

(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
2014 年 5 月 8 日(08.05.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/069540 A1

- (51) 国際特許分類:
H02N 2/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/079454
- (22) 国際出願日: 2013 年 10 月 30 日(30.10.2013)
- (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 2012-239219 2012 年 10 月 30 日(30.10.2012) JP
- (71) 出願人: 京セラ株式会社(KYOCERA CORPORATION) [JP/JP]; 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 牧迫 拓郎(MAKISAKO, Takuro); 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内 Kyoto (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, 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, 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.

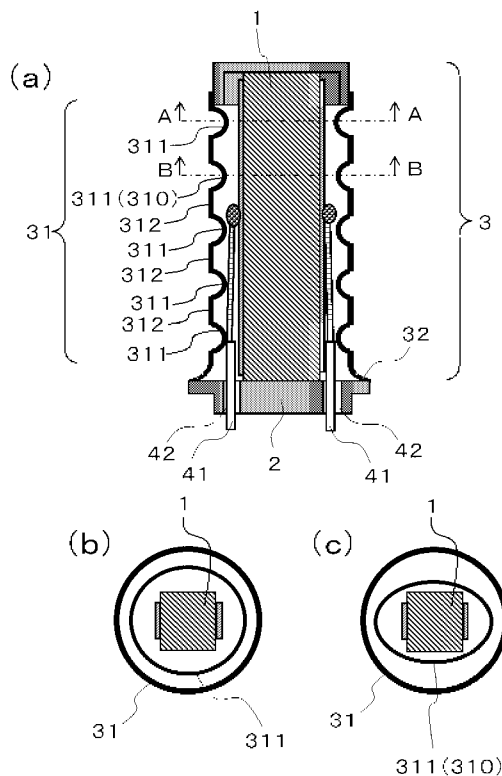
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR AND MASS FLOW CONTROLLER PROVIDED WITH SAME

(54) 発明の名称: 圧電アクチュエータおよびこれを備えたマスフローコントローラ



(57) Abstract: [Problem] To provide a piezoelectric actuator wherein fatigue breakdown of a bonding section due to tensile stress is eliminated, and a mass flow controller that is provided with the piezoelectric actuator. [Solution] This piezoelectric actuator is characterized in that: the piezoelectric actuator is provided with a piezoelectric element (1), a base body (2) having the upper surface thereof in contact with a lower end portion of the piezoelectric element (1), and a case (3), which has the piezoelectric element (1) housed therein, and which has the inner surface thereof in contact with an upper end portion of the piezoelectric element (1); the piezoelectric actuator is configured by bonding the upper surface of the base body (2) and the case (3) to each other; the case (3) includes a flange section (32), and a cylindrical section (31), which has a cylindrical main body portion (312), and a plurality of grooves (311) formed over the whole circumference, said flange section being provided on the lower end side of the cylindrical section (31); and the ellipticity of a cross-sectional shape obtained by cutting at least one groove (310) among the grooves (311) by a plane perpendicular to the vertical direction is different from the ellipticity of a cross-sectional shape of the cylindrical main body portion (312).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/069540 A1

【課題】 引張り応力による接合部の疲労破壊を防止することのできる圧電アクチュエータおよびこれを備えたマスフローコントローラを提供する。 【解決手段】 本発明の圧電アクチュエータは、圧電素子１と、圧電素子１の下端部に上面が当接された基体２と、圧電素子１を内部に収容し、圧電素子１の上端部に内面が当接されたケース３とを備え、基体２の上面とケース３とが接合されてなり、ケース３は、筒本体部３１２および全周にわたる複数の溝３１１を有する円筒状部３１と、円筒状部３１の下端側に設けられた鰐部３２とを含み、複数の溝３１１のうちの少なくとも一つの溝３１０を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率が、筒本体部３１２の断面形状の扁平率と異なっていることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

圧電アクチュエータおよびこれを備えたマスフローコントローラ

技術分野

[0001] 本発明は、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、XYテーブルの精密位置決め装置、ガス流量調整用の弁制御、カメラのオートフォーカス機構、ズーム機構、手振れ補正機構、ハードディスクドライブのヘッド位置制御、光学機器の光軸調整、焦点調整、マスフローコントローラ等に用いられる圧電アクチュエータおよびこれを備えたマスフローコントローラに関するものである。

背景技術

[0002] 圧電アクチュエータとして、例えば、圧電体層および内部電極層が複数積層された柱状の積層体と、この積層体の側面に積層方向にそれぞれ被着されて内部電極層が一層おきに交互に電氣的に接続された一对の外部電極とを含む圧電素子を、金属製の容器の内部に封入したものが知られている（例えば、特許文献1を参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6-334233号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、圧電素子と、該圧電素子の下端部に上面が当接された基体と、圧電素子を内部に收容し、圧電素子の上端部に内面が当接されたケースとを備え、基体の上面と前記ケースとが接合されてなる圧電アクチュエータであって、前記ケースは、全周にわたる溝が複数設けられた円筒状部と、該円筒状部の下端側に設けられた鏝部とを含む構成であるのが、圧電素子の伸縮にケースを追従させることができ、かつ製造しやすい点で好ましい。

- [0005] なお、上記の圧電アクチュエータは、圧電素子が常に圧縮応力下に置かれるように、圧電素子に圧縮荷重を印加した状態で、円筒状部および鍔部を含むケースをレーザー溶接や抵抗溶接、ロウ付けなどで基体に接合したものである。
- [0006] しかしながら、このような構成の場合、引張り応力による応力負荷が基体と鍔部との接合部にかかって、この接合部が疲労破壊するおそれがあるという問題があった。
- [0007] また、圧電アクチュエータの伸縮により流量制御を行うマスフローコントローラにおいては、圧電アクチュエータの接合部の疲労破壊により、長期間安定して駆動させることができなくなるという問題があった。
- [0008] 本発明は、上記の問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的は引張り応力による接合部の疲労破壊を抑制することのできる圧電アクチュエータおよびこれを備えたマスフローコントローラを得ることである。

課題を解決するための手段

- [0009] 本発明の圧電アクチュエータは、圧電素子と、該圧電素子の下端部に上面が当接された基体と、前記圧電素子を内部に收容し、前記圧電素子の上端部に内面が当接されたケースとを備え、前記基体の上面と前記ケースとが接合された圧電アクチュエータであって、前記ケースは、筒本体部および全周にわたる複数の溝を有する円筒状部と、該円筒状部の下端側に設けられた鍔部とを含み、前記複数の溝のうちの少なくとも一つの溝を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率が、前記筒本体部の断面形状の扁平率と異なっていることを特徴とするものである。
- [0010] また本発明のマスフローコントローラは、流路と、該流路内を流れる流体の流量を検出する流量センサ部と、上記圧電アクチュエータを備えた流体の流量を制御する流量制御弁と、制御回路部とを有し、前記流量制御弁が、前記圧電アクチュエータの伸縮により流量制御を行うことを特徴とするものである。

発明の効果

[0011] 本発明の圧電アクチュエータによれば、伸縮により応力がかかる際の当該応力の加わりかたに時間差ができることによって、応力を分散させることができる。したがって、接合部にかかる応力が低減され、接合部を疲労破壊しにくくすることができる。

[0012] また、本発明のマスフローコントローラによれば、圧電アクチュエータの連続駆動による接合部の疲労破壊が抑制でき、圧電アクチュエータを長期間安定して駆動させることができることから、耐久性に優れ、長期間安定して駆動させることができるものとすることができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の一例を示す縦断面図である。

[図2]図1に示す圧電素子の概略斜視図である。

[図3] (a) は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の一例を示す縦断面図であり、(b) は(a)に示すA-A線概略断面図、(c) は(a)に示すB-B線概略断面図である。

[図4] (a) は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の他の例を示す縦断面図であり、(b) は(a)に示すA-A線概略断面図、(c) は(a)に示すB-B線概略断面図である。

[図5] (a) は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の他の例を示す縦断面図であり、(b) は(a)に示すA-A線概略断面図、(c) は(a)に示すB-B線概略断面図である。

[図6] (a) は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の他の例を示す縦断面図であり、(b) は(a)に示すA-A線概略断面図、(c) は(a)に示すB-B線概略断面図である。

[図7]本発明のマスフローコントローラの実施の形態の一例の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の一例について図面を参

照して説明する。

[0015] 図1は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の一例を示す縦断面図であり、図2は図1に示す圧電素子の概略斜視図、図3(a)は本発明の圧電アクチュエータの実施の形態の一例を示す縦断面図であり、図3(b)は図3(a)に示すA-A線概略断面図、図3(c)は図3(a)に示すB-B線概略断面図である。

[0016] 本発明の圧電アクチュエータは、圧電素子1と、圧電素子1の下端部に上面が当接された基体2と、圧電素子1を内部に收容し、圧電素子1の上端部に内面が当接されたケース3とを備え、基体2の上面とケース3とが接合されている。ケース3は、筒本体部312および全周にわたる複数の溝311を有する円筒状部31と、円筒状部31の下端側に設けられた鍔部32とを含んでいる。また、複数の溝311のうちの少なくとも一つの溝310を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率が、筒本体部312の断面形状の扁平率と異なっている。

[0017] 圧電素子1は、図2に示すように、例えば圧電体層11と内部電極層12とが交互に複数積層された活性部13と、活性部13の積層方向の両端に積層された圧電体層11からなる不活性部14とを有する積層体10を備えた積層型の圧電素子である。ここで、活性部13は駆動時に圧電体層11が積層方向に伸長または収縮する部位であり、不活性部14は駆動時に圧電体層11が積層方向に伸長または収縮しない部位である。

[0018] 圧電素子1を構成する積層体10は、例えば縦4～7mm、横4～7mm、高さ20～50mm程度の直方体状に形成されている。なお、図2に示す積層体10は、四角柱形状であるが、例えば六角柱形状や八角柱形状などであってもよい。

[0019] 積層体10を構成する複数の圧電体層11は、圧電特性を有する圧電磁器（圧電セラミックス）からなり、当該圧電磁器は平均粒径が例えば1.6～2.8 μm に形成されたものである。圧電磁器としては、例えばチタン酸ジルコン酸鉛（ $\text{PbZrO}_3\text{--PbTiO}_3$ ）等からなるペロブスカイト型酸化

物、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) などをを用いることができる。

[0020] また、内部電極層 12 は、例えば銀、銀－パラジウム合金、銀－白金、銅などで形成されたものであり、正極と負極（もしくはグランド極）とがそれぞれ積層体 10 の対向する一対の側面に互い違いに導出されている。この構成により、活性部 13 において、積層方向に隣り合う内部電極層 12 同士の間挟まれた圧電体層 11 に駆動電圧を印加するものである。

[0021] なお、積層体 10 には、応力を緩和するための層であって内部電極層 12 として機能しない金属層等が含まれていてもよい。

[0022] そして、内部電極層 12 の正極と負極（もしくはグランド極）とが互い違いに導出された積層体 10 の対向する一対の側面には、それぞれ外部電極 15 が設けられ、導出された内部電極層 12 と接合されている。外部電極 15 は、例えば銀およびガラスの焼結体からなるメタライズ層であり、内部電極層 12 と電氣的に導通されている。なお、図 1 に示すように、外部電極 15 にはリード線 16 がはんだ 17（導電性接着剤）によって取り付けられていて、リード線 16 を介して駆動電圧を印加するようになっている。

[0023] 一方、積層体 10 の対向する他の一対の側面には、内部電極層 12 の正極および負極（もしくはグランド極）の両極が露出しており、この側面には酸化物からなる被覆層 18 が形成されている。被覆層 18 の形成により、駆動時に高電圧をかけた際に発生する両極間での沿面放電を防止することができる。この被覆層 18 を形成する酸化物としては、セラミック材料が挙げられ、特に、圧電アクチュエータを駆動した際の積層体 10 の駆動変形（伸縮）に追従でき、被覆層 18 が剥がれて沿面放電が生じるおそれのないように、応力によって変形可能な材料であることが好ましい。具体的には、応力が生じると局所的に相変態して体積変化して変形可能な部分安定化ジルコニア、 $\text{Ln}_{1-x}\text{Si}_x\text{AlO}_{3+0.5x}$ (Ln は、 Sn , Y , La , Ce , Pr , Nd , Pm , Sm , Eu , Gd , Tb , Dy , Ho , Er , Tm および Yb のうちから選ばれるいずれか少なくとも一種を示す。 $x = 0.01 \sim 0.3$) など

のセラミック材料、あるいは、生じた応力を緩和するように結晶格子内のイオン間距離が変化するチタン酸バリウム、チタン酸ジルコン酸鉛などの圧電材料が挙げられる。この被覆層 18 は、例えばインク状にした後、ディッピングやスクリーン印刷によって積層体 10 の側面に塗布され、焼結することによって形成される。

[0024] そして、図 1 に示す圧電アクチュエータは、圧電素子 1 の下端部に上面が当接された基体 2 と、圧電素子 1 を内部に收容し、圧電素子 1 の上端部に内面が当接されたケース 3 とを備えている。

[0025] 具体的には、基体（下側蓋部材）2 は、SUS304（オーステナイト系ステンレス鋼の JIS 規格）や SUS316L（オーステナイト系ステンレス鋼の JIS 規格）などの金属材料で円板状に形成されたもので、図では周縁部が薄肉になっている。また、基体 2 にはリードピン 41 を挿通可能な貫通孔 2 が 2 つ形成されており、リード線 16 と電氣的に接続されたリードピン 41 を貫通孔に挿通させて外部電極 15 と外部とを電氣的に導通させている。そして、貫通孔 2 の隙間には軟質ガラス 42 が充填されていて、このリードピン 41 を固定するとともに、外気の侵入を防いでいる。

[0026] 一方、ケース 3 は、基体 2 と同様に SUS304 や SUS316L などの金属材料で形成されたもので、筒体 30 と、筒体 30 の一端側開口を塞ぐように設けられた円板状の蓋部材（上側蓋部材）33 とを有している。

[0027] ケース 3 を構成する筒体 30 は、全周にわたる溝 311 が複数設けられた円筒状部 31 と、円筒状部 31 の下端側に設けられた鰐部 32 とを含んでいる。そして、円筒状部 31 は、筒本体部 312 および全周にわたる複数の溝 311（溝 310 を含む）を上下方向に直線状に延びている円筒状の部分である。また、鰐部 32 は、円筒状部 31 の下端（直線状に延びている部分の下端）に連続して、円筒状部 31 と一体に形成された部分である。具体的には、円筒状部 31 の下端に連続して湾曲し、さらに水平方向に直線状に延びている部分であって、径方向外側に向かって広がるいわゆるラッパ状に形成されたものである。なお、筒本体部 312 とは円筒状部 31 における溝以外

の他の部位のことを意味している。

[0028] この筒体 30 は、所定の形状でシームレス管を作製した後、圧延加工や静水圧プレスなどによりペロー（蛇腹）形状にし、溝 311 および溝 310 が形成されている。また、この筒体 30 は、圧電素子 1 に電圧を印加した際に圧電素子 1（積層体 10）の伸縮に追従できるように、所定のバネ定数を有しており、厚み、溝形状および溝数によってそのバネ定数が調整されている。

[0029] また、ケース 3 を構成する蓋部材 33 は、外径が筒体 30 の内径と同じ程度に形成されたもので、筒体 30 の一端側開口に嵌め込まれて、一端側開口の近傍の内壁にその外周を接合されている。そして、蓋部材 33 の内面には凹部が形成されていて、この凹部に圧電素子 1 の上端部が当接している。ここで、凹部の内周壁面を覆うように絶縁材 5 が設けられており、これにより、圧電素子 1 の一对の外部電極 15 が蓋部材 33 の内面と直接触れないようになっている。そのため、外部電極 15 同士が短絡するのを防ぐことができる。

[0030] なお、筒体 30 と蓋部材 33 とは、互いに別体に形成されて接合されたものであるが、一体に形成されたものであってもよい。

[0031] そして、基体 2 の上面とケース 3 とが接合部を介して接合されている。さらに、図 3 に示すように、ケース 3（筒体 30）は、円筒状部 31 に設けられた全周にわたる複数の溝 311 のうちの少なくとも一つの溝 310 を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率が、筒本体部 312 の断面形状の扁平率と異なっている。

[0032] 例えば、少なくとも一つの溝 310 の断面形状が楕円であり、筒本体部 312 の断面形状が円である。ここで、楕円の場合の扁平率とは、（長半径 a − 短半径 b ）／長半径 a のことである。なお、図では、断面形状が筒本体部 312 と扁平率の異なる楕円の溝を溝 310 として表している。

[0033] 複数の溝 311 を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状が円である場合は、応力が一気にかかるのに対し、本発明の構成によれば、伸縮によ

り応力がかかる際の当該応力の加わりかたが断面楕円形状の溝における長軸側と短軸側とで時間差ができることによって、応力を分散させることができる。したがって、接合部にかかる応力が低減され、接合部を疲労破壊しにくくすることができ、圧電アクチュエータを長期間安定して駆動させることができる。ここで、長軸の長さが例えば8～10mmに対して、短軸の長さは長軸の長さの90～99%の長さであるのが効果的である。なお、他の部位と扁平率の異なる形状（楕円形状）については、幾何学的な対称性のある楕円形状に限られず、多少の歪みのある形状であってもよい。

[0034] なお、複数の溝311のうちの少なくとも一つの溝310を上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率とは、複数の溝311のうち少なくとも一つの溝310に対して上下方向に垂直な面で円筒状部31を切断したときの溝310における外形状の扁平率のことをいう。

[0035] ここで、本発明の圧電アクチュエータは、図4に示すように、筒本体部312と異なる扁平率の断面形状の溝310が複数個あるのが好ましい。特に、全ての溝における断面形状が筒本体部312とは扁平率が異なっているのが好ましい。

[0036] この構成によれば、円筒状部31の伸縮による応力をより分散しやすくなるため、接合部にかかる応力をより低減でき、より疲労破壊しにくくなる。

[0037] また、本発明の圧電アクチュエータは、図5に示すように、筒本体部312と異なる扁平率の断面形状を有する複数個の溝310は、それぞれの断面形状の長軸の向きが互いに異なっているのが好ましい。

[0038] この構成によれば、複数個の溝310にかかる応力の加わりかたの時間差がより複雑になるので、応力をより分散させることができる。したがって、接合部にかかる応力がより低減され、接合部をより疲労破壊しにくくすることができる。

[0039] さらに、本発明の圧電アクチュエータは、図6に示すように、複数個の溝310の断面形状が楕円であり、円筒状部31における筒本体部312の断面形状が楕円であるのが好ましい。言い換えると、円筒状部31は溝310

の形成されていない領域においても断面形状が楕円になっているのが好ましい。溝310の形成されていない領域においても円筒状部31の断面形状が楕円になっていることによって、上述の効果と同様の効果が得られ、さらに接合部を疲労破壊しにくくすることができる。

[0040] なお、圧電素子1に圧縮荷重をかけた状態でケース3の鍔部32と基体2との接合がなされ、圧電素子1はケース3および基体2によって形成される収納空間に不活性ガスとともに封入されて圧電アクチュエータとなっている。ここで、圧電アクチュエータは、接合部として、鍔部32の下面と基体2の上面との間に配置され、その上面および下面の少なくとも一方が鍔部32の下面または基体2の上面との接合される環状部を有するのが好ましい。

[0041] 次に、本実施の形態にかかる圧電アクチュエータの製造方法について説明する。

[0042] まず、圧電体層11となるセラミックグリーンシートを作製する。具体的には、圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子からなるバインダーと、可塑剤とを混合してセラミックスラリーを作製する。そして、周知のドクターブレード法、カレンダーロール法等のテープ成型法を用いることにより、このセラミックスラリーからセラミックグリーンシートを作製する。圧電セラミックスラリーとしては、圧電特性を有するものであればよく、例えば、 PbZrO_3 - PbTiO_3 からなるペロブスカイト型酸化物などを用いることができる。また、可塑剤としては、フタル酸ジブチル（DBP）、フタル酸ジオクチル（DOP）などを用いることができる。

[0043] 次に、内部電極層12となる導電性ペーストを作製する。具体的には、銀-パラジウム合金の金属粉末にバインダーおよび可塑剤を添加混合することによって、導電性ペーストを作製する。この導電性ペーストを上記のセラミックグリーンシート上にスクリーン印刷法を用いて印刷し、次に、導電性ペーストが印刷されたセラミックグリーンシートを複数枚積層するとともに積層方向の両端部に導電性ペーストが印刷されていないセラミックグリーンシ

ートを複数枚積層して積層成形体を得る。この積層成形体を所定の温度で脱バインダー処理した後、900～1200℃で焼成することによって積層体10が得られる。

[0044] 次に、積層体10の側面のうち両内部電極層12（正極および負極）が導出された一对の側面に、酸化物のインクをスクリーン印刷によって印刷した後、900～1200℃で焼成し、被覆層18を形成する。酸化物のインクは、酸化物の粉体を溶剤、分散剤、可塑剤、及びバインダーの溶液に分散させた後、3本ロールを数回通すことにより、粉体の凝集を解砕するとともに、粉体を分散させて作製される。

[0045] 次に、メタライズ層から成る外部電極15を形成する。まず、銀粒子およびガラス粉末にバインダーを加えて銀ガラス含有導電性ペーストを作製し、内部電極層12の正極または負極が導出された積層体10の対向する一对の側面にスクリーン印刷法によって印刷し、500～800℃程度の温度で焼き付け処理を行なう。これにより、メタライズ層から成る外部電極15を形成して圧電素子1が完成する。

[0046] 次に、外部電極15とリード線16をはんだ17を用いてはんだ付けする。また、切削加工にて環状部を形成するとともにおよび穴加工にて貫通孔を形成してなる図1に示すような形状の基体（下側蓋部材）2を用意し、この基体（下側蓋部材）2に形成された2つの貫通孔にそれぞれリードピン41を挿通するとともに隙間に軟質ガラス42を充填して固定し、さらに基体2の上面に圧電素子1の下端部を接着剤で接着する。そして、圧電素子1の外部電極15にはんだ17にてはんだ付けしたリード線16と基体2に取り付けられたリードピン41とをはんだで接続する。

[0047] 次に、SUS304製のシームレスの円筒状の筒体30に、溝付け加工によりベロー形状となるように筒本体部312および全周にわたる複数の溝311（溝310を含む）を有する円筒状部31を形成する。ここで、溝付け加工する金型を筒本体部312の断面形状の扁平率と異なる楕円形状にすることで、上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状が筒本体部312の

断面形状の扁平率と異なる楕円形状となるような溝 310 を成型することができる。また、断面楕円形状の溝 310 を成型する毎に筒体 30 を回転させることで、楕円の長軸の向きが揃わない複数の断面楕円形状の溝を有する筒体 30 を作製できる。さらに、複数個ある断面形状が楕円となる溝を除く領域においても円筒状部 31 の断面形状が楕円となる形状とするには、絞り加工する筒体 30 として断面楕円形状のものをを用いればよい。

[0048] この筒体 30 の一端側（上端側）の開口を塞ぐように SUS 304 製の蓋部材（上側蓋部材）33 をレーザー溶接によって溶接して、ケース 3 を作製する。また、筒体 30 の他端側（下端側）には鍔部 32 が抵抗溶接によって形成される。

[0049] 次に、ケース 3 を基体 2 に接着した圧電素子 1 に被せ、所定の荷重でケース 3 を引張り、圧電素子 1 に荷重を加える。この状態で、ケース 3 の鍔部 32 と基体 2 に設けられた環状部の上面とを抵抗溶接によって溶接し、圧電素子 1 の封止を行なう。なお、環状部として、基体とは異なる材料のものをを用いる場合は、環状部となるリングを用意し、このリングの上面を鍔部 32 に溶接し、リングの下面を基体 2 に溶接すればよい。

[0050] 次に、ケース 3 の所定の位置にドリルで不活性ガス注入用の穴を開け、真空チャンバーにて真空引きしてケース内（収納空間）の酸素を抜いた後、真空チャンバーへ窒素ガスを注入し、ケース内（収納空間）の窒素パージを行なう。その後、不活性ガス注入用の穴をレーザー溶接で溶接することにより、穴を塞ぐ。

[0051] 最後に、基体 2 に取り付けられたリードピン 41 に $0.1 \sim 3 \text{ kV/mm}$ の直流電界を印加し、積層体 10 を分極することによって、本実施の形態の圧電アクチュエータが完成する。そして、リードピン 41 と外部電源とを接続して、圧電体層 11 に電圧を印加することにより、各圧電体層 11 を逆圧電効果によって大きく変位させることができる。これにより、例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能させることが可能となる。

- [0052] 本実施の形態の積層型圧電素子は、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、光学装置の精密位置決め装置、ガス流量調整用の弁制御、カメラのオートフォーカス機構、ズーム機構、手振れ補正機構、ハードディスクドライブのヘッド位置制御、光学機器の光軸調整、焦点調整、マスフローコントローラ等として用いられる。
- [0053] 次に、これまで説明してきた圧電アクチュエータを備えたマスフローコントローラについて、図7を用いて説明する。図7は、マスフローコントローラの実施形態の一例の構成を示す図である。
- [0054] 図7に示すマスフローコントローラ6は、流路61と、流路61内を流れる流体の流量を検出する流量センサ部62と、上述の圧電アクチュエータを備えた流体の流量を制御する流量制御弁63と、制御回路部64とを有しており、流量制御弁63は圧電アクチュエータの伸縮により流量制御を行うものである。
- [0055] 流路61には、例えばガスなどの流体が流れるようになっていて、流入口611から流入して流出口612から流出するようになっている。
- [0056] 流路61の一部には、流量センサ部62が例えばバイパス状に接続されていて、この流量センサ部62が流路61内を流れる流体の流量（質量流量）を検出するようになっている。
- [0057] 流量センサ部62で検出された流量信号は、増幅回路にて増幅されるなどして、制御回路部64へ伝達される。
- [0058] 制御回路部64では、制御回路部64へ伝達された流量信号があらかじめ設定された流量信号と比較される。
- [0059] そして、伝達された流量信号とあらかじめ設定された流量信号との差をなくすような駆動信号（駆動電圧）が流量制御弁63を形成する圧電アクチュエータに入力される。
- [0060] 圧電アクチュエータは、入力された駆動電圧に応じて伸縮し、この伸縮により流量制御弁63の開閉量が制御され、流路61を流れる流体の流量を制御するようになっている。

[0061] 上述したように、圧電アクチュエータの連続駆動による溝のつけ根部の疲労破壊が抑制でき、圧電アクチュエータを長期間安定して駆動させることができることから、本例のマスフローコントローラは、耐久性に優れ、長期間安定して駆動させることができるものとすることができる。

実施例

[0062] 本発明の実施例の一例としての圧電アクチュエータを以下のようにして作製した。

[0063] まず、平均粒径が $0.4\ \mu\text{m}$ のチタン酸ジルコン酸鉛 ($\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$) を主成分とする圧電セラミックスの仮焼粉末、バインダー及び可塑剤を混合したセラミックスラリーを作製し、ドクターブレード法で厚み $150\ \mu\text{m}$ の圧電体層となるセラミックグリーンシートを作製した。

[0064] このセラミックグリーンシートの片面に、銀-パラジウム合金（銀95質量%-パラジウム5質量%）にバインダーを加えて作製した内部電極となる導電性ペーストを、スクリーン印刷法により印刷したセラミックグリーンシートを260枚積層し、その上下に導電性ペーストなしのセラミックグリーンシートを各20枚積層した積層成形体を作製した。

[0065] 次に、所定の大きさとなるようにダイシングソーマシンで積層成形体を切断した後、積層成形体を乾燥させ、焼成して積層体を作製した。焼成は、 800°C の温度を90分保持した後、 1000°C で200分間焼成した。積層体は直方体状であり、その大きさは、端面が縦5mm、横5mmであり、高さが35mmであった。

[0066] 次に、部分安定化ジルコニア、圧電材料、圧電体層と同じ材料、及びチタン酸ジルコン酸鉛を材料とするインクを作製し、それぞれ、被覆層の厚みが $20\ \mu\text{m}$ となるように、スクリーン印刷にて、内部電極層の両極が露出している積層体の側面に印刷し、その後、 1000°C で焼成し、積層体の側面に被覆層を形成した。

[0067] 次に、銀粒子およびガラス粉末にバインダーを加えて銀ガラス含有導電性ペーストを作製し、これを積層体の側面にスクリーン印刷法によって印刷し

、500～800℃程度の温度で焼き付け処理して外部電極を形成した後、はんだ付けにて外部電極にリード線を接続した。

[0068] また、SUS304で円板状の基体を作製した。具体的には、切削にて環状部を設け、2箇所に通孔を形成した図1に示す形状の基体を作製した。そして、基体に形成された通孔に軟質ガラスでリードピンを取り付けた。また、環状部の厚みは50μmであった。

[0069] 次に、基体の上面に積層体（圧電素子）を接着剤で固定し、外部電極にははんだ付けしたリード線と基体に取り付けられたリードピンとをはんだ付けで接続した。

[0070] 次に、SUS304で円板状の上側蓋部材を作製した。また、SUS316L製のシームレスの円筒に溝付け加工によりベロー形状となるように鍔部を形成した筒体と上側蓋部材とをレーザー溶接で溶接してなるケースを、基体（下側蓋部材）に接着した圧電素子に被せ、所定の荷重でケースを引張り、圧電素子に荷重を印加した後、ケースと基体の環状部との当接部を抵抗溶接で溶接し、圧電素子の封止を行なった。

[0071] ここで、ケースにおける全周にわたる溝は、上下方向に4mm間隔で5個設け、上下方向に垂直な断面で切断したときの形状がすべての溝で他の部位（筒本体部）と異なる扁平率の楕円となっていて、楕円の長軸の長さが9mm、短軸の長さが8.4mmであり、長軸の向きはそれぞれ異なっている。

[0072] 次に、ケースの所定の位置にドリルで不活性ガス注入用の穴を開け、真空チャンバーにて真空引きしてケース内（収納空間）の酸素を抜いた後、真空チャンバーへ窒素ガスを注入し、ケース内（収納空間）の窒素パージを行なった後、窒素パージ用の穴をレーザー溶接で溶接して穴を塞ぎ、窒素パージを完了させた。

[0073] さらに、比較例として、溝の断面形状として直径10mmの円となる筒体を作製し、抵抗溶接にてケースの鍔部と基体との溶接を行なった。

[0074] 最後に、これらの試料の2本のリードピンに3kV/mmの直流電界を20分間印加して分極処理を行ない、圧電アクチュエータを作製した。

- [0075] 得られた圧電アクチュエータの積層体に120Vの直流電圧を印加したところ、すべての圧電アクチュエータにおいて、積層方向に変位量が得られた。
- [0076] さらに、これらの圧電アクチュエータについて、80℃の環境下で電圧150V、周波数100Hz、Duty50の矩形波で100万サイクルの連続駆動試験を行なった。
- [0077] その結果、本発明の実施例の圧電アクチュエータは、100万サイクルの連続駆動試験後において、変位量の変化がほとんどなく、圧電素子として必要な有効変位量を維持しており、また、接合部の外れもなく、長期使用しても安定した変位量が得られることが分かった。
- [0078] これに対し、比較例の圧電アクチュエータは、12万サイクル後に停止していた。この試料を確認したところ、接合部の界面での外れが見られた。また、接合部の外れに伴う荷重の片当りにより、圧電素子に割れが見られた。

符号の説明

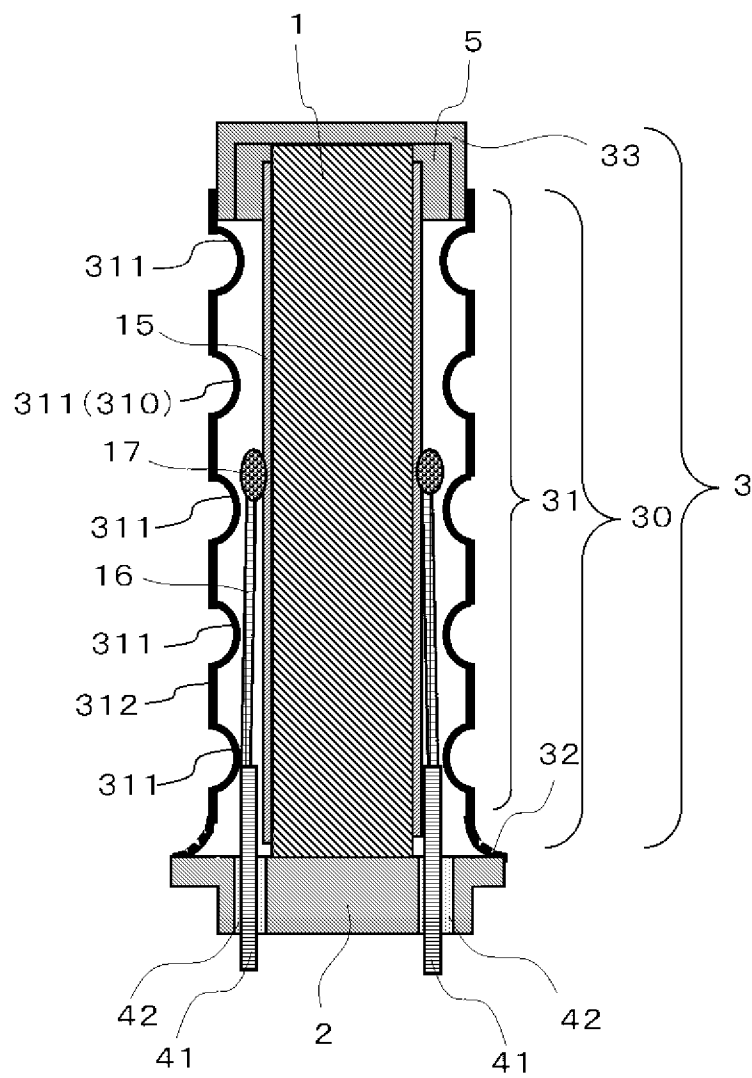
- [0079] 1・・・圧電素子
11・・・圧電体層
12・・・内部電極層
13・・・活性部
14・・・不活性部
15・・・外部電極
16・・・リード線
17・・・はんだ
18・・・被覆層
2・・・基体
3・・・ケース
30・・・筒体
31・・・円筒状部
32・・・鋸部

- 3 3 . . . 蓋部材
- 3 1 0、3 1 1 . . . 溝
- 3 1 2 . . . 筒本体部
- 4 1 . . . リードピン
- 4 2 . . . 軟質ガラス
- 5 . . . 絶縁材
- 6 . . . マスフローコントローラ
- 6 1 . . . 流路
- 6 1 1 . . . 流入口
- 6 1 2 . . . 流出口
- 6 2 . . . 流量センサ部
- 6 3 . . . 流量制御弁
- 6 4 . . . 制御回路部

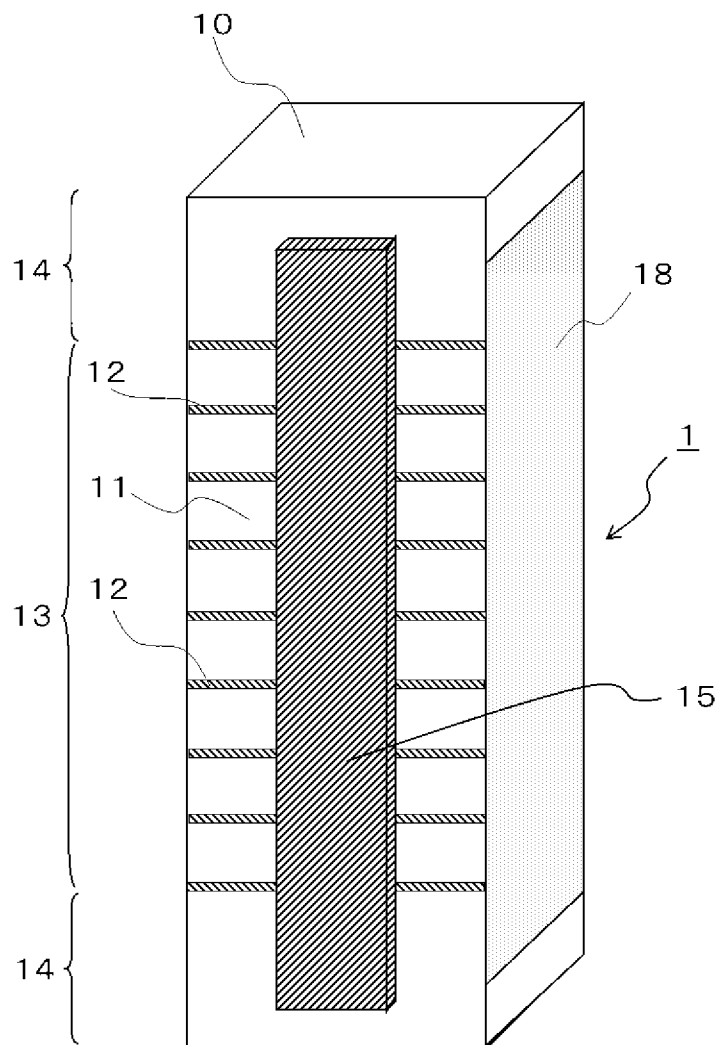
請求の範囲

- [請求項1] 圧電素子と、該圧電素子の下端部に上面が当接された基体と、前記圧電素子を内部に收容し、前記圧電素子の上端部に内面が当接されたケースとを備え、前記基体の上面と前記ケースとが接合された圧電アクチュエータであって、前記ケースは、筒本体部および全周にわたる複数の溝を有する円筒状部と、該円筒状部の下端側に設けられた鍔部とを含み、前記複数の溝のうちの少なくとも一つの溝を前記上下方向に垂直な面で切断したときの断面形状の扁平率が、前記筒本体部の断面形状の扁平率と異なっていることを特徴とする圧電アクチュエータ。
- [請求項2] 前記筒本体部と異なる扁平率の断面形状を有する前記溝が複数個あることを特徴とする請求項1に記載の圧電アクチュエータ。
- [請求項3] 前記筒本体部と異なる扁平率の断面形状を有する前記複数の溝は、断面形状の長軸の向きが互いに異なっていることを特徴とする請求項2に記載の圧電アクチュエータ。
- [請求項4] 前記筒本体部と異なる扁平率の断面形状を有する前記溝の断面形状が楕円であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のうちのいずれかに記載の圧電アクチュエータ。
- [請求項5] 前記筒本体部の断面形状が楕円であることを特徴とする請求項4に記載の圧電アクチュエータ。
- [請求項6] 流路と、該流路内を流れる流体の流量を検出する流量センサ部と、請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の圧電アクチュエータを備えた流体の流量を制御する流量制御弁と、制御回路部とを有し、前記流量制御弁は、前記圧電アクチュエータの伸縮により流量制御を行うことを特徴とするマスフローコントローラ。

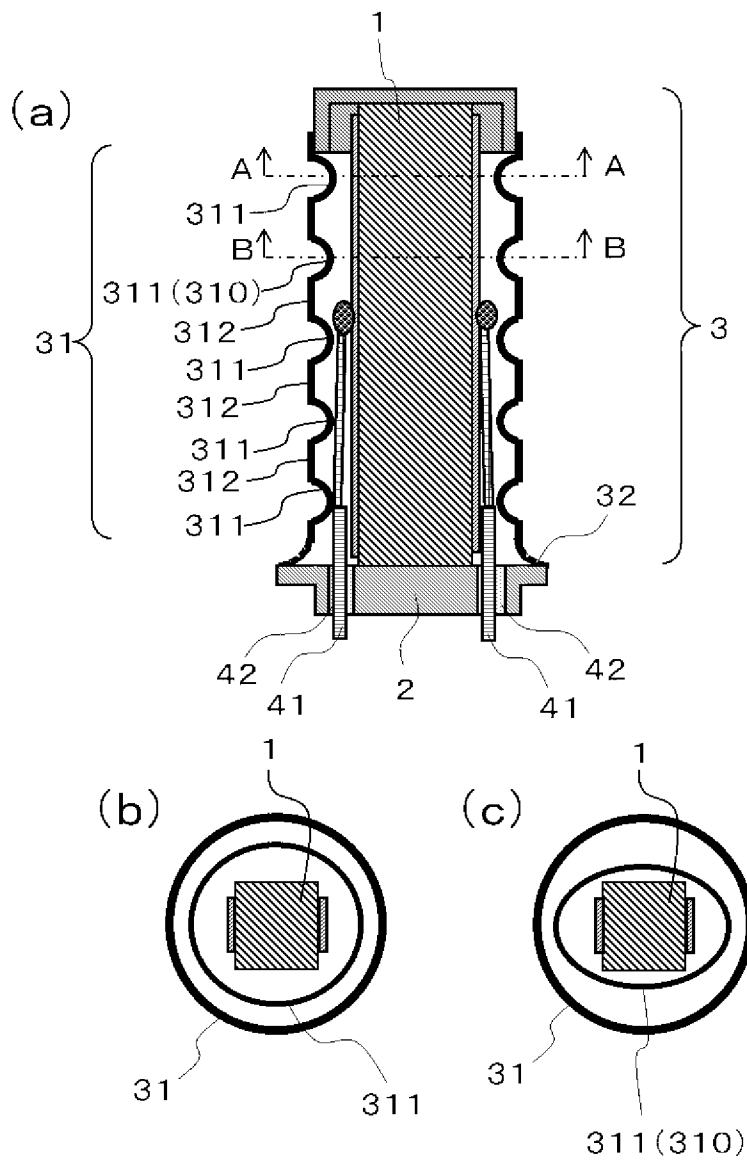
[図1]



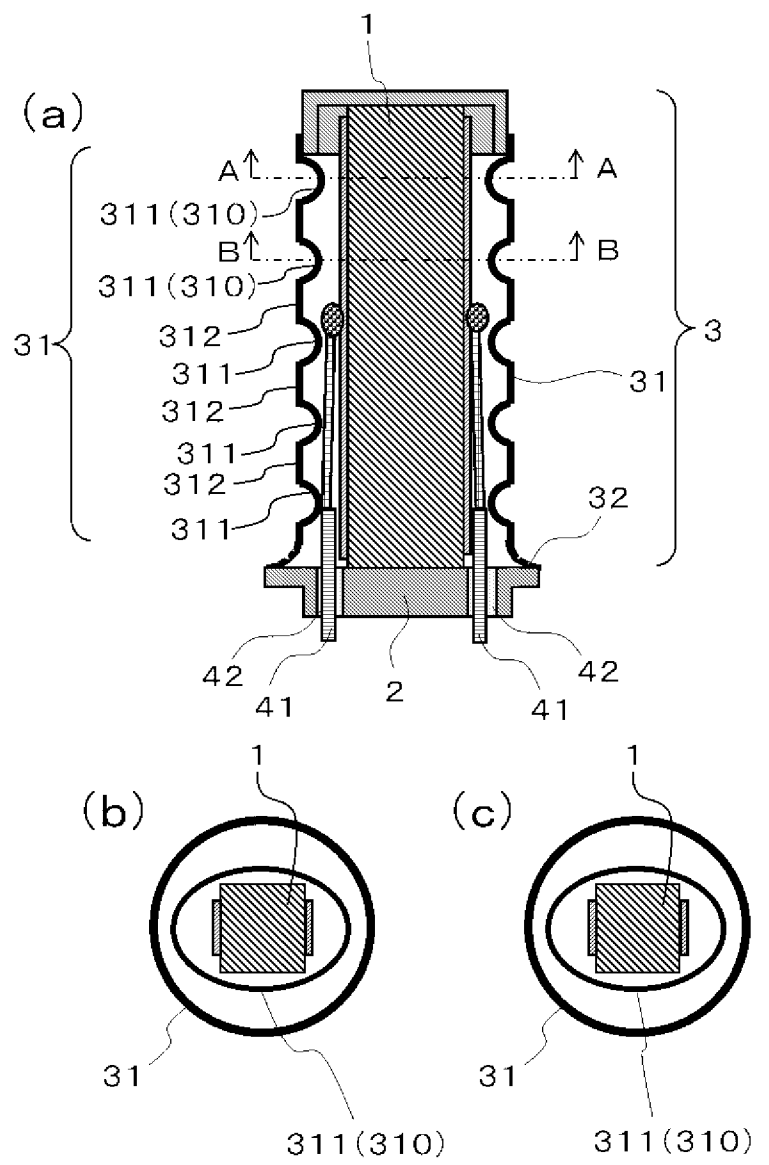
[図2]



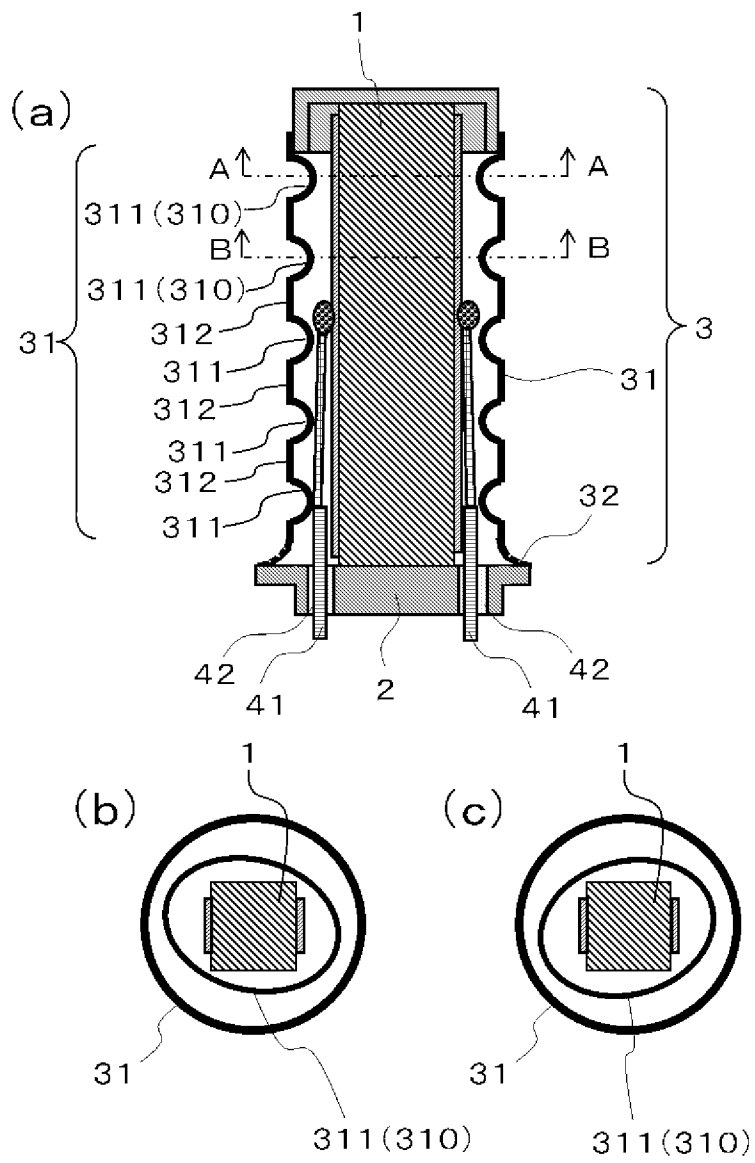
[図3]



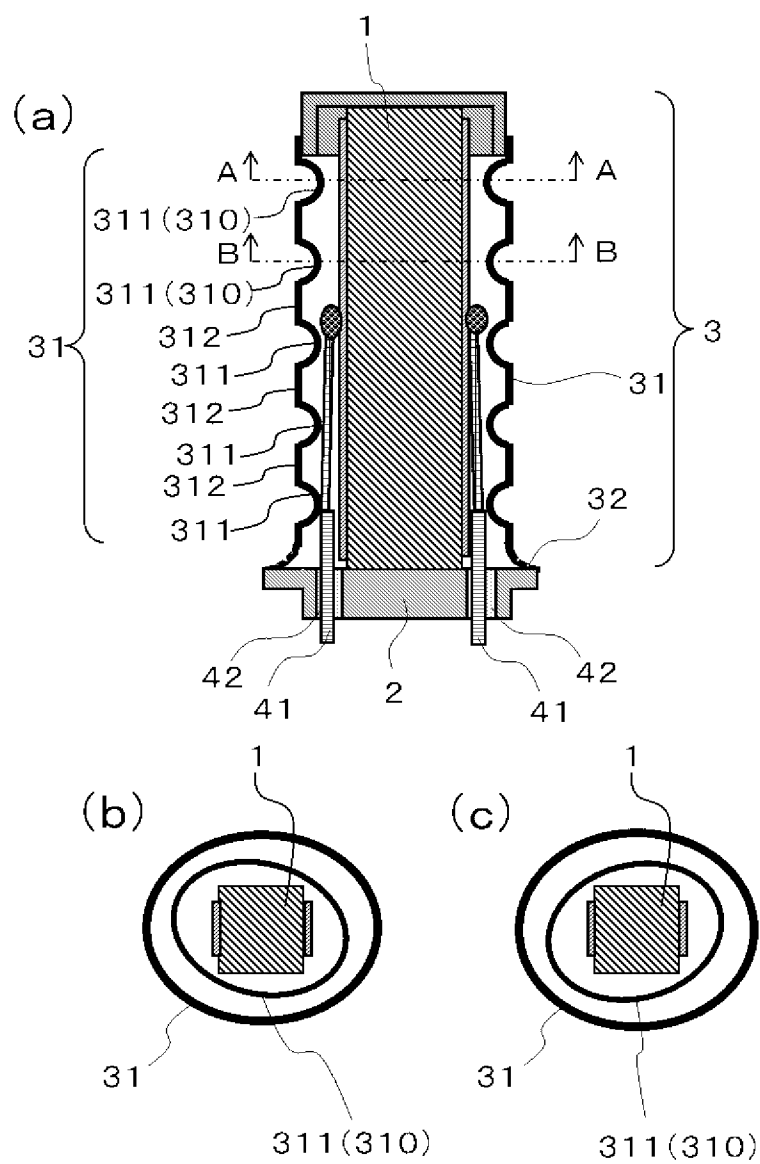
[図4]



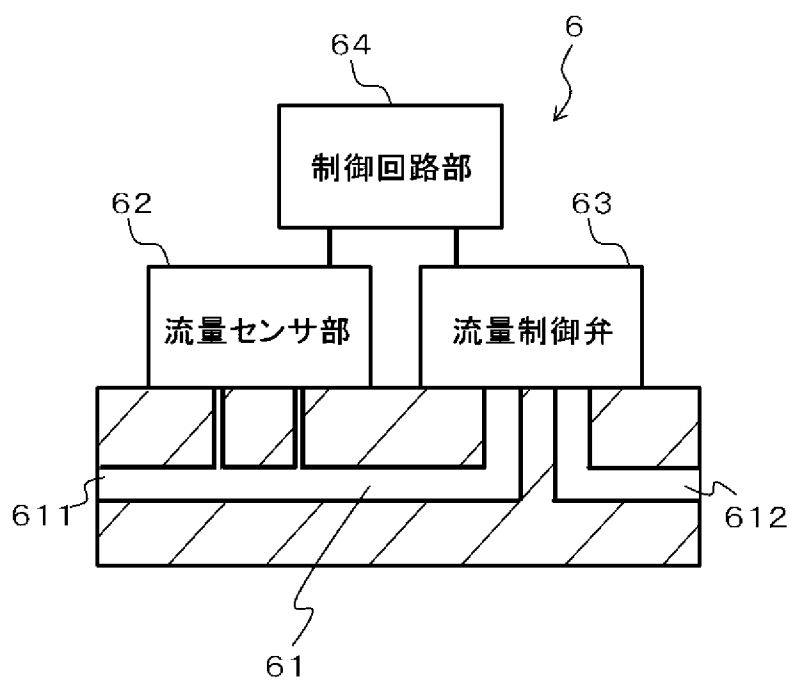
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/079454

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N2/00(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)

H02N2/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 11-22845 A (Hitachi Metals, Ltd.), 26 January 1999 (26.01.1999), paragraphs [0011] to [0019]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-6
A	JP 11-280961 A (Toray Industries, Inc.), 15 October 1999 (15.10.1999), claims 1, 3; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-6
A	JP 3-82315 A (Yazaki Corp.), 08 April 1991 (08.04.1991), page 2, upper right column, lines 5 to 14; lower left column, lines 10 to 19; fig. 1, 3 (Family: none)	1-6

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 January, 2014 (06.01.14)

Date of mailing of the international search report
14 January, 2014 (14.01.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

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. H02N2/00(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. H02N2/00

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 11-22845 A（日立金属株式会社）1999.01.26, 段落 0011-0019, 図 1-2（ファミリーなし）	1-6
A	JP 11-280961 A（東レ株式会社）1999.10.15, 請求項 1, 3, 図 1-2（ファミリーなし）	1-6
A	JP 3-82315 A（矢崎総業株式会社）1991.04.08, 第 2 頁右上欄第 5-14 行, 左下欄第 10-19 行, 図 1, 3（ファミリーなし）	1-6

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 6 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 4 . 0 1 . 2 0 1 4

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）

松永 謙一

3 V

2 9 2 5

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