータ1は、複数の可撓性シート100が重ねあわされた構造であり、板状部材間に隙間を有する従来のものに比べて、構造が容易であるとともに、電極層110間にエラストマー製の誘電層120が介在されるので電極層110間に作用する静電力が大きくなり、収縮力が大きい。

[0073] しかも、当該アクチュエータ1は、電極層110の表面側及び裏面側に一对のエラストマー製の誘電層120が積層された三層構造の可撓性シート100を用いるため、この可撓性シート100を蛇腹状に折り畳むことによって、一对の可撓性シート100の電極層110同士の間には可撓性シート100のエラストマー製の誘電層120が必ず介在し、容易に製造することができる。

[0074] また、当該アクチュエータ1は、一对の可撓性シート100が、略直角に

交差して重ねあわされているので、一对の可撓性シート100の重ね合わされる面積を大きくすることができ、エラストマー製の誘電層120が変形する領域が広くなり、収縮量及び収縮力が大きい。

[0075] <当該アクチュエータ、アクチュエータ素子及び可撓性シートの変形例（他実施形態）>

なお、本発明は上記実施形態の他、種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。

[0076] つまり、上記実施形態のアクチュエータは一つのアクチュエータを備えるものについて説明したが、複数のアクチュエータ素子10、10を備えることも適宜設計変更可能である。具体的には、図5に示すように、第一剛性部材20が、複数（図示例では2つ）のアクチュエータ素子10、10の一面側（上面側）に接合され、第二剛性部材30が、上記複数のアクチュエータ素子10、10の他面側（下面側）に接合されている構成を採用可能である。さらに、図6に示すように、互いに平行に配された第一剛性部材20、第二剛性部材30及び第三剛性部材50を有し、この第一剛性部材20と第二剛性部材30との間及び第一剛性部材20と第三剛性部材50との間のそれぞれにアクチュエータ素子10、10が配設された構成を採用することも可能である。

[0077] また、上記実施形態においては、一对のエラストマー製の誘電層120が同一幅のものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、一对のエラストマー製の誘電層120の幅が異なるものも本発明の意図する範囲内である。さらに、この場合にあっても、一对のエラストマー製の誘電層120の少なくとも一方が、電極層110よりも幅広に設けられ、電極層110よりも外側に延出した袖部121を有することが好ましい。具体的には、例えば図7に示すように、電極層110の一方の面のエラストマー製の誘電層120の幅が電極層110と同一幅で、電極層110の他方の面のエラストマー製の誘電層120の幅が電極層110よりも幅広で袖部121が形成された構成を採用することも可能である。なお、この可撓性シート1

00を製造する場合には、幅広のエラストマー製の誘電層120の表面に電極層110形成材料を積層し、この積層された電極層110形成材料を乾燥させて電極層110を形成し、次いで電極層110の表面にエラストマー製の誘電層120形成材料を積層し、この積層されたエラストマー製の誘電層120形成材料を乾燥させて同一幅のエラストマー製の誘電層120を形成する製造方法を採用することが可能である。

[0078] また、上記実施形態においては、一对のエラストマー製の誘電層120が同一厚みのものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、一对のエラストマー製の誘電層120の厚みが異なるものも本発明に係る可撓性シート100の意図する範囲内である。なお、この場合には、一对の上記誘電層120の平均厚みの合計は、 $20\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $40\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $60\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることが特に好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が薄くなり過ぎ、エラストマー製の誘電層120が絶縁破壊するおそれが生ずるとともに、アクチュエータ素子10の高さ（積層方向の長さ）を十分なものとするために当該可撓性シート100の積層数が多くなり過ぎ、製造コストの増大を招くおそれがある。一方、上記上限値を超えると、重ねあわせた際に電極同士の間が離間し過ぎ、静電容量が小さくなり、収縮力が小さくなるおそれがある。

[0079] さらに、上記実施形態においては、可撓性シート100が多層に積層された例について説明したが、本発明に係るアクチュエータ素子10にあつては、図8に示すように一对の可撓性シート100が一回折り返されて、交差して重ねあわせられ交互に蛇腹状に折り畳まれ、全体として四層の可撓性シート100を有するアクチュエータ素子10を採用することも可能である。

[0080] また、上記実施形態においては、可撓性シート100として三層構造のものについて説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、本発明に係るアクチュエータ素子10として、図8に示すように電極層110とエラストマー製の誘電層120との二層構造の可撓性シート100を用いることも

可能である。この図8のアクチュエータ素子10は、各可撓性シート100が一回折り返され、電極層110同士が接触しないように重ねあわせられ交互に蛇腹状に折り畳まれた構造を有している。但し、当該可撓性シートにおいては、電極層と、この電極層の表面側及び裏面側に積層される一対のエラストマー製の誘電層とを有する三層以上の構造であることが好ましく、これにより電極層同士の短絡を容易に防止でき、アクチュエータ素子の製造が容易となる。

[0081] さらに、当該可撓性シート100として四層以上の構造を有するものを採用することも可能である。具体的には、図9に示すように、電極層110、エラストマー製の誘電層120、電極層110、エラストマー製の誘電層120、電極層110がこの順で積層された五層構造の可撓性シート100を採用することも可能である。但し、当該可撓性シートは、最外層（最表面及び最裏面）にエラストマー製の誘電層が配設されることが好ましく、これにより電極層の短絡を的確に防止することができる。

[0082] また、上記実施形態においては、一対の可撓性シート100が同一構造を有するものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、既述の図9に示すように一対の可撓性シート100が異なる構造の可撓性シート100を用いることも適宜設計変更可能である。

[0083] さらに、上記実施形態では、可撓性シート100が、アクチュエータ素子10に用いられるアクチュエータ素子用可撓性シート100を例にとり説明したが、本発明に係る可撓性シート100はこれに限定されるものではない。つまり、本発明に係る可撓性シート100は、例えば後述する第二実施形態のように例えば発電素子等に用いることも可能である。

[0084] さらに、上記実施形態においては、一対の可撓性シート100を折り畳んだものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば二対の可撓性シートを折り畳んだアクチュエータ素子を採用することも可能であり、具体的には各可撓性シートを略45°で交差させて重ね合せ、交互に蛇腹状に折り畳んだアクチュエータ素子を採用することも可能である。

[0085] また、上記実施形態においては、一对の可撓性シート100として同一構成のものを用い、可撓性シート100の表裏一对のエラストマー製の誘電層120を有するものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、異なる構成の可撓性シートを採用したり、表裏のエラストマー製の誘電層が異なる構成の可撓性シートを用いたりすることも適宜設計変更可能である。但し、一对の可撓性シートの最外面が同一素材で且つ自己粘着性を有する層から構成されることが好ましく、これにより接着剤を用いることなく積層構造のアクチュエータ素子の形態が維持されやすい。

### 実施例 1

[0086] 以下、実施例によって当該発明をさらに具体的に説明するが、当該発明は以下の実施例に限定されるものではない。

[0087] [実施例]

実施例の可撓性シートは、平均厚み10 $\mu$ mの電極層110と、この電極層110の表裏面に積層された平均厚み45 $\mu$ mのエラストマー製の誘電層との三層構造のシートを用いた。

[0088] 上記誘電層は、商品名エスプレン（住友化学株式会社製）100質量部に、可塑剤を30質量部添加し、さらに誘電性フィラーとして平均粒径0.5 $\mu$ mのチタン酸バリウムを全体の体積に対して25容量%となるよう添加した形成材料によって形成した。また、上記電極層は、商品名エスプレン（住友化学株式会社製）100質量部に、可塑剤を30質量部添加し、さらに導電性フィラーとしてカーボンナノチューブを全体の体積に対して2.8容量%となるよう添加した形成材料によって形成した。なお、エラストマー製の誘電層及び電極層はそれぞれ架橋して使用している。

[0089] 上記誘電層の比誘電率は、6.5であった。

[0090] 上記誘電層を、JIS-K6253に準拠して、タイプAデュロメータを用いて、20°Cにおいて測定したところ（n=3で測定しその平均値を算出）、硬度（デュロA）は6度であった。また、上記誘電層を、JIS-K7312「タイプC硬さ試験」に準拠して、タイプCデュロメータを用いて、



20℃において測定したところ硬度（デュロC）が32度であった。

[0091] また、この可撓性シートについて、10%伸長した際の伸長モジュラス（M10）を測定すると0.01MPaであり、50%伸長した際の伸長モジュラス（M50）を測定すると0.07MPaであり、100%伸長した際の伸長モジュラス（M100）を測定すると0.12MPaであり、400%伸長した際の伸長モジュラス（M400）を測定すると0.49MPaであった。なお、この伸長モジュラスの測定は、JIS-K7312に準じて、ダンベル型試験片（JIS3号）を用いた。

[0092] 上記可撓性シートについて、JIS-K6323の「8.2引張試験」に準拠して、引張強さを測定したところ、2.2MPaであった。また、上記可撓性シートについて、JIS-K6732に準拠して、破断時伸びを測定したところ、1079%であった。

[0093] 上記可撓性シートについて、JIS-K-6254のA法に準拠して圧縮弾性率を求めたところ、0.5MPaであった。具体的には、厚さ12.5±0.5mm、直径29.0±0.5mmの試験片が25%の歪みに達するまで10±1mm/minの速度で圧縮し、直ちに同速度で除荷し、この操作を更に3回繰り返し、歪みと力を記録し、4回目の曲線から10%、20%の圧縮力を求め、圧縮弾性率を式に従い算出した。

[0094] 上記可撓性シートについて、JIS-C2110-1,2に準拠して、絶縁破壊強さ（DC）を測定したところ、37.4kV/mmであった。ここで、昇圧方法、短時間試験、電極形状は、Φ20mm球形／Φ25mm平板、試験厚み1mm以下とした。

[0095] 一対の上記可撓性シートを交差して重ねあわせ交互に蛇腹状に折り畳んでアクチュエータ素子を製造した。ここで、各可撓性シートの折り返し回数をそれぞれ7回とし、各可撓性シート100が8層、合計16層積層されたアクチュエータ素子10を製造した。

[0096] 上記アクチュエータ素子の電極層に電圧を印加して、収縮量を測定した結果を図10に示す。ここで、電源として松定プレジジョン株式会社製の直流

高压電源を用い、収縮量の測定にオムロン株式会社製のレーザー変位計を用い、データ記憶のためにキーエンス株式会社製のデータロガーNR-500を用いた。

[0097] 図10から明らかなように、当該アクチュエータ素子は、電圧印加によって収縮するとともに、電圧の印加をやめると復元力によって伸長することができる。

[0098] [第二実施形態]

まず、本発明に係る圧電素子の第二実施形態として、図11から図13に示す発電デバイス201に用いられる発電素子210を例にとり説明する。

[0099] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参酌しつつ説明する。

[0100] <発電デバイス201>

図11の発電デバイス201は、上記第一実施形態と同様の構成からなる発電素子用の可撓性シート100を有する発電素子210と、発電素子210の一面側に接合される第一剛性部材220と、発電素子210の他面側に接合される第二剛性部材230とを備える。図示例では、第一剛性部材220と第二剛性部材230とは板状の部材から構成され、この第一剛性部材220と第二剛性部材230との間に収縮可能な発電素子210が介在されている。

[0101] 上記発電素子210は、図12に示すように電極層110及びエラストマー製の誘電層120を有する複数の可撓性シート100を有しており、この電極層110は可撓性シート100の端部から突設された接続部111を有している。そして、当該発電デバイス201は、図11に示すように電極層110に電氣的に接続される制御回路240を有している。また、当該発電デバイス201は、制御回路240にバイアス電圧を印加するためのバイアス電圧回路250を有している。上記電極層110は、制御回路240を介してバイアス電圧が印加されるとともに、発電素子210で発電された電力は上記制御回路240を介して取り出される。

[0102] <発電素子210>

当該発電素子210は、複数の帯状の可撓性シート100が電極層110、110同士の間にはエラストマー製の誘電層120が配設されるよう折り畳まれている。具体的には、図11及び図12に示すように、一对の可撓性シート100が、略直角に交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている。この一对の可撓性シート100は、同一構成のものを使用している。

[0103] また、一对の可撓性シート100は、10層以上1000層以下で重畳されていることが好ましく30層以上1000層以下で重畳されていることがより好ましく、50層以上100層以下で重畳されていることがさらに好ましい。上記下限値未満であると、圧縮時に可撓性シート100が平面方向に伸長しにくく、十分な発電量が得られないおそれがある。上記上限値を超えると、可撓性シート100の長さが長くなり過ぎ、可撓性シート100に欠陥を生ずるおそれがあり、この欠陥によって絶縁破壊が生ずるおそれがある。

[0104] <可撓性シート100>

当該発電素子210においては、可撓性シート100として上述のように第一実施形態と同様のものが用いられる。つまり、当該可撓性シート100としては、図3に示すように、伸縮性を有する電極層110と、この電極層110の表面側及び裏面側に積層される一对のエラストマー製の誘電層120とを備えている。表裏一对のエラストマー製の誘電層120は同一構成を有するものが用いられる。

[0105] 当該発電素子210における可撓性シート100も、平均厚みが20 $\mu$ m以上200 $\mu$ m以下であることが好ましく、40 $\mu$ m以上140 $\mu$ m以下であることがより好ましい。また、当該可撓性シート100の幅（短手方向の長さ）は、用いられる発電デバイス201の用途等に応じて適宜設計変更可能であり、例えば1cmとすることが可能である。さらに、当該可撓性シート100の長さ（長手方向の長さ）は、重畳する回数やシートの幅等により適宜設計変更可能であるが、例えば80cmとすることが可能である。

- [0106] 当該発電素子210においても、上記誘電層120は、弾性変形可能な層であり、このエラストマー製の誘電層120の素材は第一実施形態と同様であるので、その詳細な説明を省略する。
- [0107] 上記誘電層120は、他のエラストマー製の誘電層120と略同一厚みで形成されている。なお、略同一厚みとは、一方のエラストマー製の誘電層120の平均厚みに対する他方のエラストマー製の誘電層120の平均厚みの比が0.95以上1.05以下であることを意味する。
- [0108] このエラストマー製の誘電層120（一層）の平均厚み（T1）は、10 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であることが好ましく、20 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下であることがより好ましく、30 $\mu$ m以上50 $\mu$ m以下であることが特に好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が薄くなり過ぎ、エラストマー製の誘電層120が絶縁破壊するおそれが生ずるとともに、発電素子210の高さ（積層厚方向の長さ）を十分なものとするために当該可撓性シート100の積層数が多くなり過ぎ、製造コストの増大を招くおそれがある。一方、上記上限値を超えると、重ねあわせて発電デバイス201として利用した際に電極同士の間が離間し過ぎ、静電容量が小さくなり、発電量が小さくなるおそれがある。
- [0109] また、エラストマー製の誘電層120は、圧縮弾性率が、0.1MPa以上1.5MPa以下であることが好ましく、0.3MPa以上0.7MPa以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が軟らかすぎ、圧縮変形ひずみが大きくなり過ぎるおそれがある。一方、上記上限値を超えると、エラストマー製の誘電層120が硬すぎ、層厚方向に圧縮し難いおそれがある。上記圧縮弾性率は、JIS-K6254の低変形圧縮試験に準拠して、10%歪を与えた場合の圧縮弾性率である。
- [0110] さらに、エラストマー製の誘電層120の比誘電率は、2以上9以下が好ましく、3以上8以下がより好ましく、4以上7以下がさらに好ましい。上記下限値未満であると、静電容量が小さくなり、発電デバイス201として

利用した際に十分な発電量が得られないおそれがある。一方、比誘電率が上記上限値を超えると、誘電性フィラーを大量に添加する必要がありエラストマー製の誘電層が硬くなり変形しにくくなる。

[0111] また、エラストマー製の誘電層120は他のエラストマー製の誘電層120と略同一幅で形成されている。なお、略同一幅とは、一方のエラストマー製の誘電層120の幅に対する他方のエラストマー製の誘電層120の幅の比が0.95以上1.05以下であることを意味する。このエラストマー製の誘電層120の幅(W1)は、用いられる発電デバイス201の用途等に応じて適宜設計変更可能であり、例えば1cmとすることが可能である。

[0112] 上記電極層110は、上記誘電層120の伸縮に追従可能な伸縮性を有するエラストマー製の導電層から構成することが好ましい。このエラストマー製の導電層は、エラストマーに導電性フィラーが含有されている。ここで、導電層のエラストマーとしては、エラストマー製の誘電層120と接着可能なものが好適に用いられ、例えばエラストマー製の誘電層120と同様の素材のものをを用いることが可能である。

[0113] また、電極層110はエラストマー製の誘電層120よりも薄く設けられ、電極層110の平均厚み(T2)は、エラストマー製の誘電層120(一層)の平均厚み(T1)の $1/30$ 以上 $1/10$ 以下であることが好ましく、 $1/20$ 以上 $1/15$ 以下であることがより好ましい。上記上限値を超えると、発電素子210における電極層110の割合(層厚)が大きくなり、エラストマー製の誘電層120の割合が小さくなるので、発電素子210の発電量が十分得られないおそれがある。一方、上記下限値未満であると、エラストマー製の導電層が薄くなり過ぎ、電極層110の抵抗値が大きくなるおそれがある。

[0114] また、電極層110の平均厚み(T2)は、50nm以上50 $\mu$ m以下であることが好ましく、1 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下であることがより好ましい。上記上限値を超えると、発電素子210における電極層110の割合(層厚)が大きくなり、エラストマー製の誘電層120の割合が小さくなるので、

発電素子210の発電量が十分得られないおそれがある。一方、上記下限値未満であると、エラストマー製の導電層が薄くなり過ぎ、電極層110の抵抗値が大きくなるおそれがある。

[0115] さらに、電極層110は、圧縮弾性率が、0.1MPa以上1.5MPa以下であることが好ましく、0.3MPa以上0.7MPa以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると、電極層110が軟らかすぎ、圧縮変形ひずみが大きくなり過ぎるおそれがある。一方、上記上限値を超えると、電極層110が硬すぎ、エラストマー製の誘電層120に追従できなくなるおそれがある。

[0116] また、電極層110は、エラストマー製の誘電層120よりも幅狭に形成されている。つまり、エラストマー製の誘電層120は、電極層110よりも外側に延出した袖部121を有しており、電極層110の端面での短絡等を防止している。ここで、この袖部121の幅 ( $W3 = (W1 - W2) / 2$ ) は、電極層110の平均厚み (T2) に対して5倍以上100倍以下であることが好ましく、10倍以上50倍以下であることがより好ましい。また、袖部121の幅は、エラストマー製の誘電層120の幅 (W1) に対して1/100倍以上1/20倍以下であることが好ましく、1/50倍以上1/30倍以下であることがより好ましい。上記下限値未満であると短絡防止効果が十分に得られないおそれがある。一方、上記上限値を超えると、電極層110の幅が狭くなり、平面視電極が重なっている領域の面積が狭くなり、十分な収縮力が得られないおそれがある。

[0117] さらに、電極層110は、可撓性シート100の両端部において、エラストマー製の誘電層120よりも突出した上記接続部111を有し、当該発電素子210は、この接続部111を介して他の部材 (制御回路240) と電気的に接続されている。なお、この両端部の接続部111が発電素子210の同一の側 (図1では右側) となるよう、可撓性シート100は奇数回折り返されていることが好ましい。

[0118] さらに、上記電極層110の導電性フィラーとしては、種々のものが採用

可能であり、この導電性フィラーとしては第一実施形態で説明したものと同様のものが採用可能であるため、その詳細な説明は省略する。

[0119] <利点>

当該発電素子210は、図13に示すように、下側から説明すると、一方の可撓性シート100の電極層110の上面に、この一方の可撓性シート100の上側のエラストマー製の誘電層120及び他方の可撓性シート100の下側のエラストマー製の誘電層120を介して、この他方の可撓性シート100の電極層110が積層された構造となる。そして、この他方の可撓性シート100の電極層110の上面に、この他方の可撓性シート100の上側のエラストマー製の誘電層120、及び折り返された上記一方の可撓性シート100の下側のエラストマー製の誘電層120を介して、この一方の可撓性シート100の電極層110が積層された構造となる。さらに、この折り返された一方の可撓性シート100の電極層110の上面に、この一方の可撓性シート100の上側のエラストマー製の誘電層120、及び折り返された上記他方の可撓性シート100の下側のエラストマー製の誘電層120を介して、この他方の可撓性シート100の電極層110が積層された構造となる。このため、当該発電素子210にあっては、一对の可撓性シート100の電極層110間にバイアス電圧を印加するとともに、可撓性シート100の積層部分（重ねあわされた部分）に負荷をかけて（押圧して）層厚方向に圧縮する。そして、積層部分にかけられた上記負荷を解除することによって、可撓性シート100（のエラストマー製の誘電層120及び電極層110）の弾性復元力によって復元、つまり層厚方向に伸長する。この圧縮及び伸長に際して電極層間の距離が変更され、静電容量の変化が生じるので、この静電容量の変化を利用して発電することが可能となる。

[0120] この一の電極層110と、この一の電極層110にエラストマー製の誘電層120を挟んで対向する一の電極層110との間に生ずる電力量 $\Delta J$ は、以下の式（7）で表される。

$$\Delta J = (1/2) \times \Delta C_1 \times V_1^2 \times (\Delta C_1 / \Delta C_2 - 1) \cdots \text{式 (7)}$$

ここで、 $\Delta C 1$  は伸長状態での静電容量で、 $\Delta C 2$  は圧縮状態での静電容量、 $V 1$  は圧縮状態で与えられるバイアス電圧である。

[0121] また、各静電容量 $\Delta C 1$ 、 $\Delta C 2$ は、以下の式(8)及び式(9)で表される。

$$\Delta C 1 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A 1 / 2 T 1 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times b 1 / 4 T 1^2 \dots \text{式(8)}$$

$$\Delta C 2 = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A 2 / 2 T 1' = \varepsilon_0 \times \varepsilon \times b 2 / 4 T 1'^2 \dots \text{式(9)}$$

ここで、 $\varepsilon_0$ は自由空間の誘電率、 $\varepsilon$ はエラストマー製の誘電層の比誘電率である。 $A 1$ は伸長状態での電極面積、 $T 1$ は伸長状態でのエラストマー製の誘電層120の厚み、 $b 1$ は伸長状態での電極間の体積であり、 $b 1 = A 1 \times 2 T 1$ である。また、 $A 2$ は圧縮状態での電極面積、 $T 1'$ は圧縮状態での電極間の距離(エラストマー製の誘電層の厚み)、 $b 2$ は圧縮状態での電極間の体積(エラストマー製の誘電層の体積)であり、 $b 2 = A 2 \times 2 T 1'$ である。

[0122] 圧縮状態の体積と収縮状態の体積とが一定( $b 1 = b 2$ )であると仮定すると、各静電容量 $\Delta C 1$ 、 $\Delta C 2$ は、以下の式(10)を満たす。

$$\Delta C 1 / \Delta C 2 = T 1'^2 / T 1^2 \dots \text{式(10)}$$

[0123] この式(10)及び式(8)によって式(7)は以下の式(11)のように書き直すことができる。

$$\Delta J = (1/2) \times \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A 1 / 2 T 1 \times V 1^2 \times (T 1'^2 / T 1^2 - 1) \dots \text{式(11)}$$

[0124] このため、可撓性シートの積層数(重ねあわせ数)を $X$ とすると、当該発電素子の発電量 $J$ は、式(12)で表される。

$$J = (1/2) \times \varepsilon_0 \times \varepsilon \times A 1 / 2 T 1 \times V 1^2 \times (T 1'^2 / T 1^2 - 1) \times (X - 1) \dots \text{式(12)}$$

[0125] このように当該発電素子210は可撓性シート100の積層数に比例した発電量を得られる可能性があり、従来の発電素子に比べて発電量が大きい。

[0126] また、当該発電素子210は、上述のように可撓性シート100の積層部



分を圧縮・伸長することによって発電するものであるので、従来の伸長・収縮によって発電するものとは異なり、可撓性シート100を把持する必要性がなく、可撓性シート100が劣化し難い。また、従来の伸長・収縮させる発電デバイスと比較して、圧縮時における電極層120間の距離が平面方向で一定になり易く、絶縁破壊が起こりにくい。

[0127] さらに、当該発電素子210は、上記のように複数の可撓性シート100を交差して重ねあわせ交互に蛇腹状に折り畳む簡易な構成であるため、容易に製造することが可能である。特に、電極層110を有する可撓性シート100が折り畳まれ、一つの電極層110によって複数の電極が構成されることになるため、電極ごとの配線が不要であり、配線構造が簡易である。

[0128] しかも、当該発電デバイス201は、電極層110の表面側及び裏面側に一对のエラストマー製の誘電層120が積層された三層構造の可撓性シート100を用いるため、この可撓性シート100を蛇腹状に折り畳むことによって、一对の可撓性シート100の電極層110同士の間には可撓性シート100のエラストマー製の誘電層120が必ず介在し、容易に製造することができる。

[0129] また、当該発電デバイス201は、一对の可撓性シート100が、略直角に交差して重ねあわされているので、一对の可撓性シート100の重ねあわされる面積を大きくすることができ、発電量が大きい。そして、従来の単層又は数層を積層した膜の伸長により発電する方式に比べ、装置容積を大幅に小さくできる。

[0130] <当該発電デバイス及び発電素子の変形例（他実施形態）>

なお、本発明は上記実施形態の他、種々の変更、改良を施した形態で実施することができる。

[0131] つまり、上記第二実施形態の発電デバイス201は一つの発電素子210を備えるものについて説明したが、第一実施形態のアクチュエータと同様に、複数の発電素子210、210を備えることも適宜設計変更可能である。具体的には、図14に示すように、第一剛性部材220が、複数（図示例で

は2つ)の発電素子210, 210の一面側(上面側)に接合され、第二剛性部材230が、上記複数の発電素子210, 210の他面側(下面側)に接合されている構成を採用可能である。さらに、図15に示すように、互いに平行に配された第一剛性部材220、第二剛性部材230及び第三剛性部材260を有し、この第一剛性部材220と第二剛性部材230との間及び第一剛性部材220と第三剛性部材260との間のそれぞれに発電素子210, 210が配設された構成を採用することも可能である。

[0132] また、上記第二実施形態においては、一对のエラストマー製の誘電層120が同一幅のものについて説明したが、既述のように本発明はこれに限定されるものではなく、当該発電素子210においても例えば図7に示すような可撓性シートを用いることも可能である。

[0133] また、上記第二実施形態においては、一对のエラストマー製の誘電層120が同一厚みのものについて説明したが、既述のように本発明はこれに限定されるものではない。また、一对の上記誘電層120の平均厚みの合計も上記第一実施形態と同様の範囲内とすることが可能である。つまり、エラストマー製の誘電層120の平均厚みの合計は、 $20\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $40\mu\text{m}$ 以上 $140\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $60\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることが特に好ましい。上記下限値未満であると、エラストマー製の誘電層120が薄くなり過ぎ、エラストマー製の誘電層120が絶縁破壊するおそれが生ずるとともに、発電素子210の高さ(積層方向の長さ)を十分なものとするために当該可撓性シート100の積層数が多くなり過ぎ、製造コストの増大を招くおそれがある。一方、上記上限値を超えると、重ねあわせた際に電極同士の間が離間し過ぎ、静電容量が小さくなり、発電量が小さくなるおそれがある。

[0134] さらに、上記第二実施形態においては、可撓性シート100が多層に積層された例について説明したが、本発明に係る発電素子210にあつては、図8に示すように一对の可撓性シート100が一回折り返されて、交差して重ねあわせられ交互に蛇腹状に折り畳まれ、全体として四層の可撓性シート100

0を有する発電素子210を採用することも可能である。

[0135] また、上記第二実施形態においては、可撓性シート100として三層構造のものについて説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、本発明に係る発電素子として、既述の図8に示すように電極層110とエラストマー製の誘電層120との二層構造の可撓性シート100を用いることも可能である。また、上記第二実施形態においては、一对の可撓性シート100が同一構造を有するものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、第一実施形態と同様に既述の図9に示すように一对の可撓性シート100が異なる構造の可撓性シート100を用いることも適宜設計変更可能である。

[0136] さらに、上記第二実施形態においては、一对の可撓性シート100を折り畳んだものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば二対の可撓性シートを折り畳んだ発電素子を採用することも可能であり、具体的には各可撓性シートを略45°で交差させて重ねあわせ、交互に蛇腹状に折り畳んだ発電素子を採用することも可能である。

[0137] また、上記第二実施形態においては、一对の可撓性シート100として同一構成のものを用い、可撓性シート100の表裏一对のエラストマー製の誘電層120を有するものについて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、異なる構成の可撓性シートを採用したり、表裏のエラストマー製の誘電層が異なる構成の可撓性シートを用いたりすることも適宜設計変更可能である。但し、一对の可撓性シートの最外面が同一素材で且つ自己粘着性を有する層から構成されることが好ましく、これにより接着剤を用いることなく積層構造の発電素子の形態が維持されやすい。

## 実施例 2

[0138] 以下、実施例によって当該発明をさらに具体的に説明するが、当該発明は以下の実施例に限定されるものではない。

[0139] [実施例2]

実施例の可撓性シートは、平均厚み10 $\mu$ mの電極層110と、この電極

層 1 1 0 の表裏面に積層された平均厚み 4 5  $\mu\text{m}$  のエラストマー製の誘電層との三層構造のシートを用いた。

[0140] 上記誘電層は、商品名エスプレン（住友化学株式会社製）100質量部に、可塑剤を30質量部添加し、さらに誘電性フィラーとして平均粒径0.5  $\mu\text{m}$  のチタン酸バリウムを全体の体積に対して25容量%となるよう添加した形成材料によって形成した。また、上記電極層は、商品名エスプレン（住友化学株式会社製）100質量部に、可塑剤を30質量部添加し、さらに導電性フィラーとしてカーボンナノチューブを全体の体積に対して2.8容量%となるよう添加した形成材料によって形成した。なお、エラストマー製の誘電層及び電極層はそれぞれ架橋して使用している。

[0141] 上記誘電層の比誘電率は、6.5であった。

[0142] 上記誘電層を、JIS-K6253に準拠して、タイプAデュロメータを用いて、20°Cにおいて測定したところ（ $n=3$ で測定しその平均値を算出）、硬度（デュロA）は6度であった。また、上記誘電層を、JIS-K7312「タイプC硬さ試験」に準拠して、タイプCデュロメータを用いて、20°Cにおいて測定したところ硬度（デュロC）が32度であった。

[0143] また、この可撓性シートについて、10%伸長した際の伸長モジュラス（M10）を測定すると0.01MPaであり、50%伸長した際の伸長モジュラス（M50）を測定すると0.07MPaであり、100%伸長した際の伸長モジュラス（M100）を測定すると0.12MPaであり、400%伸長した際の伸長モジュラス（M400）を測定すると0.49MPaであった。なお、この伸長モジュラスの測定は、JIS-K7312に準じて、ダンベル型試験片（JIS3号）を用いた。

[0144] 上記可撓性シートについて、JIS-K6323の「8.2引張試験」に準拠して、引張強さを測定したところ、2.2MPaであった。また、上記可撓性シートについて、JIS-K6732に準拠して、破断時伸びを測定したところ、1079%であった。

[0145] 上記可撓性シートについて、JIS-K-6254のA法に準拠して圧縮

弾性率を求めたところ、 $0.5\text{ MPa}$ であった。具体的には、厚さ $12.5 \pm 0.5\text{ mm}$ 、直径 $29.0 \pm 0.5\text{ mm}$ の試験片が $25\%$ の歪みに達するまで $10 \pm 1\text{ mm/min}$ の速度で圧縮し、直ちに同速度で除荷し、この操作を更に3回繰り返す、歪みと力を記録し、4回目の曲線から $10\%$ 、 $20\%$ の圧縮力を求め、圧縮弾性率を式に従い算出した。

[0146] 上記可撓性シートについて、 $\text{JIS-C2110-1,2}$ に準拠して、絶縁破壊強さ(DC)を測定したところ、 $37.4\text{ kV/mm}$ であった。ここで、昇圧方法、短時間試験、電極形状は、 $\Phi 20\text{ mm}$ 球形/ $\Phi 25\text{ mm}$ 平板、試験厚み $1\text{ mm}$ 以下とした。

[0147] 一対の上記可撓性シートを交差して重ねあわせ交互に蛇腹状に折り畳んで発電素子を製造した。ここで、各可撓性シートの折り返し回数をそれぞれ7回とし、各可撓性シート100が8層、合計16層積層された発電素子210を製造した。

[0148] 上記発電素子にバイアス電圧を印加した状態で発電素子の積層部分を圧縮した。バイアス電圧及び圧縮率を変更して発生エネルギーを測定した結果を図16に示す。

[0149] 図16から明らかなように、当該発電素子は、積層部分の圧縮によって効果的に発電されている。

### 産業上の利用可能性

[0150] 本発明の圧電素子はアクチュエータ素子や発電素子として用いることができ、例えば電圧印加によって収縮状態が得られるので、アクチュエータとして人工筋肉等の幅広い分野に適用することができ、また、積層部分を圧縮することによって発電されるので、発電素子として運動エネルギーを電力に変換する幅広い分野に適用することができる。

### 符号の説明

- [0151] 1 アクチュエータ  
10 アクチュエータ素子  
20 第一剛性部材

- 30 第二剛性部材
- 40 制御回路
- 100 可撓性シート
- 110 電極層
- 111 接続部
- 120 エラストマー製の誘電層
- 121 袖部
- 201 発電デバイス
- 210 発電素子
- 220 第一剛性部材
- 230 第二剛性部材
- 240 制御回路
- 250 バイアス電圧回路

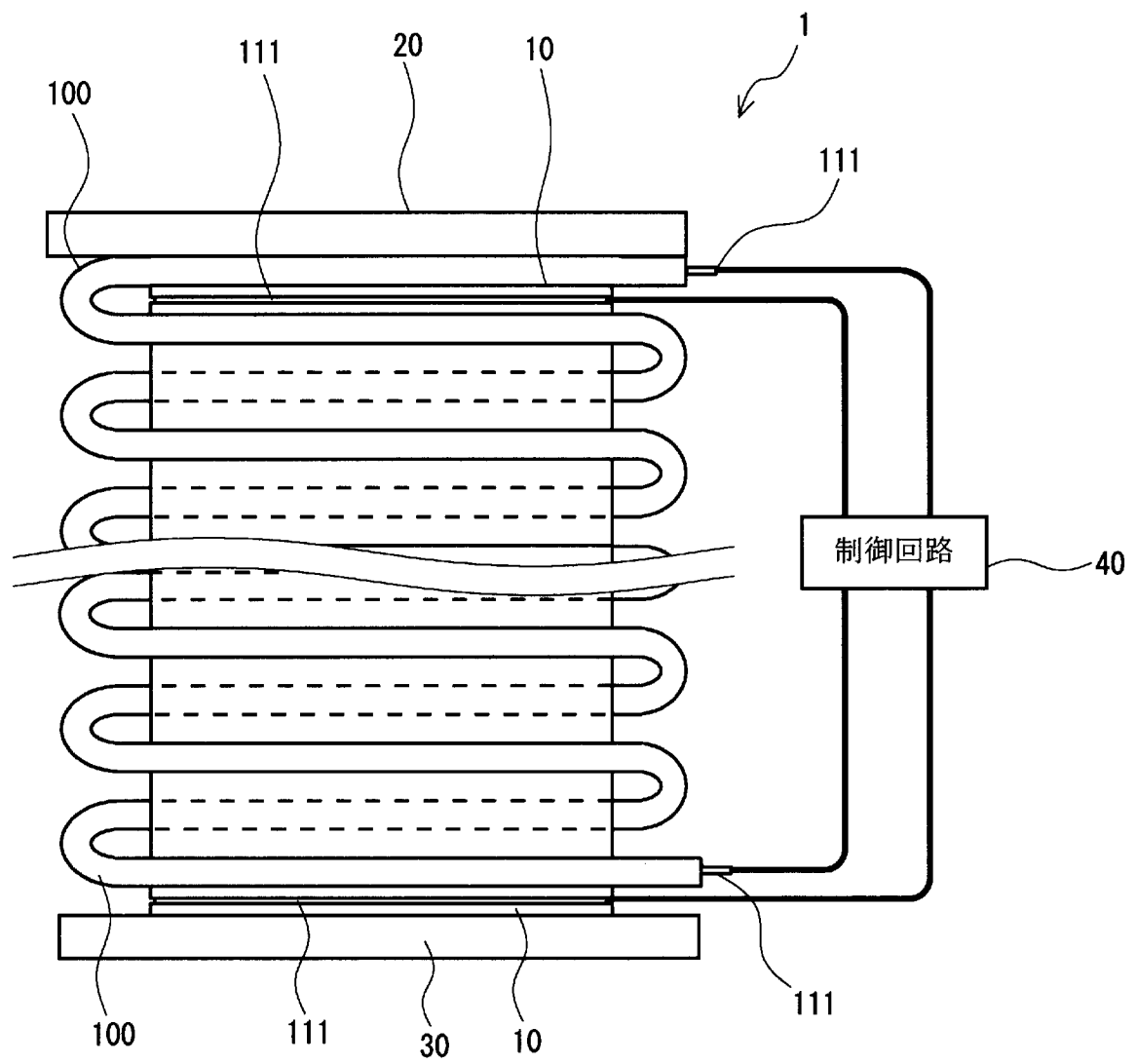
## 請求の範囲

- [請求項1] エラストマー製の誘電層と、上記誘電層に積層され、かつ、伸縮性を有する電極層とを有する複数の帯状の可撓性シートを備え、  
複数の可撓性シートが、交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている圧電素子。
- [請求項2] 請求項1に記載の圧電素子を有するアクチュエータ素子。
- [請求項3] 上記複数の可撓性シートのうち少なくとも一つの可撓性シートが、上記電極層の表面側及び裏面側に積層される一対の上記誘電層を備える請求項2に記載のアクチュエータ素子。
- [請求項4] 一対の上記可撓性シートが、略直角に交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている請求項2に記載のアクチュエータ素子。
- [請求項5] 上記一対の可撓性シートが10層以上10000層以下で重畳されている請求項2に記載のアクチュエータ素子。
- [請求項6] 上記誘電層の平均厚みが $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である請求項2に記載のアクチュエータ素子。
- [請求項7] 上記電極層の平均厚みが、上記誘電層の平均厚みの $1/10$ 以下である請求項2に記載のアクチュエータ素子。
- [請求項8] 請求項2に記載のアクチュエータ素子と、  
上記アクチュエータ素子の一面側に接合される第一剛性部材と、  
上記アクチュエータ素子の他面側に接合される第二剛性部材とを備える  
アクチュエータ。
- [請求項9] 複数の上記アクチュエータ素子を備え、  
上記第一剛性部材が、上記複数のアクチュエータ素子の一面側に接合され、  
上記第二剛性部材が、上記複数のアクチュエータ素子の他面側に接合されている  
請求項8に記載のアクチュエータ。

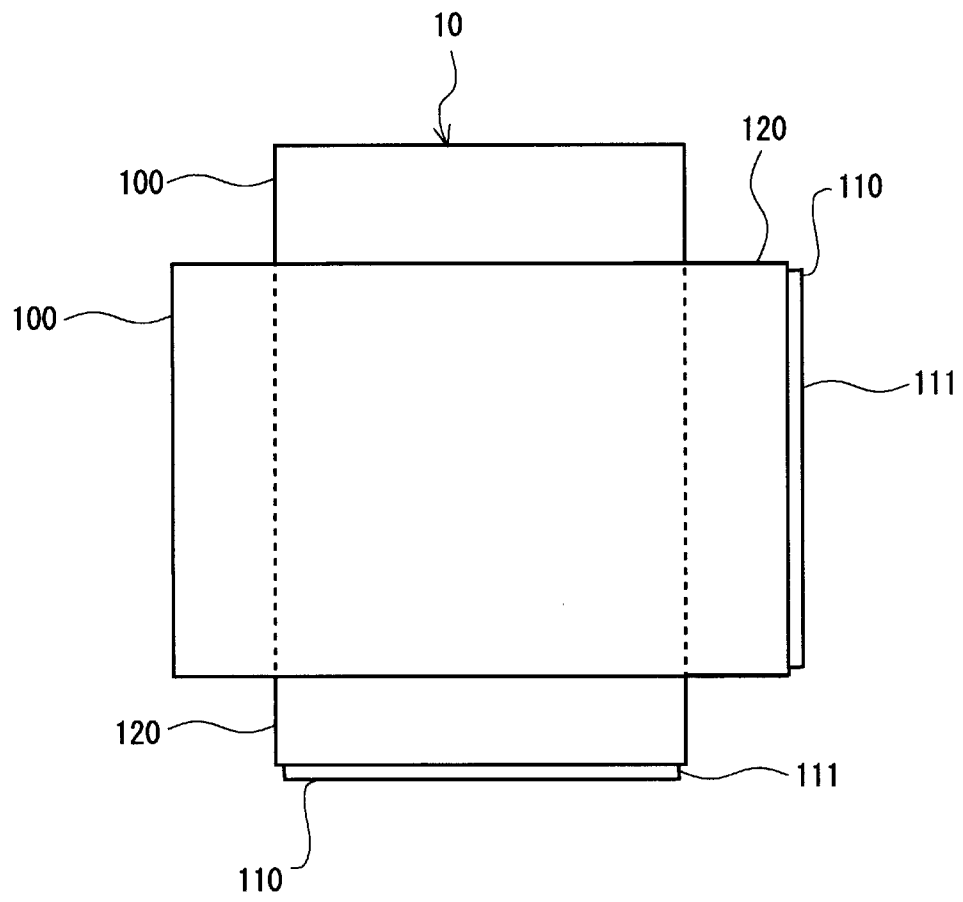
- [請求項10] 請求項1に記載の圧電素子を有する発電素子。
- [請求項11] 一对の上記可撓性シートが、略直角に交差して重ねあわせられ、交互に蛇腹状に折り畳まれている請求項10に記載の発電素子。
- [請求項12] 上記一对の可撓性シートの少なくとも一方の可撓性シートが、電極層の表面側及び裏面側に積層される一对の上記誘電層を備える請求項10に記載の発電素子。
- [請求項13] 上記誘電層の平均厚みが $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である請求項10に記載の発電素子。
- [請求項14] 上記電極層の平均厚みが、上記誘電層の平均厚みの $1/10$ 以下である請求項10に記載の発電素子。
- [請求項15] 上記一对の可撓性シートが10層以上10000層以下で重畳されている請求項10に記載の発電素子。
- [請求項16] 請求項10に記載の発電素子と、  
上記発電素子の一面側に接合される第一剛性部材と、  
上記発電素子の他面側に接合される第二剛性部材と  
を備える  
発電デバイス。
- [請求項17] 複数の上記発電素子を備え、  
上記第一剛性部材が、上記複数の発電素子の一面側に接合され、  
上記第二剛性部材が、上記複数の発電素子の他面側に接合されてい  
る  
請求項16に記載の発電デバイス。
- [請求項18] 帯状の可撓性シートであって、  
伸縮性を有する電極層と、  
この電極層の表面側及び裏面側に積層される一对のエラストマー製の誘電層と  
を備えることを特徴とする可撓性シート。



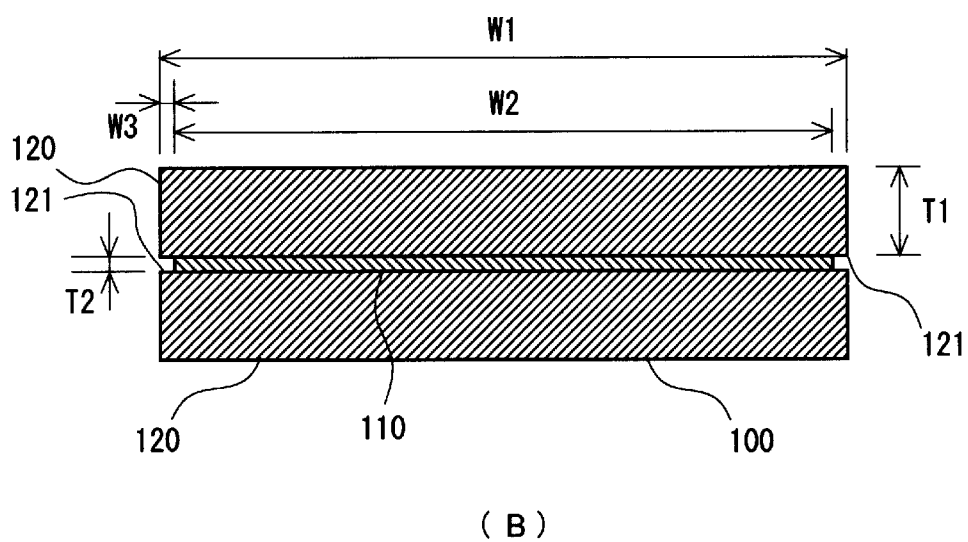
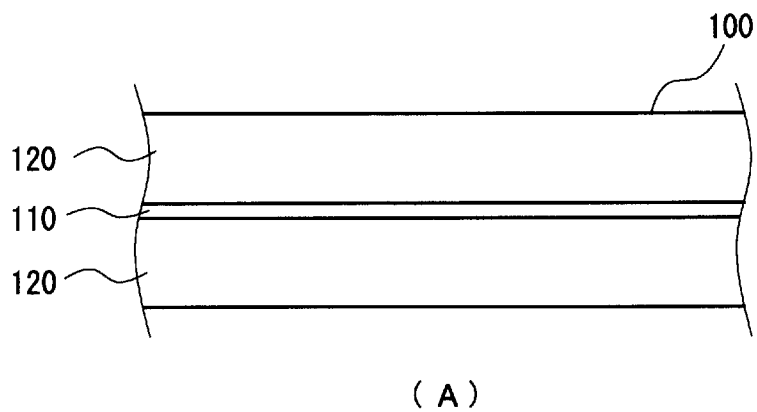
[図1]



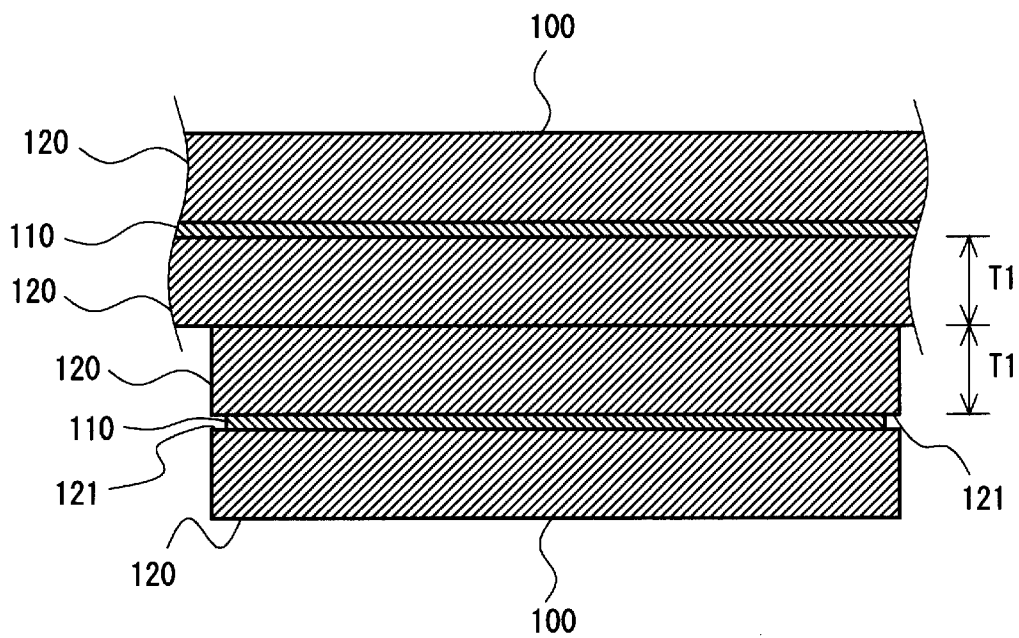
[図2]



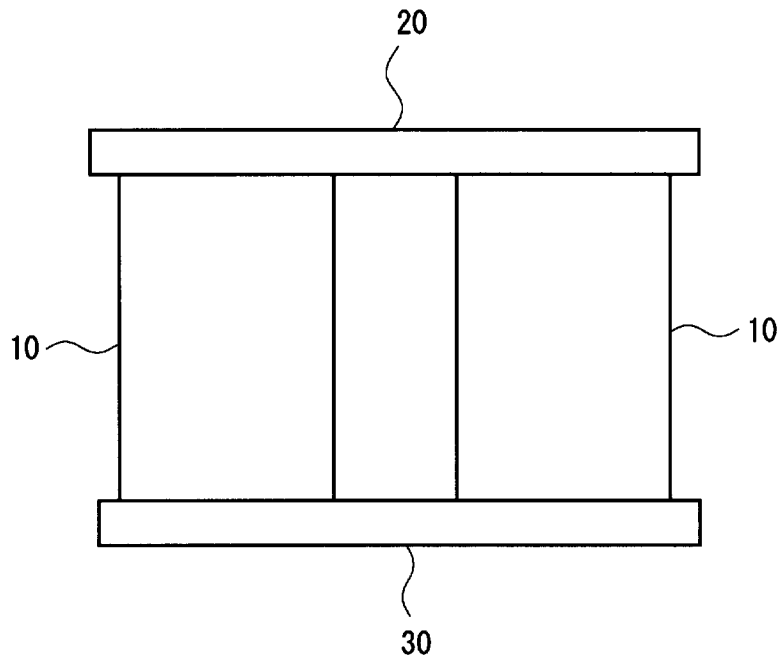
[図3]



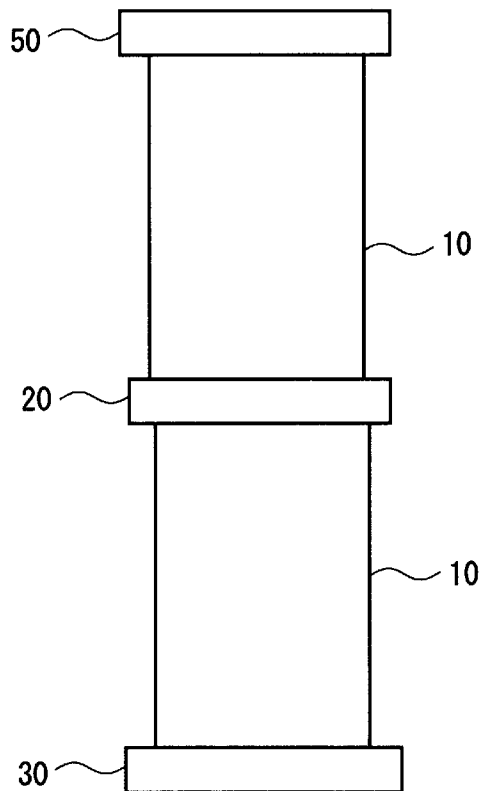
[図4]



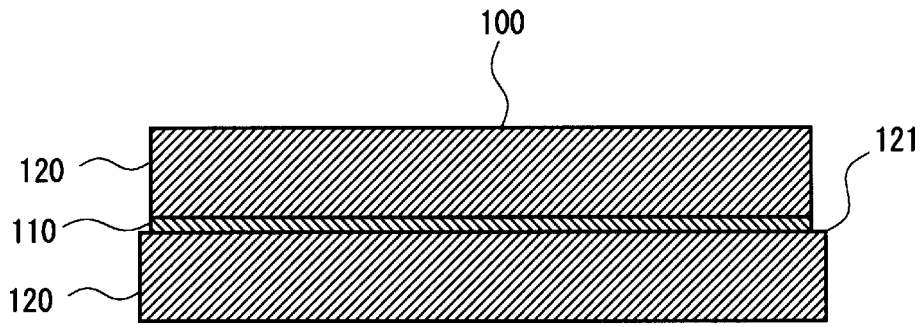
[図5]



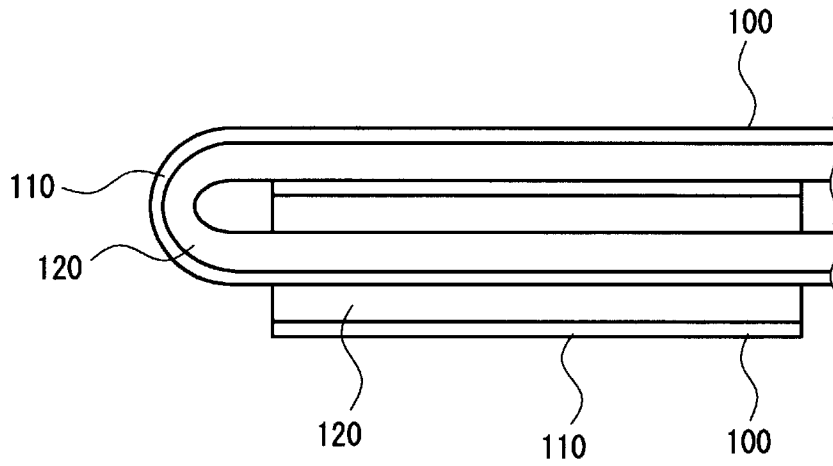
[図6]



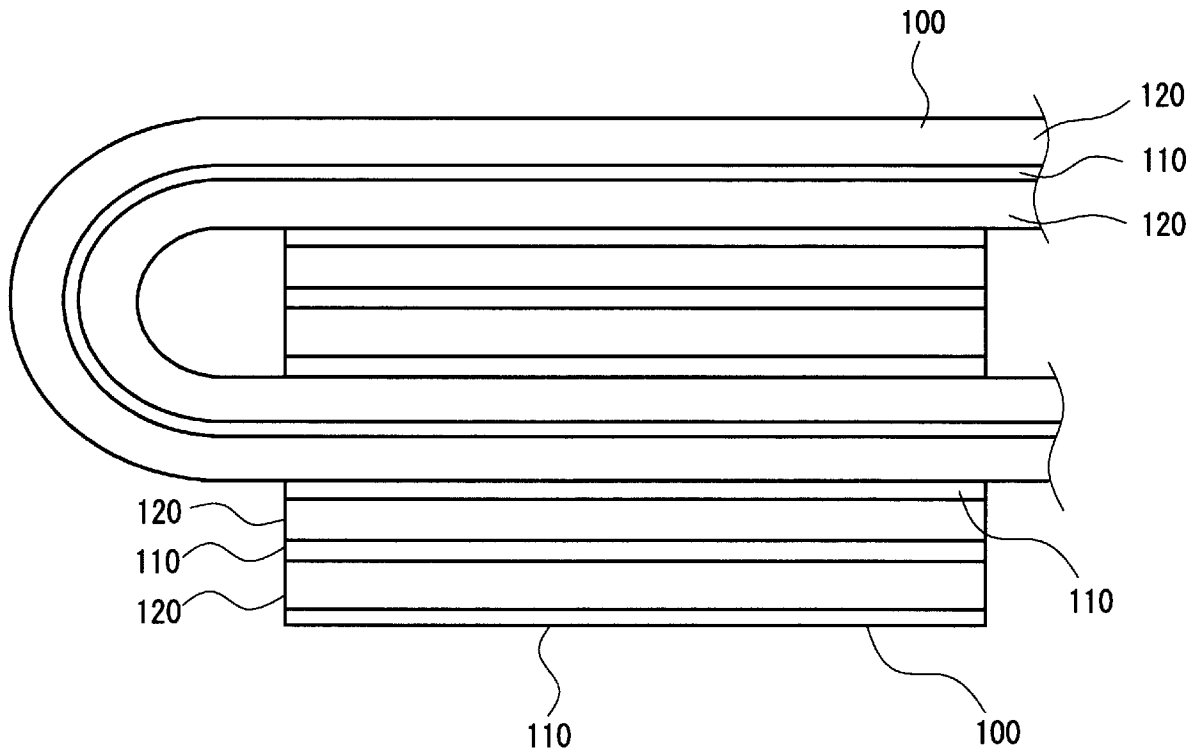
[図7]



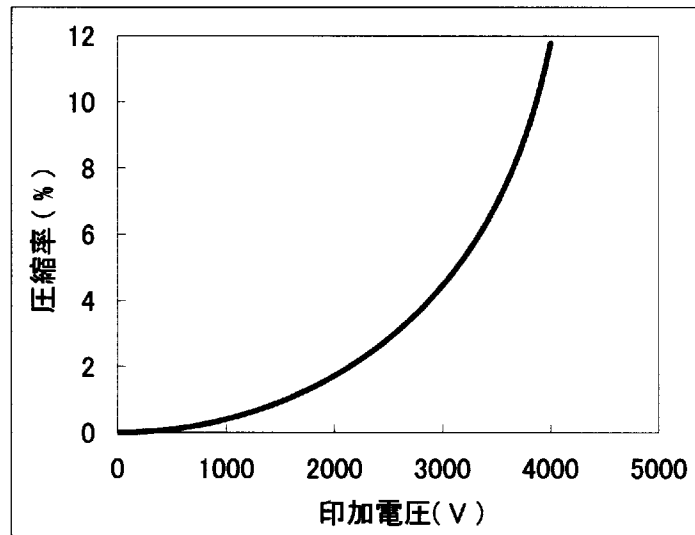
[図8]



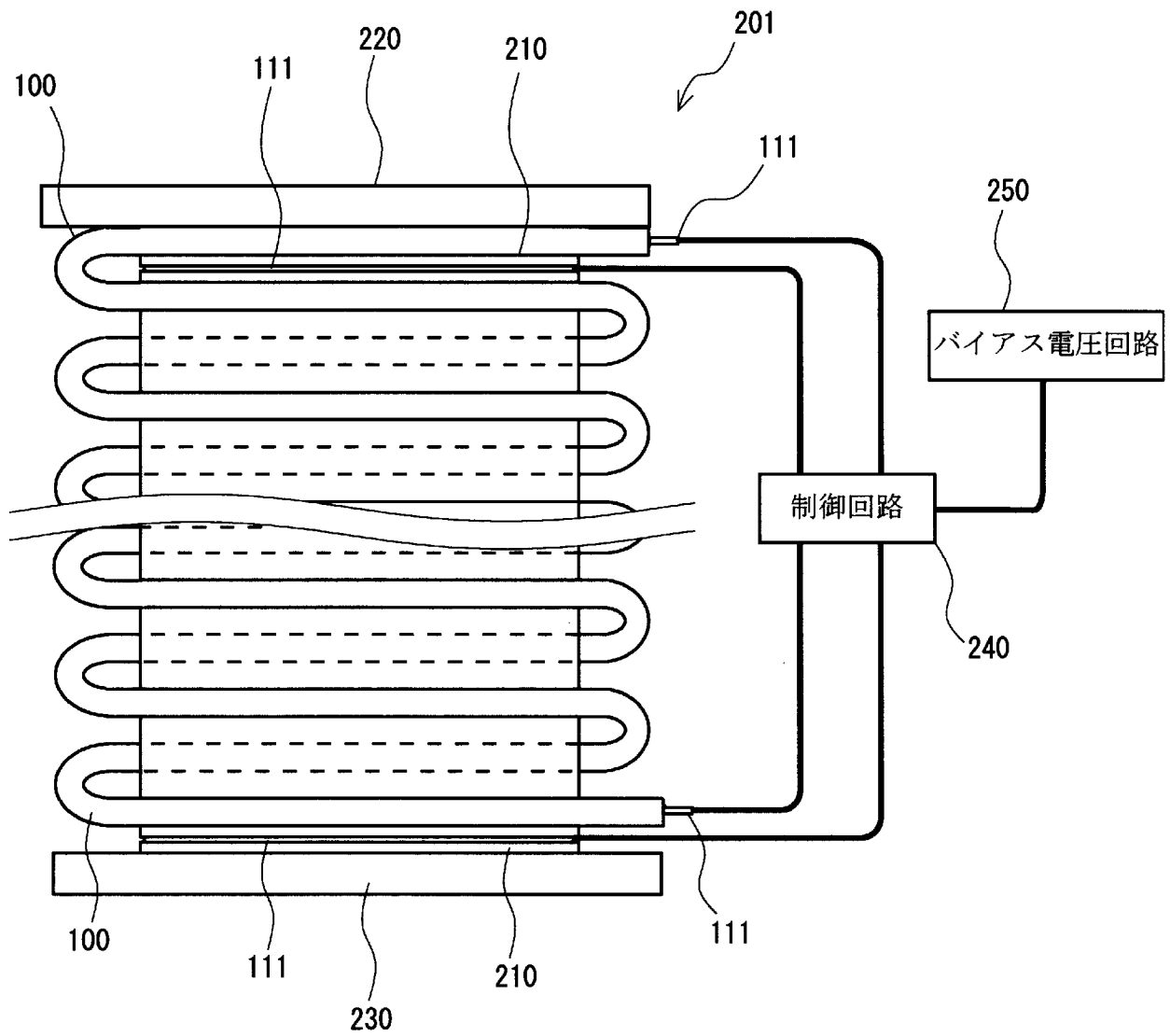
[図9]



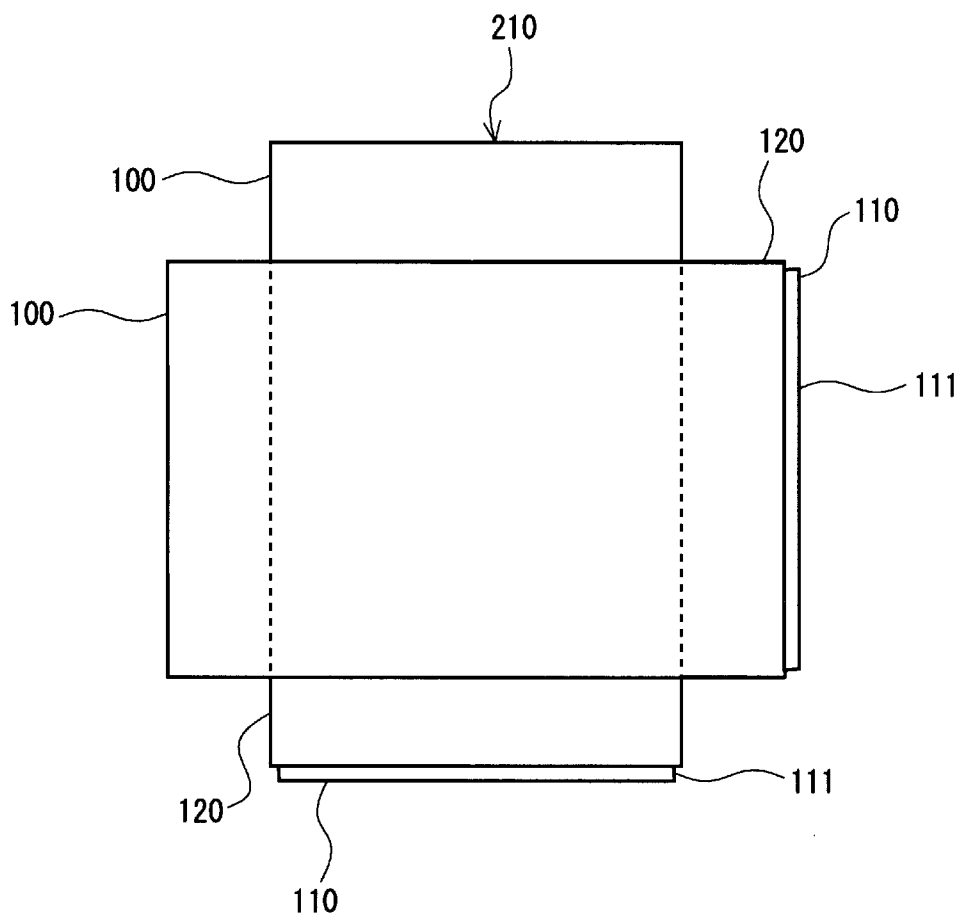
[図10]



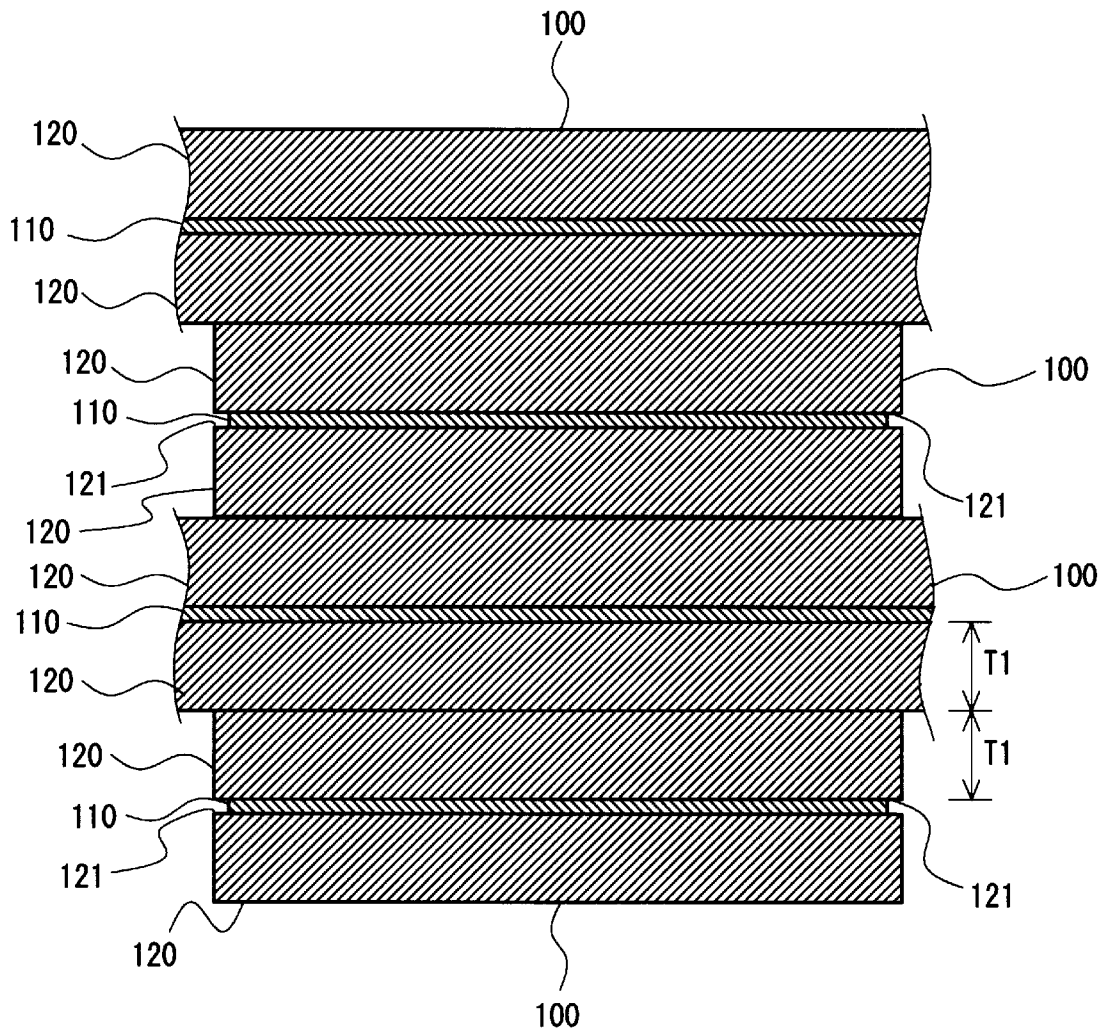
[図11]



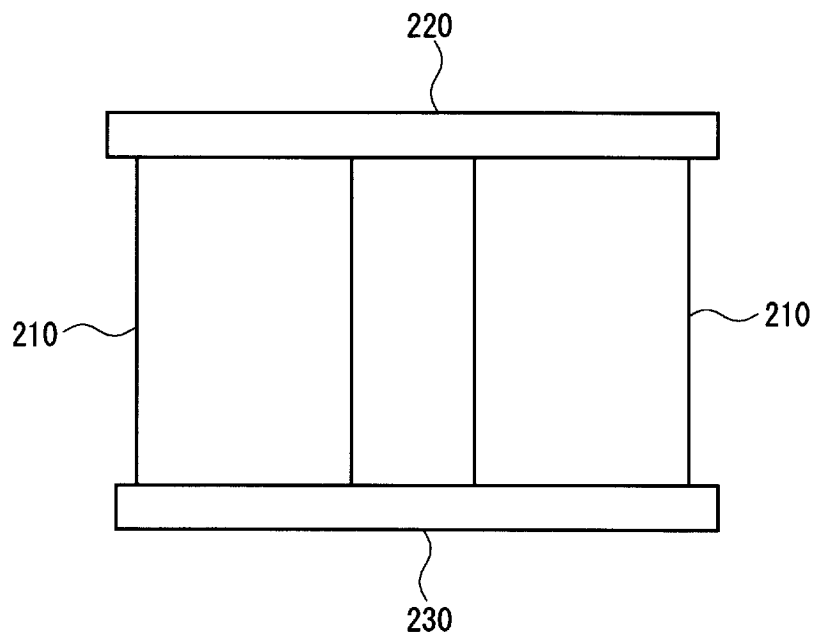
[図12]



[図13]

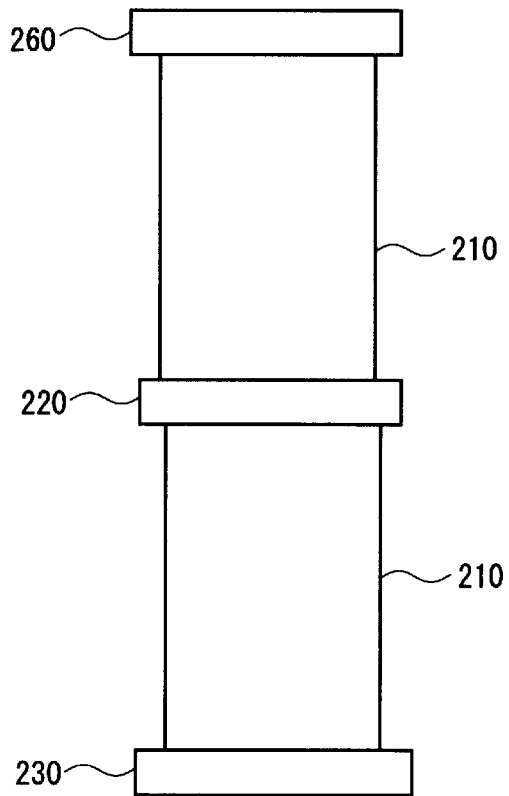


[図14]





[図15]



[図16]

圧縮率(%)	発生エネルギー(mJ)				
	10	20	30	40	50
バイアス1000V	0.1	0.4	0.9	2.0	4.3
バイアス2000V	0.4	1.0	2.1	3.9	7.0

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053426

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02N11/00(2006.01) i, H02N2/00(2006.01) i, H02N2/18(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) H02N11/00, H02N2/00, H02N2/18		
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 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-87423 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 28 April 2011 (28.04.2011), paragraphs [0034] to [0036]; fig. 5 (Family: none)	1-18
A	JP 2008-211922 A (Yamaha Corp.), 11 September 2008 (11.09.2008), paragraph [0012]; fig. 1 (Family: none)	1-18
A	JP 61-26206 A (Nippon Soken, Inc.), 05 February 1986 (05.02.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 09 April, 2013 (09.04.13)		Date of mailing of the international search report 23 April, 2013 (23.04.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/053426

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-57321 A (Tokyo Institute of Technology), 11 March 2010 (11.03.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02N11/00(2006.01)i, H02N2/00(2006.01)i, H02N2/18(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. H02N11/00, H02N2/00, H02N2/18		
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 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-87423 A (株式会社村田製作所) 2011.04.28, 段落 0034-0036, 図5 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 2008-211922 A (ヤマハ株式会社) 2008.09.11, 段落 0012, 図1 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 61-26206 A (株式会社日本自動車部品総合研究所) 1986.02.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 09.04.2013	国際調査報告の発送日 23.04.2013	
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) 松永 謙一 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	3V 2925

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2010-57321 A (国立大学法人東京工業大学) 2010.03.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18