

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017 年 9 月 8 日(08.09.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/150455 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 17/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/007515
- (22) 国際出願日: 2017 年 2 月 27 日(27.02.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-040615 2016 年 3 月 3 日(03.03.2016) JP
- (71) 出願人: 富士フイルム株式会社(FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布 2 丁目 2 6 番 3 0 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 直野 崇幸(NAONO, Takayuki); 〒2588577 神奈川県足柄上郡開成町牛島 5 7 7 番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所 (TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), 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: ULTRASONIC CUTTING ELEMENT AND ULTRASONIC TREATMENT TOOL

(54) 発明の名称: 超音波切断素子および超音波処置具

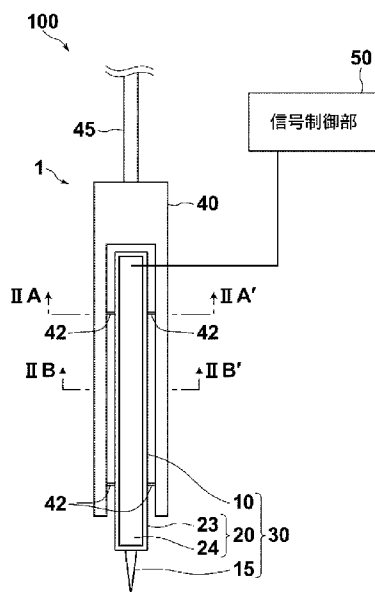


Fig. 1
50 Signal control unit

(57) Abstract: Provided are an ultrasonic cutting element and an ultrasonic treatment tool that are small enough to be used in a flexible endoscope and that can achieve a sufficiently high vibration speed. An ultrasonic cutting element (1) that comprises: a vibrator (30) that has a thin-plate-shaped main body (10), a blade part (15) that is fixed to one end of the main body (10), and a drive part (20) that is provided upon at least one main surface (11) of the main body (10); and a holding member (40) that holds the vibrator (30) at one part of the main body (10). The drive part (20) comprises a piezoelectric actuator that is formed by layering, in order from the main surface (11) side of the main body (10), a lower electrode (22), a piezoelectric film (23), and an upper electrode (24). The vibrator (30) is driven by the drive part (20) and is a flexural vibrator that undergoes both-end free bending vibration in a main surface direction. The holding member (40) supports the vibrator (30) only in a node position for a resonance mode that is for both-end free bending vibration.

(57) 要約:

[続葉有]



軟性内視鏡に適用できるレベルの小型サイズで、かつ十分大きい振動速度が得られる超音波切断素子および超音波処置具を提供する。細板状の本体（１０）、本体（１０）の一端に固定されたブレード部（１５）、および本体（１０）の少なくとも一方の主面（１１）上に設けられた駆動部（２０）を有する振動子（３０）と、振動子（３０）を本体（１０）の一部で保持する保持部材（４０）とを備えた超音波切断素子（１）において、駆動部（２０）は、本体（１０）の主面（１１）側から下部電極（２２）、圧電体膜（２３）および上部電極（２４）がこの順に積層されてなる圧電アクチュエータからなるものとし、振動子（３０）は駆動部（２０）による駆動により、主面方向に両端自由屈曲振動する撓み振動子であり、保持部材（４０）は両端自由屈曲振動の共振モードにおける節位置でのみ振動子（３０）を支持するものとする。

明 細 書

発明の名称：超音波切断素子および超音波処置具

技術分野

[0001] 本発明は、刃先を超音波振動させて被対象を切断する超音波切断素子および超音波処置具に関し、特に、軟性内視鏡の鉗子口に収納可能な小型サイズを実現可能な構造とした超音波切断素子および超音波処置具に関する。

背景技術

[0002] 内視鏡処置具として利用される超音波メスは、従来のレーザーメス、高周波ナイフ等に対し、組織選択性がある、および止血が可能である等の点で優れているため、硬性内視鏡の分野で広く用いられている。

[0003] 従来の超音波メスおよび超音波カッターなどの超音波切断素子は、圧電セラミックスのランジュバン素子を用いて縦振動を発生させる振動発生源（駆動部）と、発生した縦振動の速度を増幅するホーンとを機械的に組み合わせた構成となっている。しかしながら、ランジュバン素子とホーンとを組み合わせた大型の構成となるため、経口内視鏡や大腸内視鏡など、軟性内視鏡の鉗子口に収納可能なサイズのものは存在しない。

[0004] 超音波切断素子の小型化の試みとして、非特許文献1では、水熱合成法によって成膜したPZT薄膜を備えた駆動部を有する超音波メスが提案されている。このデバイスは、上述のランジュバン素子を備えた従来品と同様にホーンを備え、ホーンにより増幅された縦振動を利用して切断するものであるが、圧電体を薄膜化することによりデバイスとして大幅な小型化を実現している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2012-179102号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：黒澤実ら、”PZT膜を用いたマイクロ超音波メス用振動子の

振動速度向上”，信学技報 IEICE THECNICAL REPORT US2009-（2009-）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、非特許文献 1 に記載の構成の超音波切断素子では、十分な振動速度が得られないため、十分な切断性能が得られないという問題があった。

[0008] 本発明は、上記事情に鑑み、軟性内視鏡に適用できるレベルの小型サイズを実現でき、かつ十分大きい振動速度が得られる超音波切断素子および超音波処置具を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明者は、鋭意検討の結果、縦振動を用いた非特許文献 1 に記載のデバイスの振動速度不足の主原因は、隣接モードとの周波数差（＝離調度）が小さいためであることを突き止め、この知見に基づいて本発明を想到した。

[0010] 本発明の超音波切断素子は、細板状の本体、本体の一端に固定されたブレード部、および本体の少なくとも一方の主面上に設けられた駆動部を有する振動子と、振動子を本体の一部で保持する保持部材とを備えた超音波切断素子であって、

駆動部は、細板状の本体の主面側から下部電極、圧電体膜および上部電極がこの順に積層されてなる圧電アクチュエータであり、振動子は、駆動部による駆動により、主面方向に両端自由屈曲振動する撓み振動子であり、保持部材は、両端自由屈曲振動の共振モードにおける節位置でのみ振動子を支持していることを特徴とする。

[0011] ここで、本体の主面とは、細板状の本体の最大面積を有する面である。本体は細板であるため、主面は表裏に存在する。また、主面方向とは、静止状態（駆動されていない状態）の主面に垂直な方向をいう。

本明細書において、圧電体膜とは $10\ \mu\text{m}$ 以下の厚みの膜状の圧電体をいうものとする。

[0012] 本発明の超音波切断素子は、一端が保持部材に接続され、切断対象に振動

子を導くための可撓性ワイヤを備えていることが好ましい。

[0013] 本発明の超音波切断素子は、保持部材が振動子を、本体の長側面でのみ支持していることが好ましい。

[0014] 本発明の超音波切断素子は、振動子の本体と保持部材とが一枚板から形成されてなることが好ましい。

[0015] 本発明の超音波切断素子は、振動子が、本体の主面に、振動子の振動を検出する振動検出部を備えていることが好ましい。

[0016] 本発明の超音波切断素子は、駆動部に用いられる圧電体膜が、正方晶 c 軸に優先配向した、 $Pb(Zr_y, Ti_z, Nb_{1-y-z})O_3$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$

で表されるペロブスカイト型酸化物からなることが好ましい。

[0017] ここで、 Pb は一般に ABO_3 で表されるペロブスカイト構造における A サイト元素であり、 Zr , Ti , Nb は B サイト元素である。 $Pb : (Zr_y, Ti_z, Nb_{1-y-z}) : O$ のモル比は $1 : 1 : 3$ が標準であるが、ペロブスカイト構造を取りうる範囲でずれていてもよい。

[0018] 本発明の超音波切断素子は、本体が、圧電体膜の熱膨張係数よりも大きい熱膨張係数を有する材料からなることが好ましい。

[0019] 本発明の超音波処置具は、本発明の超音波切断素子と、超音波切断素子の駆動部の上部電極および下部電極に対して、両端自由屈曲振動を生じさせる共振モードの駆動電圧信号を付与する信号制御部とを備えている。

発明の効果

[0020] 本発明の超音波切断素子は、振動子として撓み振動子を用いているため、縦振動子を用いる場合と比較して小型にしても低次モードの共振周波数を用いることができる。低次モードの場合、離調を広く取ることができるため、大振幅での振動時も安定した振動が得られる。また、保持部材が振動子を撓み振動の節で保持する構造を有しているので、振動エネルギーを振動子に閉じ込めることができ、フレキシブルなカテーテルワイヤなどが接続された際でも共振周波数が低下したり、振動速度が落ちたりすることがなく、安定し

た振動を得ることができる。

[0021] したがって、本発明の超音波切断素子は、小型化しても十分大きい振動速度を得ることができ、軟性内視鏡にも適用することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]第1の実施形態における超音波切断素子および超音波切断素子を備えた超音波処置具の概略構成を示す図である。

[図2]図1に示した超音波切断素子のIIA-IIA'断面図およびIIB-IIB'断面図である。

[図3]第1の実施形態の超音波切断素子駆動部の設計変形例の断面図である。

[図4]有限要素法による共振解析結果に基づく、超音波切断素子の変位形状および節位置のシミュレーション図である。

[図5]有限要素法による共振解析結果に基づく、振動子長手方向位置における変位量を示す図である。

[図6]異なるノード数の撓み振動子の振動形状を模式的に示す図である。

[図7]第2の実施形態における超音波切断素子および超音波切断素子を備えた超音波処置具の概略構成を示す図である。

[図8A]比較例1の超音波切断素子の構造Aを示す平面図である。

[図8B]比較例2の超音波切断素子の構造Bを示す平面図である。

[図8C]実施例1の超音波切断素子の構造Cを示す平面図である。

[図9A]比較例1の超音波切断素子の変位状態を示すシミュレーションによる模式図である。

[図9B]比較例2の超音波切断素子の変位状態を示すシミュレーションによる模式図である。

[図9C]実施例1の超音波切断素子の変位状態を示すシミュレーションによる模式図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照して本発明の超音波切断素子および超音波切断素子を備えた超音波処置具の実施の形態について説明する。

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態の超音波切断素子を備えた超音波切断処置具の構成を模式的に示す概略構成図である。図 2 は、図 1 に示す超音波切断素子の IIA-IIA' 断面図および IIB-IIB' 断面図であり、図 3 は設計変更例の超音波切断素子の断面図である。

[0024] 超音波切断素子 1 は、図 1 に示すように、細板状の本体 10、その本体 10 の一端に固定された、切断対象を切断するためのブレード部 15、および本体 10 の少なくとも一方の主面上に設けられた駆動部 20 を有する振動子 30 と、振動子 30 を本体 10 の一部で保持する保持部材 40 とを備えている。また、超音波切断素子 1 は、一端が保持部材 40 に接続され、切断対象に振動子 30 を導くための可撓性ワイヤ 45 を備えている。

[0025] そして、本超音波切断素子 1 を備えた超音波処置具 100 は、超音波切断素子 1 に加え、超音波切断素子 1 の駆動部 20 に対して後述する共振モードの駆動電圧信号を入力する信号制御部 50 を備えている。

[0026] 振動子 30 は、駆動部 20 による駆動により主面方向に両端自由屈曲振動する撓み振動子である。

[0027] 駆動部 20 は、振動子 30 に超音波振動を生じさせるものである。図 2 に示すように、駆動部 20 は本体 10 の少なくとも一方の主面 11 上に下部電極 22、圧電体膜 23 および上部電極 24 がこの順に積層されてなる圧電アクチュエータである。ここで、「下部」および「上部」は天地を意味するものではない。圧電体膜を挟んで設けられる一対の電極に関し、本体 10 を基準として本体側に配置される一方の電極を下部電極、他方の電極を上部電極と称しているに過ぎない。

[0028] なお、図 3 に示すように、駆動部 20 は本体 10 の 2 つの主面 11、12 のそれぞれに設けられていてもよい。図 3 に示すように圧電体膜 23 を二層にすることで、一層のみの場合に比べて力を発生させる部分の面積を 2 倍にできるため、単位電圧あたりの発生力を 2 倍にすることができる。そのため、切断素子としての切断性が向上する。また、図 3 に示すように、保持部材 40 にも下部電極 22 および圧電体膜 23 が形成されていても構わない。保

持部材 40 に設けられている圧電体膜 23 は駆動には寄与しない。

[0029] 上部電極 24 - 下部電極 22 間に駆動電圧が印加されることにより、圧電体膜 23 に伸縮が生じて駆動部 20 が形成されている本体 10 および本体 10 と一体となっているブレード部 15 に超音波振動を生じさせることができる。

[0030] 下部電極 22 は必要に応じて設ければよい。例えば、本体 10 が金属などの導電性を有する材料で形成されている場合は、下部電極 22 を設けず、本体 10 上に直接圧電体膜 23 を成膜してもよい。下部電極 22 の主成分としては、特に制限はなく、Au、Pt、Ir、IrO₂、RuO₂、LaNiO₃、およびSrRuO₃等の金属または金属酸化物、および、これらの組合せが挙げられる。上部電極 24 の主成分としては特に制限なく、下部電極 22 で例示した材料、Al、Ti、Ta、Cr、およびCu等の一般的に半導体プロセスで用いられている電極材料、およびこれらの組合せが挙げられる。

[0031] 圧電体膜 23 としては、下記一般式 (P) で表される 1 種または複数種のペロブスカイト型酸化物を用いることができる。

[0032] 一般式 $ABO_3 \cdots (P)$

(式中、A：A サイト元素であり、Pb を含む少なくとも 1 種の元素、B：B サイトの元素であり、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Sc、Co、Cu、In、Sn、Ga、Zn、Cd、Fe、Ni、およびランタニド元素からなる群より選ばれた少なくとも 1 種の元素、O：酸素原子。

A：B：O のモル比は 1：1：3 が標準であるが、このモル比はペロブスカイト構造を取り得る範囲内でずれてもよい。)

[0033] 特には、 $Pb(Zr_y, Ti_z, Nb_{1-y-z})O_3$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$ で表される、所謂 PZT (lead zirconate titanate)、あるいは Nb-PZT (Nb doped lead zirconate titanate) と称される、ペロブスカイト型酸化物であることが好ましい。特には、Nb / (Zr + Ti + Nb) モル比が 0.06 以上 0.20 以下である Nb-PZT が好ましい。また、圧電体膜が

、PZTもしくはNb-PZTである場合、正方晶c軸に優先配向した膜であることが好ましい。このPZTもしくはNb-PZTからなる圧電体膜はc軸優先配向の場合、誘電率が小さくなり、駆動時の発熱を抑え、耐久性を向上することができるからである。

なお、ここで、「c軸配向」とは、ペロブスカイト構造の正方晶におけるc軸が、膜厚方向に平行な向きを持つことを意味する。c軸優先配向であるか否かは、圧電体膜についてX線構造解析を行って判断することができる。c軸配向を示す(001)のピークがa軸配向を示す(100)のピークよりも大きい場合、「c軸優先配向」と看做することができる。

[0034] 下部電極22と上部電極24の厚みは特に制限なく、例えば200nm程度である。圧電体膜23の膜厚は10μm以下であれば特に制限なく、通常1μm以上であり、例えば、1～5μmである。駆動部に厚み10μm以下である圧電体膜を用いているので、従来のランジュバン振動子を用いた構造に比べて、特に厚み方向でのサイズダウンが可能であり、軟性内視鏡に組み込めるサイズでの設計が可能となる。

[0035] なお、本体10の構成材料についても特に制限はないが、Ti、Alあるいはそれらの合金、ステンレス鋼、アルミナ、タングステン、シリコンなどを挙げることができる。PZTあるいはNbドーピングPZTを圧電体膜とする場合、チタン、チタン合金、ステンレス鋼あるいはアルミナなどの圧電体膜の熱膨張係数より大きい熱膨張係数を有する材料を用いるのが好ましい。これにより、圧電体膜の配向を容易にc軸方向への優先配向とすることができる。

[0036] 保持部材40は、両端自由屈曲振動の共振モードにおける節（ノード）位置でのみ振動子30を支持している。保持部材40は支持部42で振動子30の本体10と接続されている。この支持部42は振動子30の節位置で本体10と接続されている。

特に、本実施形態においては、保持部材40の支持部42は、本体10の長側面でのみ本体10に接続されて、長側面（主面に垂直な長手方向の側面

）でのみ支持されている。本体 10 の 2 つの長側面から節位置で両側から挟むようにして支持される。このように、保持部材 40 は、振動子 30 の 1 つの節位置において振動子 30 を挟んで対向する少なくとも 2 点で支持する。

[0037] 両端自由屈曲振動の共振モードにおける節とは、振動子 30 が撓み振動を行う際、変位が 0 となる地点である。節位置は、有限要素法を用いた共振解析による求めることができる。図 4 は有限要素法 (Finite Element Method : FEM) の共振解析結果に基づく変位形状および節位置を示す斜視模式図である。図 5 は共振解析結果に基づく、振動子の長手方向位置毎の変位量を示すグラフである。図 4 および図 5 においては、一例として、本体の長手方向長さ $L = 8.0 \text{ mm}$ 、短手方向長さ 1.2 mm 、ブレード長さ 1.5 mm 、ブレード根元部の幅 0.3 mm とした場合における例を示している。

[0038] ここでは、節の数 (ノード数) が 2 となる最低次数の振動の場合について検討している。振動子の形状がブレードを備えていない、長手方向寸法が L の細板である場合、長手方向の両端からそれぞれ約 $L/4$ の位置に節が存在する。しかしながら、図 4 に示すように、ブレード部 15 が細板状の本体 10 の先端に設けられているため、長手方向の質量バランスが崩れる。そのため、節位置は細板の本体のみの場合とは異なる。ブレードが付与されている場合の節位置は、図 5 に示す長手方向位置において、変位量が 0 となる位置である。

[0039] なお、保持部材 40 による振動子 30 を支持する節位置とは、厳密に上記の変位量が 0 となる節に限定されるものではなく、節近傍を含む。この節近傍とは、変位量が共振モードの振動子最大変位点における変位量の 5 % 以下である範囲をいうこととする。

[0040] 撓み共振モードとしては、ノードの数が 2 である最低次モードよりも、ノードの数が 3 以上である高次モードを使用することにより、振動エネルギーを向上させ、切断対象に対して大きな仕事を行うことができる。

[0041] 図 6 は、ノード数 2、3 および 4 の場合の撓み振動子の振動形状を模式的に示す図である。先に説明したノード数 2 が最も次数の低い共振モードであ

る。各ノード数の場合について、振動エネルギーをFEMの共振解析によって計算した結果を下記表1に示す。ここでは、振動周波数がほぼ同等の30.7kHz程度となるようにした上で、振動子長さを設計し、ブレード速度1m/s当たりの振動エネルギーを求めた。なお、各例の振動子におけるブレード長さは1.5mm、ブレード根元部の幅は0.3mmで統一した。

[0042] [表1]

ノード数 [個]	2	3	4
振動子長さ [mm]	9.5	15	20.5
振動周波数 [kHz]	30.7	30.8	30.7
ブレード速度1m/s当たりの振動エネルギー[μNm]	0.74	1.2	1.7

[0043] 表1に示す通り、ノード数が大きくなるにつれて、振動エネルギーが大きいくことが分かる。振動エネルギーが大きい場合、ブレード先端に負荷がかかった際の振動速度の低下を抑制することができるため、切断特性を安定して維持することができる。つまり、ノード数の多い撓み振動モードを用いた設計がされた場合、切断時に大きな負荷がかかっても、切断特性を維持することができる。但し、ノード数が大きい共振モードを採用した場合、振動子の長さが大きくなってしまう。ノード数の増加による切断特性の向上と小型化とはトレードオフの関係にあるので、用途に応じて適宜設定すればよい。

なお、保持部材により支持される節位置は、1つのみでも構わないが、2以上の節位置で支持されていることが好ましい。

[0044] 上記の通り、本発明の超音波切断素子は撓み振動子を備えている。よって、縦振動に比べて共振周波数が低次モードで実現できる。そのため、隣接モードとの離調度を広く取ることができ、かつ、大振幅での振動時も安定した振動を得ることができる。離調度が小さい場合、目的の振動モードでの駆動時に、隣接した振動モードが混入する。この場合、互いの振動による寸法変化が影響して非線形性が発生し、振動速度が伸び悩む主要因となる。さらに

、この現象は振動速度が大きくなるほど顕著となる。このような観点から、離調度の大きい撓み振動は、高い振動速度を容易に得ることができる。十分な振動速度を得るためには、離調度を５％以上とすることが好ましい。

[0045] 一方で、撓み振動子を備えた超音波切断素子を軟性内視鏡に適用する場合、撓み振動子は振動振幅が大きいため、支持方法を適切に行わないと、柔らかいカテーテルワイヤに振動エネルギーが漏れ、共振周波数が大幅に低下して駆動不可能となってしまうという課題が発生する。本発明者はその課題を見出した。これは、軟性内視鏡に適用する際に初めて発生する課題であり、軟性内視鏡への適用を検討しなければ生じ得ない。本発明の超音波振動子は、振動子を撓み振動の節近傍で保持する構造を有しているので、振動エネルギーを振動子に閉じ込めることができる。よって、可撓性のあるカテーテルワイヤなどが接続された際でも共振周波数が低下したり、振動速度が落ちたりすることがない。つまり、共振周波数や振動速度等の切断特性を保つことができる。

[0046] なお、本発明の超音波切断素子は可撓性のワイヤを備えているものに限らず、保持部材が強固な固定部材に接続されていてもよい。しかし、既述の通り、振動子の外に振動エネルギーを逃がさないという効果は、可撓性ワイヤに接続されている場合に特に顕著である。

[0047] なお、図１および図２に示す本実施形態の超音波切断素子１は、本体１０および保持部材４０が一枚板から形成されてなることが好ましい。例えば、レーザー加工により、一枚の基板から保持部材４０および本体１０の外形を切り出すと共に、保持部材４０の支持部４２を残し、保持部材４０と本体１０との間に隙間を形成することにより作製することができる。このように、一体構造として作製することにより、複雑な組み上げプロセスを無くし、低コストで製造することができる。

[0048] 図７は、第２の実施形態の超音波切断素子２の構成を模式的に示す平面図である。

本実施形態の超音波切断素子２は、本体１０の主面１１の一部に振動状態

を検出する振動検出部 25 を設けている点で先に説明した第 1 の実施形態の超音波切断素子 1 と異なる。第 1 の実施形態の超音波切断素子 1 と同一構成要素には同一符号を付し、詳細な説明は省略する。

[0049] 本実施形態においては、第 1 の実施形態の超音波切断素子 1 における駆動部 20 の上部電極 24 を一部分割し、振動検出部 25 の検出用電極 27 として用いている。振動検出部 25 の構成は、駆動部 20 と同様であり、下部電極 22、圧電体膜 23 および検出用電極 27 の積層構造となっている。振動検出部 25 の検出用電極 27 および下部電極 22 間を電氣的に開放状態とすることで、応力が印加された際に正圧電効果によって応力量に応じた電圧が両電極間に発生する。この応力発生時に生じる電圧を検出信号として利用して、振動子が共振状態にあるかどうかをモニタすることができる。なお、振動検出部 25 は応力が生じやすい領域に備えられていることが好ましい。

[0050] 共振状態にあるか否かの判断方法には、駆動信号と検出信号の位相差を利用する方法と、検出信号の大きさを利用する方法とがある。前者の場合、駆動用電圧信号と検出信号の位相差が 90° であれば共振状態にあると判断できる。また、後者の場合、共振状態において検出信号の振幅が最大値を示すことを利用する。

[0051] 信号制御部 50 は駆動部 20 に対して、振動子 30 を撓み振動の共振モードで振動させる共振周波数の駆動電圧信号を入力する。超音波切断素子による切断処理は共振状態で行う。ところで、切断対象を切断する際にブレード部 15 の先端部に負荷がかかると、共振周波数が変化する。本実施形態の超音波切断素子 2 においては、振動検出部 25 からの検出信号が信号制御部にフィードバックされる構成を備える。信号制御部 50 は検出信号と駆動電圧信号との位相差もしくは検出信号の振幅に基づいて、共振状態からのずれを算出する。さらに、算出された共振状態からのずれを常に共振状態となるように補正された駆動電圧信号を生成する。この補正された駆動電圧信号を駆動部 20 に付与する。すなわち、本実施形態の超音波切断素子 2 の構成により、常に共振状態を保った状態で動作させることが容易に可能となる。

[0052] なお、振動検出部 25 は、上記実施形態のように駆動部 20 の一部を分割して構成される形態の他、駆動部 20 が形成されていない他方の主面側に別途に設けられていてもよい。

すなわち、図 3 に示す断面図のように、本体 10 の両方の主面にそれぞれ下部電極、圧電体膜および上部電極の圧電素子構造を備え、一方の主面側の圧電素子を駆動部として、かつ、他方の主面側の圧電素子を振動検出部として利用してもよい。

実施例

[0053] 以下、実施例および比較例を挙げて本発明をより詳細に説明する。

本発明の超音波切断素子の具体的な比較例 1、比較例 2 および実施例 1 の小型超音波メスの構造 A～C を図 8 A、図 8 B および図 8 C にそれぞれ示す。

図 8 A、8 B および 8 C には、各素子の各部の寸法を併せて示している。各図中 t はそれぞれの本体の板厚である。いずれも単位は [mm] である。

[0054] また、図 9 A、9 B および 9 C は、それぞれ図 8 A、図 8 B および図 8 C の各振動子の振動モードにおける変位状態を示す模式的な斜視図である。図 9 A、9 B および 9 C においては色が薄いほど静止状態（図中細実線）からの変位量が大きいことを示している。

図 8 A および図 9 A に示す比較例 1 の超音波切断素子（構造 A）は、先端にホーン部を備えた従来型縦振動の超音波メスである。図 9 A に両矢印で示す振動方向、すなわちブレードの長手方向に振動する縦振動によって、ブレード先端を対象に突き刺して切断する。

[0055] 一方、比較例 2 の超音波切断素子（構造 B）および比較例 3 の超音波切断素子（構造 C）は、本体の厚み方向（主面方向）に屈曲する振動、つまり撓み振動を利用する超音波メスである。図 9 B および図 9 C において両矢印で示す振動方向、即ちブレードを本体の厚み方向に振動させて対象を切断する。

[0056] 比較例 1、2 および実施例 1 の素子の作製手順について説明する。

本体および保持部材を構成する基板として、0.4 mm厚（比較例1、実施例1）、1.0 mm厚（比較例2）の2種類の64チタン合金板材（規格：ASTM Gr.5, ASTM F136）を用いた。

まず、基板表面にスパッタ法で基板温度350℃にて密着層としてTiを30 nm成膜し、引き続きTi膜上にIrからなる下部電極を150 nm形成した。得られた下部電極上に、Rf（radio frequency）スパッタ法によって圧電体膜を約3 μm成膜した。成膜ガスは97.5%Ar+2.5%O₂の混合ガスを用い、ターゲット材料としてPb_{1.3}(Zr_{0.52}Ti_{0.48})_{0.88}Nb_{0.12}O₃の組成のものを用いた。得られた圧電体膜（以下においてNb-PZT膜という。）上に、リフトオフ法によってAu(300 nm)/Ti(30 nm)の二層構造の上部電極をパターンニング形成した。最後に、レーザー加工によって基板を外形加工して図8A、8Bおよび8Cに示す形状とした。

[0057] まず、図8A、8Bおよび8Cに示した構造A、B、Cの超音波切断素子について、共振モード周波数、モード次数およびその際の離調度を有限要素法（Finite Element Method：FEM）シミュレーションによって計算した。

下記表2に、各構造における切断に用いる振動モードの共振周波数、離調度をFEMシミュレーションによって計算した結果を示す。

表2に示すように、構造Aの縦振動モードは36次モードと高次であり、その離調度は0.4%と非常に小さい。一方、構造Bおよび構造Cの曲げ振動はそれぞれ1次、3次モードであり、離調度はそれぞれ17%、35%と十分大きな値が得られているため、高い振動速度を得るのに有利と言える。

[0058] [表2]

	構造	振動モード	FEMシミュレーション結果			実駆動結果	
			共振周波数	モード次数	離調度	最大振動速度 (強固定)	最大振動速度 (ワイヤ経由固定)
比較例1	A	縦振動	198 kHz	36次	0.40%	1.7 m/s	1.7 m/s
比較例2	B	撓み振動	20 kHz	1次	17%	21 m/s	<0.001 m/s
実施例1	C	撓み振動	33 kHz	3次	35%	25 m/s	25 m/s

[0059] 上記表2には、各素子についてのブレード先端の振動速度についての実験

結果を併せて示した。振動速度の測定方法は以下の通り行った。

構造 A, B, C の各超音波切断素子について、駆動部の上部電極および下部電極からワイヤボンディングによって配線を引き出し、信号制御部であるファンクションジェネレータに接続した。上部電極および下部電極間にファンクションジェネレータによってそれぞれの共振周波数に該当する周波数の正弦電圧波形を印加することで振動子を加振し、レーザードップラー計によってブレード部先端の最大振動速度を測定した。なお、加振はそれぞれ、表 1 に示す共振モードの共振周波数で行った。

[0060] 各例の超音波切断素子について、図 8 A、8 B および 8 C における保持部材のブレードとは反対の端部を「強固定」および「ワイヤ経由固定」の 2 種類の方法にて固定する形として、それぞれの場合のブレード部先端の最大駆動速度を測定した。

ここで、強固定としては、各超音波切断素子に対して十分に大きい重量を持つ物体によって重力固定した。また、ワイヤ経由固定としては、カテーテルを想定し、直径 1 mm のチタン製ワイヤの一端と保持部材の端部とを接着剤によって接合した上でワイヤの他端を強固定した。

[0061] 表 2 に示す実駆動結果に関し、まず、強固定の場合について言及する。比較例 1 の素子については、駆動電圧の上昇とともに振動速度は上昇したが、
1. 7 m/s 以上の速度は振動が不安定になって得られなかった。離調度が小さいため、振動振幅が大きくなるにつれて隣接振動モードが混入し、振動が不安定になったと考えられる。これに対し、比較例 2 および実施例 1 の素子ではいずれも 20 m/s 以上の振動速度が得られた。比較例 2 および実施例 1 の素子では、振動速度の上限は振動の不安定性ではなく、圧電体の絶縁破壊によって引き起こされた。つまり、離調度の大きい撓み振動を用いることで、振動振幅が大きくなっても安定して振動させることができるため、大きい振動速度が得られた。

[0062] 次に、カテーテルへの組み込みを想定したワイヤ経由固定の場合について言及する。比較例 2 に示す構造 B のような片持ち梁振動子は、振動する際に

保持部材固定端から反力を受ける。つまり、振動エネルギーが振動子の外に漏れるため、ワイヤ経由固定で振動させた際に振動速度が著しく低下する結果となった。これに対して実施例1の素子は、撓み振動の節位置にて振動子を支持しているため、保持部材に反力はほとんど発生せず、振動子にエネルギーを閉じ込めることができる。したがって、ワイヤ経由固定で振動させても、振動速度の低下は確認されなかった。

[0063] 一般的に、ブレード部先端の最大振動速度が3 m/sを上回れば、超音波メスとして良好な切断特性が得られる。本発明の実施例1の素子は、強固定の場合およびワイヤ経由固定の場合ともに25 m/sの最大振動速度を達成しており、比較例1および比較例2の素子に比べて切断特性も良好であった。すなわち、節近傍で撓み振動子を保持することにより、カテーテル先端においても高い振動速度を得ることが可能であることが明らかになった。したがって、本発明の超音波切断素子は、例えば、軟性内視鏡下での腫瘍などの切除に適用可能である。

[0064] 上述のように、節支持の撓み振動子を用いた本発明の超音波切断素子の構造を採用することにより、カテーテル先端で高い振動速度が得られた。

[0065] ところで、超音波切断素子は、物体を切断している最中は、駆動部に強い応力と駆動電圧が組み合わさって印加される上に、誘電損失による発熱が発生する。そのため、繰り返し駆動を行うと絶縁破壊が起きやすくなる。超音波切断素子の実用性を高めるには、絶縁破壊を抑制し、駆動寿命を伸ばすことが課題となる。

[0066] そこで、実施例1の超音波切断素子の構造Cにおいて、基板を変えて実施例2～5の素子を作製し、駆動耐久性を比較する実験を行った。

実施例2～5の素子は、基板を下記表3に示す通りとした以外は、上記の実施例1と同様の製造方法にて作製した。表3には、各基板の材料（以下において、基板材料）とその熱膨張係数およびNb-PZT膜の配向性、誘電率並びに駆動耐久性の評価を併せて示す。

[0067] 各基板材料の熱膨張係数は、電子材料ハンドブック（朝倉書店）、ステン

レス協会ホームページ(<http://www.jssa.gr.jp/contents/faq-article/q6/>)、株式会社神戸製鋼所ホームページ(<http://www.kobelco.co.jp/titan/characteristic/>)、株式会社アライドマテリアルホームページ(<http://www.allied-material.co.jp/products/tungsten/processed/>)、京セラ株式会社ホームページ(<http://www.kyocera.co.jp/fcworld/character/heat/thermaexpan.html>)を参照した。

Nb-PZT膜の配向性はX線構造解析を行い、(001)ピークと(100)ピークとを比較してピーク強度が大きかった方の面を示した。

Nb-PZT膜の誘電率は、インピーダンスアナライザを用いて周波数1kHzに対するキャパシタンスを測定した値から算出した。

[0068] [表3]

	構造	基板		Nb-PZT 膜		駆動耐久性
		材料	熱膨張係数 [$^{\circ}\text{C}$]	配向性	誘電率	
実施例1	C	チタン合金	8.8 ppm	(001)	410	A
実施例2	C	ステンレス鋼 (SUS430)	10.4 ppm	(001)	350	A
実施例3	C	アルミナ	7.0 ppm	(001)	440	A
実施例4	C	タングステン	4.0 ppm	(100)	1100	B
実施例5	C	シリコン	2.6 ppm	(100)	1150	C

[0069] 表3に示す通り、基板材料が異なるとNb-PZT膜の結晶配向性が変化する。これは、圧電体膜と基板の熱膨張係数の差に起因して生じる。一般的に、圧電体膜よりも小さい熱膨張係数を持つ材料からなる基板を用いると、高温成膜後の冷却過程において圧電体膜に引っ張り方向の残留応力が印加され、結晶格子の長軸が面内方向を向く(100)方向(=a軸配向)となる。例えば、圧電膜を熱膨張係数が6.7 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ であるNb-PZT膜とし、基板材料をシリコンやタングステンとした場合である。一方、アルミナ、ステンレス鋼(ここではSUS430)、チタン合金のように圧電体膜より

も大きい熱膨張係数を持つ材料からなる基板を用いると、圧電体膜に圧縮方向の残留応力が印加され、結晶格子の長軸が垂直方向を向く（001）方向（＝c軸配向）となる。

[0070] <駆動耐久性>

実施例1～5の素子についての駆動耐久性の試験を行った。具体的には、駆動開始から機能停止までの時間T[時間（h）]を計測し、以下の基準で駆動耐久性を評価した。

A : $120\text{ h} < T$

B : $24\text{ h} < T \leq 120\text{ h}$

C : $T \leq 24\text{ h}$

このとき、ブレード部先端に切断負荷としてゴムを接触させ、共振周波数を維持しながら30V_{pp}の正弦波を駆動部に印加して長期駆動させた。機能停止の時間の定義は、圧電膜の絶縁破壊により振動速度が10%以下に落ち込んだ時点である。

[0071] 表3に示す通り、c軸方向に配向したNb-PZTを備えた実施例1～3はa軸配向したNb-PZTを備えた実施例4および5に比べて耐久性がよいという結果が得られた。Nb-PZTがc軸配向することにより、誘電率が低くなる。そのために、駆動時の発熱が小さくなる。その駆動時の発熱が小さくなる効果により、耐久性が改善したと考えられる。

上記の通り、本発明の超音波切断素子において、PZT膜を圧電体膜に用いる場合には、c軸方向に優先配向した膜を用いることが、耐久性の観点から好ましいことが明らかになった。

符号の説明

[0072] 1、2 超音波切断素子

10 本体

11、12 主面

15 ブレード部

20 駆動部

2 2	下部電極
2 3	圧電体膜
2 4	上部電極
2 5	振動検出部
2 7	検出用電極
3 0	振動子
4 0	保持部材
4 2	支持部
4 5	可撓性ワイヤ
5 0	信号制御部
1 0 0	超音波処置具

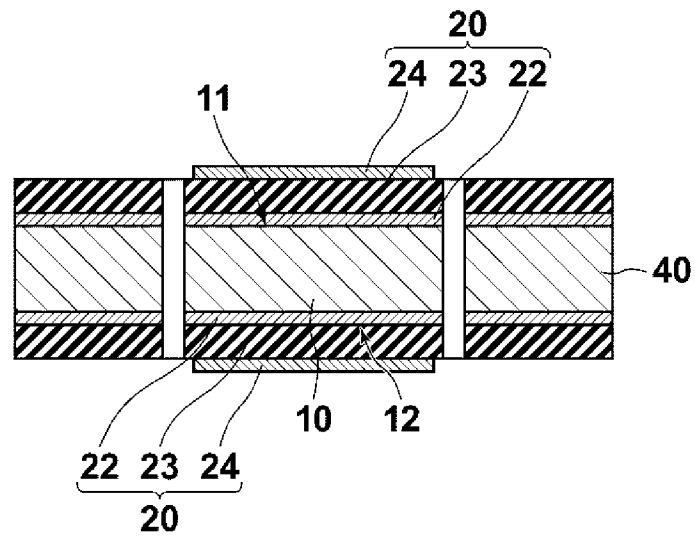
請求の範囲

- [請求項1] 細板状の本体、該本体の一端に固定されたブレード部、および前記本体の少なくとも一方の主面上に設けられた駆動部を有する振動子と、該振動子を前記本体の一部で保持する保持部材とを備えた超音波切断素子であって、
- 前記駆動部は、前記本体の前記主面側から下部電極、圧電体膜および上部電極がこの順に積層されてなる圧電アクチュエータであり、
- 前記振動子は、前記駆動部による駆動により、主面方向に両端自由屈曲振動する撓み振動子であり、
- 前記保持部材は、前記両端自由屈曲振動の共振モードにおける節位置でのみ前記振動子を支持している超音波切断素子。
- [請求項2] 一端が前記保持部材に接続され、切断対象に前記振動子を導くための可撓性ワイヤを備えた請求項1記載の超音波切断素子。
- [請求項3] 前記保持部材が前記振動子を、該本体の長側面でのみ支持している請求項1または2に記載の超音波切断素子。
- [請求項4] 前記振動子の前記本体と前記保持部材とが一枚板から形成されてなる請求項1から3いずれか1項記載の超音波切断素子。
- [請求項5] 前記振動子が、前記本体の主面に、該振動子の振動を検出する振動検出部を備えている請求項1から4いずれか1項記載の超音波切断素子。
- [請求項6] 前記駆動部に用いられる圧電体膜が、正方晶c軸に優先配向した、 $\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_z\text{Nb}_{1-y-z})\text{O}_3$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$ で表されるペロブスカイト型酸化物からなる請求項1から5いずれか1項記載の超音波切断素子。
- [請求項7] 前記本体が前記圧電体膜の熱膨張係数よりも大きい熱膨張係数を有する材料からなる請求項6記載の超音波切断素子。
- [請求項8] 請求項1から7のいずれか1項に記載の超音波切断素子と、
- 前記駆動部の前記上部電極および前記下部電極に対して、前記両端

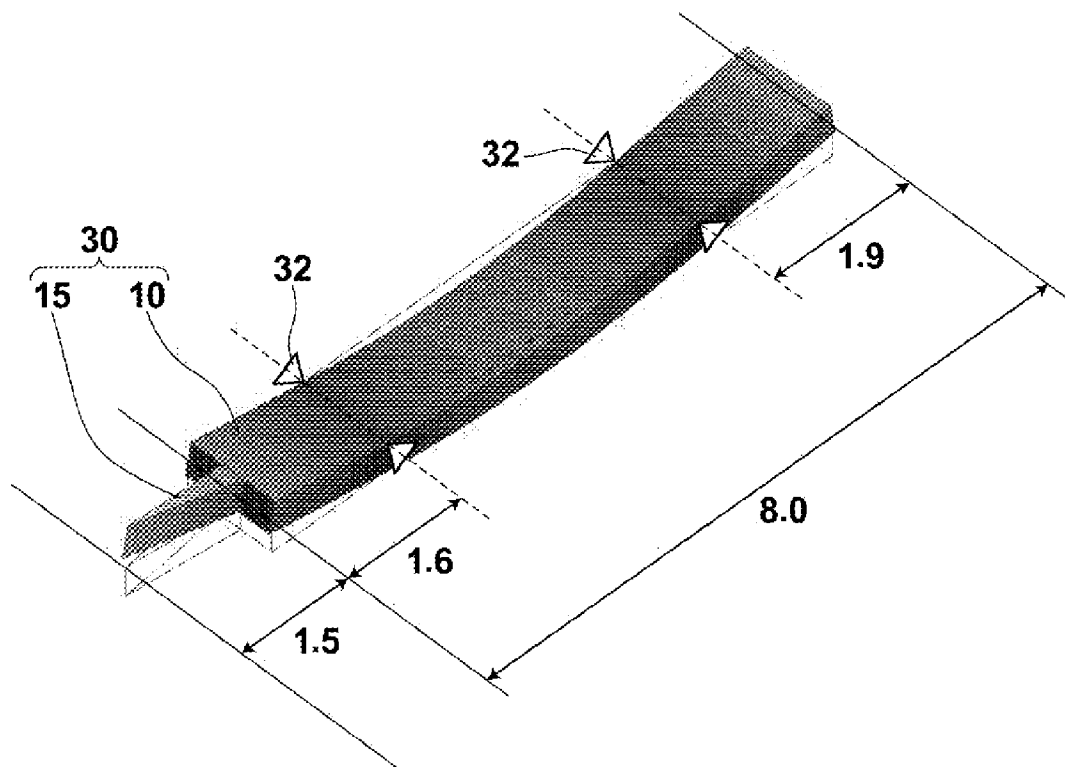
自由屈曲振動を生じさせる共振モードの駆動電圧信号を付与する信号制御部とを備えた超音波処置具。

Figure 1 is a schematic diagram of a probe system 100. The system includes a probe 1 with a shaft 45 and a body 40. The body 40 contains a central channel 10, a sleeve 20, and a tip 15. The sleeve 20 has a proximal end 23 and a distal end 24. The tip 15 is a conical structure. The probe 1 is connected to a signal control unit 50. The probe 1 is also labeled with II A, II A', II B, and II B'.

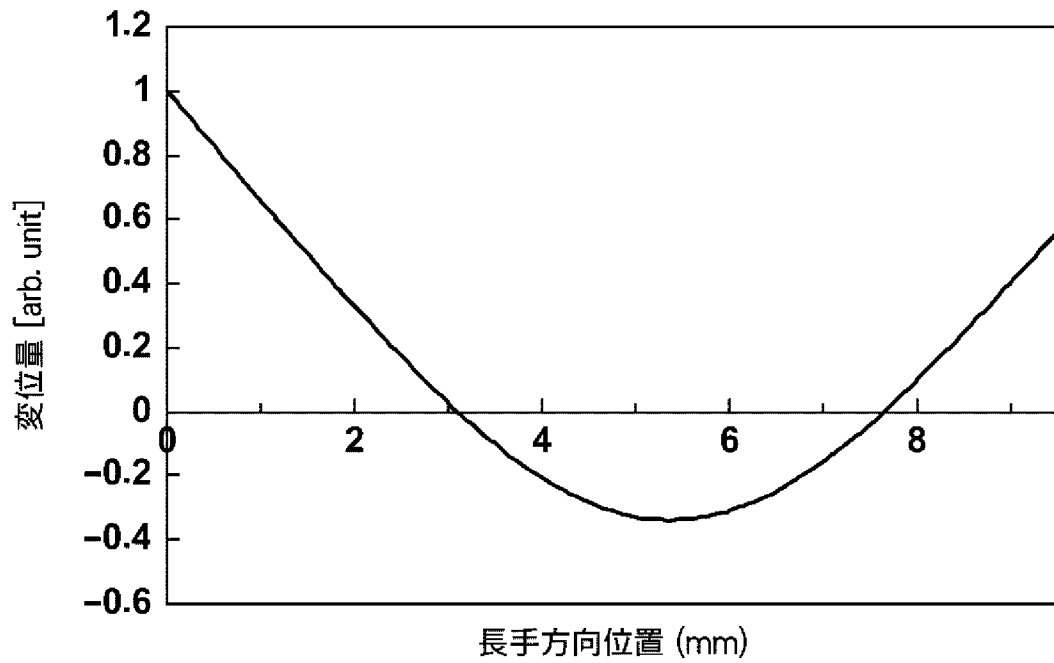
[図3]



[図4]



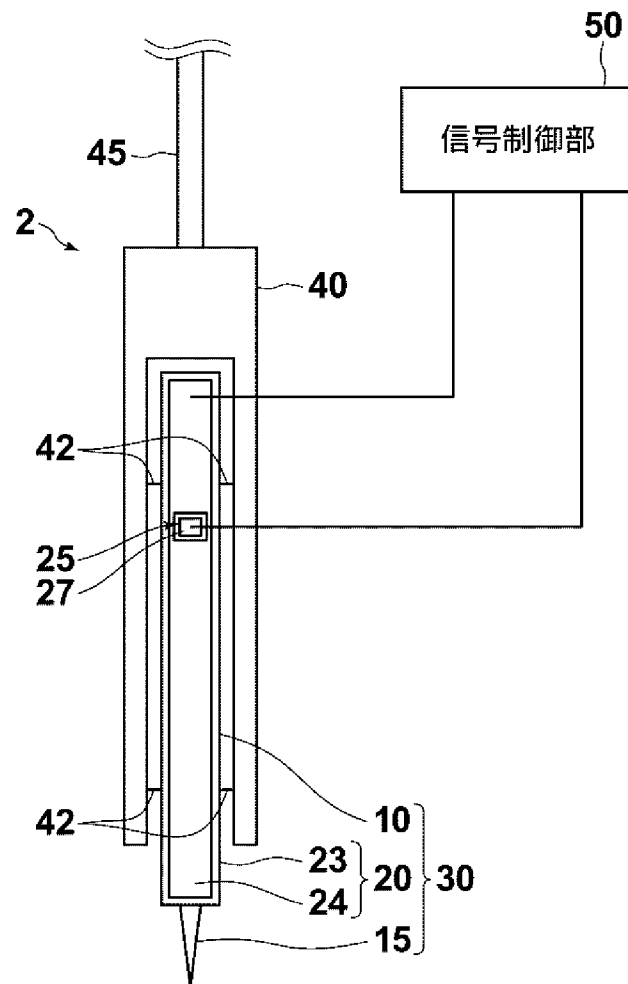
[図5]



[図6]

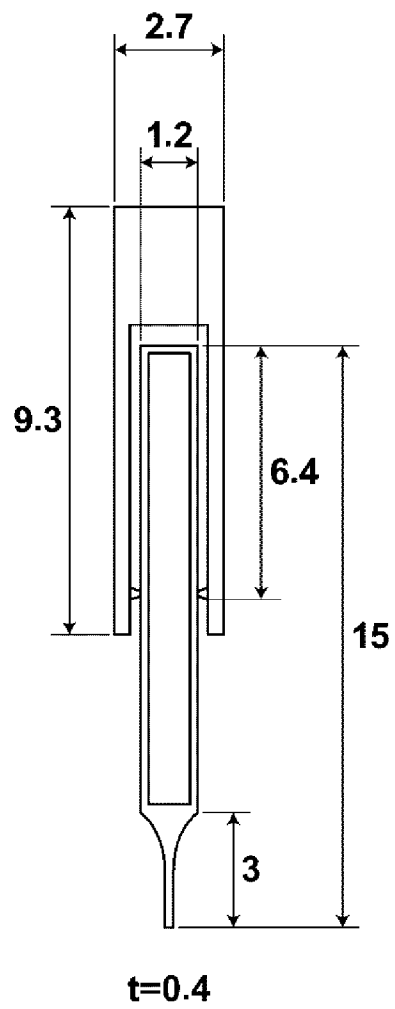
ノード数	振動形状
2	
3	
4	

[図7]



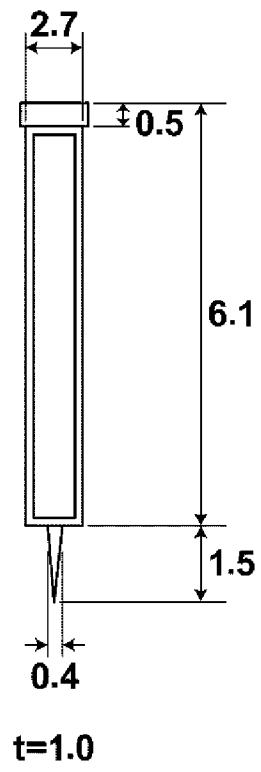
[図8A]

構造A(比較例1)



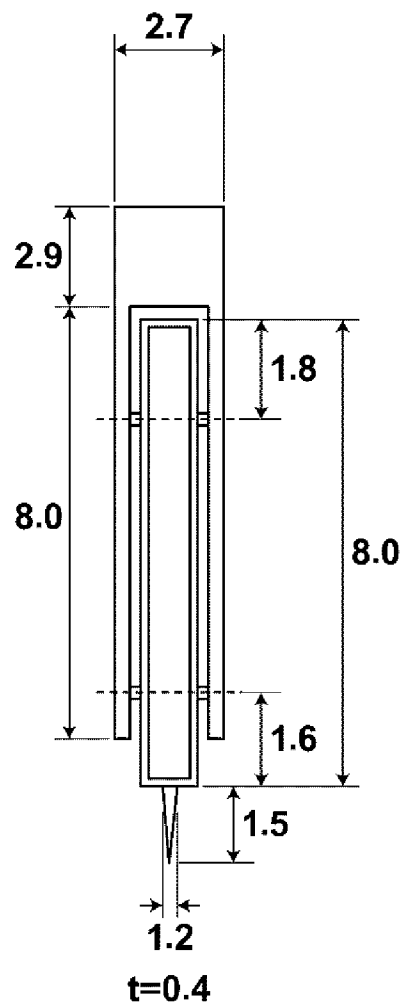
[図8B]

構造B(比較例2)



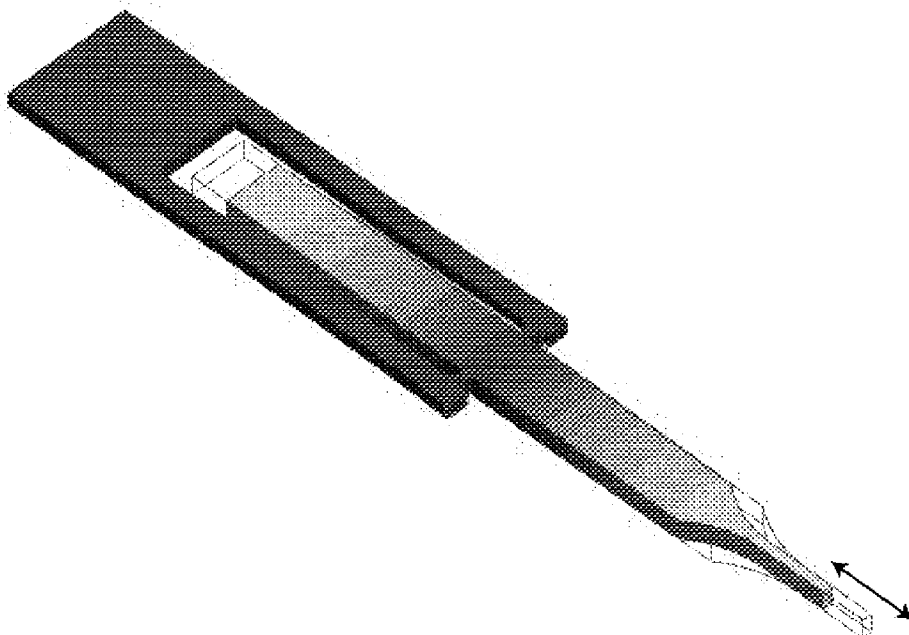
[図8C]

構造C(実施例1)



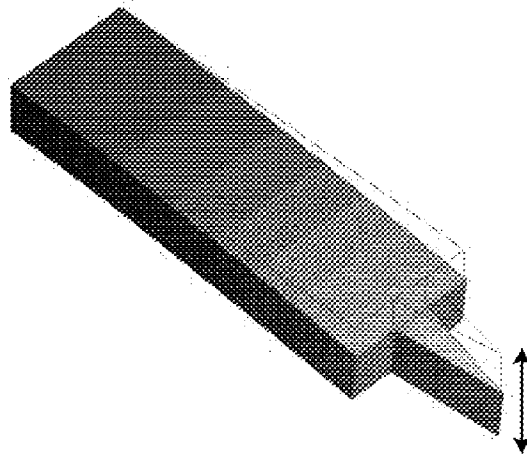
[図9A]

構造A (比較例1)



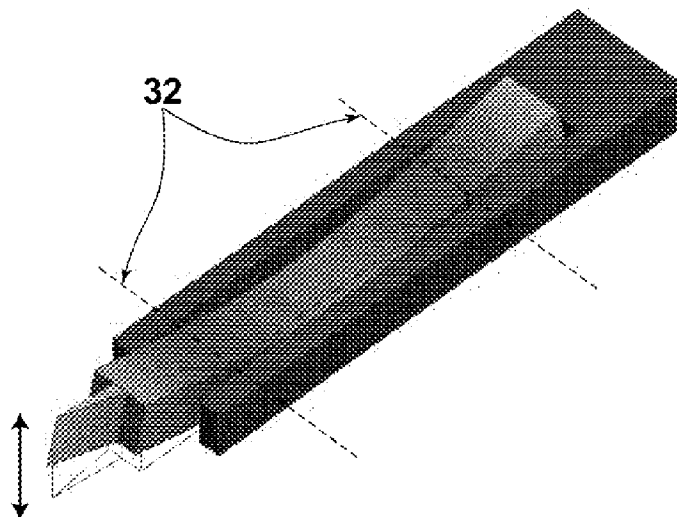
[図9B]

構造B (比較例2)



[図9C]

構造C (実施例1)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/007515

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B17/32(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)

A61B17/32

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-179102 A (Fujifilm Corp.), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraphs [0030] to [0037], [0050] to [0051]; fig. 1 to 2, 4 & US 2012/0221029 A1 paragraphs [0035] to [0042], [0054] to [0055]; fig. 1 to 2, 4 & CN 102648862 A	1-8
Y	JP 2013-99418 A (Olympus Corp.), 23 May 2013 (23.05.2013), paragraphs [0025] to [0040]; fig. 1 to 3 (Family: none)	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
19 May 2017 (19.05.17)

Date of mailing of the international search report
30 May 2017 (30.05.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/007515

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-79424 A (Olympus Corp.), 08 May 2014 (08.05.2014), fig. 10 (Family: none)	5-8
Y	JP 2010-84160 A (Fujifilm Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), paragraphs [0049] to [0051] (Family: none)	6-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. A61B17/32(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. A61B17/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-179102 A (富士フイルム株式会社) 2012.09.20, 段落 0030-0037, 段落 0050-0051, 第 1-2 図, 第 4 図 & US 2012/0221029 A1, 段落 0035-0042, 段落 0054-0055, 第 1-2 図, 第 4 図 & CN 102648862 A	1-8
Y	JP 2013-99418 A (オリンパス株式会社) 2013.05.23, 段落 0025-0040, 第 1-3 図 (ファミリーなし)	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

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

19.05.2017

国際調査報告の発送日

30.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中村 一雄

31

3324

電話番号 03-3581-1101 内線 3386

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-79424 A (オリンパス株式会社) 2014.05.08, 第10図 (ファミリーなし)	5-8
Y	JP 2010-84160 A (富士フイルム株式会社) 2010.04.15, 段落 0049-0051 (ファミリーなし)	6-8