(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年5月3日(03.05.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/079739 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 41/087 (2006.01)　*H01L 41/04* (2006.01)
D02G 3/04 (2006.01)　*H01L 41/047* (2006.01)
D02G 3/38 (2006.01)　*H01L 41/113* (2006.01)
G01L 1/16 (2006.01)　*H01L 41/193* (2006.01)
G06F 3/041 (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2017/038984

(22) 国際出願日：　2017年10月27日(27.10.2017)

(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 2016-212243　2016年10月28日(28.10.2016) JP
特願 2016-212258　2016年10月28日(28.10.2016) JP
特願 2016-212270　2016年10月28日(28.10.2016) JP

(71) 出願人：帝人株式会社(**TEIJIN LIMITED**) [JP/JP]；〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目２番４号 Osaka (JP). 学校法人 関西大学(**KANSAI UNIVERSITY**) [JP/JP]；〒5640073 大阪府吹田市山手町３丁目３番３５号 Osaka (JP).

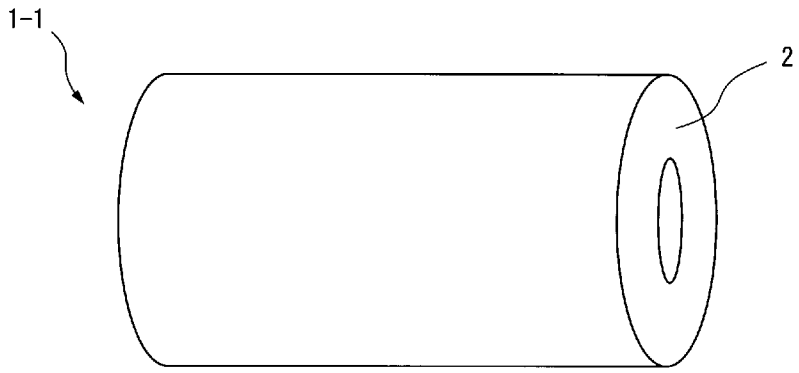
(72) 発明者：田實　佳郎 (**TAJITSU, Yoshiro**)；〒5640073 大阪府吹田市山手町３丁目３番３５号 学校法人関西大学内 Osaka (JP). 兼松 俊介 (**KANEMATSU, Shunsuke**)；〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目２番４号 帝人株式会社内 Osaka (JP). 小野 雄平(**ONO, Yuhei**)；〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目２番４号 帝人株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人：青木　篤，外 (**AOKI, Atsushi** et al.)；〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目５番１号 虎ノ門３７森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(54) **Title:** STRUCTURE FOR USE IN PIEZOELECTRIC ELEMENT, BRAIDED PIEZOELECTRIC ELEMENT, FABRIC-LIKE PIEZOELECTRIC ELEMENT USING BRAIDED PIEZOELECTRIC ELEMENT, AND DEVICE USING THESE

(54) 発明の名称：圧電素子に用いる構造体、組紐状圧電素子、組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子およびそれらを用いたデバイス

図1A



(57) **Abstract:** Provided are: a structure having an oriented piezoelectric polymer arranged into a cylindrical or columnar shape, wherein the oriented angle of the oriented piezoelectric polymer is 0-40 ° or 50-90 ° with respect to the center axis direction of the cylindrical or columnar shape in which the oriented piezoelectric polymer is arranged, and the piezoelectric polymer includes, as a main component, a crystal polymer of which the absolute value of piezoelectric constant d14 is 0.1-1000 pC/N when the piezoelectric polymer has three orientation axes; and a braided piezoelectric element and a fabric-like piezoelectric element each using the structure.

WO 2018/079739 A1

[続葉有]

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：配向した圧電性高分子を円筒形または円柱形に配置した構造体であり、圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下であり、圧電性高分子は配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む構造体、当該構造体を用いた組紐状圧電素子及び布帛状圧電素子が提供される。

明　細　書

発明の名称 ：

圧電素子に用いる構造体、組紐状圧電素子、組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子およびそれらを用いたデバイス

技術分野

[0001] 本発明は、圧電素子に用いる構造体、圧電性繊維を用いた組紐を導電層で被覆した組紐状圧電素子、当該組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子およびそれらを用いたデバイスに関する。

背景技術

[0002] 従来、圧電性物質を用いた素子に関する技術は多数開示されている。例えば特許文献１には導電繊維に圧電性高分子を被覆した素子について、擦りに対する電気的応答が優れていることが開示されている。また非特許文献１には圧電性高分子をコイル状に巻いた素子について、コイルの軸方向の伸縮およびコイルの軸周りのねじり変形による電気的応答例が開示されている。また特許文献２には圧電性高分子からなる繊維状物が開示されており、該繊維状物は繊維軸と平行あるいは直角の力（運動）が働いた場合に圧電効果が大きく生じると記載されている。

特許文献３の圧電シートは、圧電シートに対するねじり変形（応力）によって電気信号を出力できる。しかしながら、そもそもシート状であるために柔軟性に乏しく、繊維や布のように自由に屈曲できるような使い方は不可能である。

[0003] しかしながら上記先行技術文献には、ねじり運動に対して効率よく圧電信号を発生する一方で、ねじり運動以外の運動に対しては圧電信号を発生させないような具体的な構成については開示されていない。また、圧電信号の利用効率を高めるべく、構造体の中心軸と外側とで互いに逆極性の電荷（すなわち逆符号の電荷）を発生させるような具体的な構成についても開示されていない。したがって、センサーや吸着体などに利用できる圧電素子としての

性能は不十分であった。

[0004] また、近年、いわゆるウェアラブルセンサーが注目を浴びており、眼鏡型や腕時計といった形状の商品が世に出始めた。しかし、これらのデバイスは、装着しているという感覚があり、究極のウェアラブルである、布状、つまり衣類のような形状のものが望まれている。そのようなセンサーとして、圧電性繊維の圧電効果を用いた圧電素子が知られている。例えば、特許文献１には、２本の導電性繊維および１本の圧電性繊維を含み、これらが互いに接点を有しつつ、略同一平面上に配置されている圧電単位を含む圧電素子が開示されている。また、特許文献２には、圧電高分子からなる繊維状物、または成形物であり、これの軸方向に付加される張力によって圧電性を発生させるために、かかる張力の付加方向と異なる方向に捩りを加えて構成したことを特徴とする圧電材が開示されている。

[0005] 一方、近年、いわゆるタッチパネル方式を採用した入力装置、すなわちタッチ式入力装置が大幅に増加している。銀行ＡＴＭや駅の券売機のみならず、スマートフォン、携帯電話機、携帯ゲーム機、携帯音楽プレーヤなどにおいて、薄型ディスプレイ技術の発展と相まって、入力インターフェースとしてタッチパネル方式を採用した機器が大幅に増加している。そのようなタッチパネル方式を実現する手段として、圧電シートや圧電性繊維を用いる方式が知られている。例えば、特許文献４には、所定方向に向く延伸軸を有するＬ型ポリ乳酸からなる圧電シートを用いるタッチパネルが開示されている。

[0006] これらウェアラブルセンサーやタッチパネル方式のセンサーでは、圧電材料に印加される小さな変形により圧電材料内に生じる小さな応力に対しても、大きな電気信号を取り出すことが望まれる。例えば、指の曲げ伸ばし動作や指などで表面を擦る行為により圧電材料に生じる比較的小さな応力によっても大きな電気信号を安定的に取り出すことが望まれる。

[0007] 特許文献１の圧電性繊維は、様々な用途に適用可能な優れた素材であるが、比較的小さな変形で生じる応力に対して大きい電気信号を出力できるとは必ずしもいえず、大きな電気信号を得る技術についても明示していない。ま

た、特許文献１に記載の圧電素子は、信号線となる導電性繊維がむき出しであるためノイズの影響を受けやすく、また、外部応力による材料の劣化や損傷を受けやすい。さらに、圧電素子を他の布帛等の基材へ簡便に設置できるような構成については開示されておらず、特許文献１に記載の圧電素子では、実用化に対して依然として改善の余地があった。

[0008] 特許文献２の圧電性繊維は、特殊な製造方法で圧電性繊維をあらかじめ捩じらせておくことにより、圧電性繊維への引張や圧縮に対して電気信号を出力できる。しかし、特許文献２には、圧電性繊維を曲げたり伸ばしたりする屈曲や、圧電性繊維の表面を擦る行為によるせん断応力に対して十分な電気信号を発生させる技術は開示されていない。したがって、このような圧電性繊維を用いた場合、表面を擦るような比較的小さい変形で生じる応力だけで十分な電気信号を取り出すことは困難である。

[0009] 特許文献４の圧電シートは、圧電シートに対する変形（応力）によって電気信号を出力できる。しかしながら、そもそもシート状であるために柔軟性に乏しく布のように自由に屈曲できるような使い方は不可能である。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：国際公開第２０１４／０５８０７７号

特許文献2：特開２０００－１４４５４５号公報

特許文献3：特開２０１４－２４０８４２号公報

特許文献4：特開２０１１－２５３５１７号公報

非特許文献

[0011] 非特許文献1：Ｊａｐａｎｅｓｅ Ｊｏｕｒｎａｌ ｏｆ Ａｐｐｌｉｅｄ Ｐｈｙｓｉｃｓ ５１巻０９ＬＤ１６ページ

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 本発明は上記の背景に鑑みてなされたものであり、本発明の第１の目的は

、ねじり変形（応力）に対して選択的に応答し、効率的に利用可能な電気分極を生じさせることが可能な円筒形または円柱形の圧電性構造体を提供することになる。

[0013] また、本発明の第２の目的は、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能で、またノイズ信号を抑制可能であり、さらに外部からの損傷を受けにくい繊維状の圧電素子を提供することである。

[0014] さらに、本発明の第３の目的は、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能で、ノイズ信号を抑制可能な繊維状の圧電素子を用い、かつ他の布帛等の基材へ簡便に設置できる布帛状圧電素子を提供することである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明者らは、上記第１の目的を達成するために鋭意検討した結果、高い圧電定数ｄ１４を有する圧電性高分子を配向させたものを、特定の向きに並べて円筒形または円柱形の構造体とすることで、ねじり変形に対して円筒形または円柱形の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させられることを発見し、本発明に到達した。

[0016] また、本発明者らは、上記第２の目的を達成するために鋭意検討した結果、導電性繊維と圧電性繊維との組み合わせとして、芯となる導電性繊維の表面を組紐状の圧電性繊維で被覆し、更にその周囲に導電層を設けた組紐状圧電素子により効率よく電気信号を取り出すことが可能で、かつ、ノイズ信号を抑制できることを発見し、さらに芯部と圧電性繊維の太さの関係を特定の範囲とすることで外部からの損傷を受けにくくなることを見出し、本発明に到達した。

[0017] さらに、本発明者らは、上記第３の目的を達成するために鋭意検討した結果、導電性繊維と圧電性繊維との組み合わせとして、芯となる導電性繊維の表面を組紐状の圧電性繊維で被覆し、更にその周囲に導電層を設けた組紐状圧電素子により効率よく電気信号を取り出すことが可能で、更にノイズ信号

を抑制できることを発見し、これを特定の形状で布帛に固定することで、外部からの損傷を受けにくく、かつ他の布帛等の基材へ簡便に設置できるようになることを見出し、本発明に到達した。

[0018] すなわち、本発明によると、上記第１の目的を達成するための手段（第１発明）として下記（１）～（１２）が提供され、上記第２の目的を達成するための手段（第２発明）として下記（１３）～（２０）が提供され、上記第３の目的を達成するための手段（第３発明）として下記（２１）～（３１）が提供される。

（１）配向した圧電性高分子を円筒形または円柱形に配置した構造体であり、圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下であり、圧電性高分子は配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む、構造体。

（２）前記圧電性高分子はポリ－Ｌ－乳酸またはポリ－Ｄ－乳酸を主成分として含む、（１）に記載の構造体。

（３）前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸を軸としてねじり変形が与えられた時、該円筒形または円柱形の中心軸側と外側とに逆極性の電荷が発生する、（１）または（２）に記載の構造体。

（４）前記圧電性高分子は、圧電定数ｄ１４の値が正の結晶性高分子を主成分として含むＰ体と、負の結晶性高分子を主成分として含むＮ体とを含み、前記構造体の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＳＮとし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超である、（１）～（３）のいずれか１項に記載の構造体。

（５）前記圧電性高分子は繊維状、フィラメント状またはテープ状のものが、組紐状、撚り紐状、カバリング糸状または引き揃え糸状にされて構成されている、（１）～（４）のいずれか１項に記載の構造体。

（６）前記圧電性高分子は円筒形または円柱形の中心軸に垂直な断面において１つの閉領域のみを構成している、（１）～（４）のいずれか１項に記載の構造体。

（７）（１）～（６）のいずれか１項に記載の構造体と、前記構造体に隣接して配置された導電体と、を備える素子。

（８）前記圧電性高分子が円筒形に配置されており、該円筒形の中心軸の位置に前記導電体を配置した、（７）に記載の素子。

（９）前記導電体が導電性繊維からなり、前記圧電性高分子は圧電性繊維として前記導電性繊維の周りに組紐状に組まれて配置される、（８）に記載の素子。

（１０）前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の外側に前記導電体を配置した、（７）に記載の素子。

（１１）前記導電体は導電性繊維からなり、前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の周りに前記導電性繊維が組紐状に組まれて配置される、（１０）に記載の素子。

（１２）（７）～（１１）いずれか１項に記載の素子と、

圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸の方向にねじり変形が与えられた時に発生する電荷に応じて、前記導電体にて発生する電気信号が出力される出力端子と、

前記出力端子を介して出力される電気信号を検出する電気回路と、

を備えるセンサー。

（１３）前記導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の前記圧電性繊維で形成された鞘部とを備えた（９）に記載の素子と、

前記鞘部の周囲に設けられた導電層と

を備え、前記芯部の半径Ｒｃに対する圧電性繊維からなる層の厚みｄの比ｄ

／Ｒｃが１．０以上である、組紐状圧電素子。

（１４）前記導電層による前記鞘部の被覆率が２５％以上である、（１３）に記載の組紐状圧電素子。

（１５）前記導電層が繊維で形成されている、（１３）または（１４）に記載の組紐状圧電素子。

（１６）（１３）～（１５）のいずれか１項に記載の組紐状圧電素子を含む布帛状圧電素子。

（１７）前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、（１６）に記載の布帛状圧電素子。

（１８）前記布帛を形成する繊維であり且つ前記組紐状圧電素子と交差する繊維のうちの３０％以上が導電性繊維である、（１７）に記載の布帛状圧電素子。

（１９）（１３）～（１５）のいずれか１項に記載の組紐状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記組紐状圧電素子から出力される電気信号を増幅する増幅手段と、

前記増幅手段で増幅された電気信号を出力する出力手段と、

を備えるデバイス。

（２０）（１７）または（１８）に記載の布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子から出力される電気信号を増幅する増幅手段と、

前記増幅手段で増幅された電気信号を出力する出力手段と、

を備えるデバイス。

（２１）布帛に組紐状圧電素子が固定された布帛状圧電素子であり、前記組紐状圧電素子が、

前記導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の前記圧電性繊維で形成された鞘部とを備えた（９）に記載の素子と、

前記鞘部の周囲に設けられた導電層と

を備え、前記布帛に対する前記組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度

が０．１Ｎ以上である、布帛状圧電素子。

（２２）前記布帛を構成する繊維による前記組紐状圧電素子の被覆率が前記布帛の両面とも３０％を超える、（２１）に記載の布帛状圧電素子。

（２３）前記布帛に前記組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定された、（２１）または（２２）に記載の布帛状圧電素子。

（２４）２重織り布帛あるいは２重編み布帛の層間に前記組紐状圧電素子が挟み込まれている、（２１）または（２２）に記載の布帛状圧電素子。

（２５）前記布帛から前記組紐状圧電素子が部分的に露出しており、該露出部分において前記組紐状圧電素子の前記導電性繊維および／または前記導電層と他の部材とが電気的に接続されている、（２１）～（２４）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（２６）前記導電層による前記鞘部の被覆率が２５％以上である、（２１）～（２５）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（２７）前記導電層が繊維で形成されている、（２１）～（２６）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（２８）前記圧電性繊維の総繊度は、前記導電性繊維の総繊度の１倍以上、２０倍以下である、（２１）～（２７）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（２９）前記圧電性繊維の一本あたり繊度は、前記導電性繊維の総繊度の１／２０倍以上、２倍以下である、（２１）～（２８）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（３０）前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、（２１）～（２９）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

（３１）（２１）～（３０）のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子に含まれる前記導電性繊維から出力される電気信号を検出する電気回路と、

を備えるデバイス。

発明の効果

[0019] 上記第１発明により、ねじり変形（応力）に対して選択的に応答し、効率的に利用可能な電気分極を生じさせることが可能な円筒形または円柱形の圧電性構造体を提供できる。

[0020] また、上記第２発明により、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能で、更にノイズ信号を抑制できる繊維状の圧電素子を提供できる。

[0021] また、上記第３発明により、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能で、ノイズ信号を抑制可能な繊維状の圧電素子を用い、かつ他の布帛等の基材へ簡便に設置できる布帛状圧電素子を提供できる。さらに、上記第３発明によれば、布帛を構成する繊維による組紐状圧電素子の被覆率が布帛の両面とも所定の値、例えば５０％を超えるようにすることで、外部からの擦り、熱、光などによる損傷を受けにくくすることが可能である。

図面の簡単な説明

[0022] [図1A]第１発明の実施形態に係る円筒形の圧電性構造体を示す模式図である。

[図1B]第１発明の実施形態に係る円柱形の圧電性構造体を示す模式図である。

[図2]第１発明の実施形態に係る円筒形の圧電性構造体を示す側面図である。

[図3]配向角度θの計算方法を説明する模式図である。

[図4]第１発明の実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[図5]第１発明の実施形態に係る布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[図6]第１発明～第３発明の実施形態に係る圧電素子を備えるデバイスを示すブロック図である。

[図7]第１発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を

示す模式図である。

[図8]第１発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの他の構成例を示す模式図である。

[図9A]実施例に係る組紐状圧電素子の断面を示す顕微鏡写真である。

[図9B]実施例に係る組紐状圧電素子の断面を示す顕微鏡写真である。

[図9C]実施例に係る組紐状圧電素子の断面を示す顕微鏡写真である。

[図10]第２発明及び第３発明の実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[図11]第２発明の実施形態に係る組紐状圧電素子の断面を示す顕微鏡写真である。

[図12]第２発明の実施形態に係る布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[図13]第２発明の実施形態に係る組紐状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。

[図14]第２発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。

[図15]第２発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの他の構成例を示す模式図である。

[図16]第２発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの他の構成例を示す模式図である。

[図17]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[図18]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子の他の構成例を示す模式図である。

[図19]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子の他の構成例を示す模式図である。

[図20]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。

[図21]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの他の構成例を示す模式図である。

[図22]第３発明の実施形態に係る布帛状圧電素子を備えるデバイスの他の構成例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、第１発明について詳細に説明する。

（円筒形または円柱形の圧電性構造体）

本発明の構造体（圧電性構造体）は配向した圧電性高分子を含み、配向した圧電性高分子は円筒形または円柱形に配置されている。図１Ａは実施形態に係る円筒形の圧電性構造体１－１を示す模式図であり、図１Ｂは実施形態に係る円柱形の圧電性構造体１－２を示す模式図である。圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の底面の外縁および内縁の形状は真円が最も好ましいが、楕円形でもよいし、扁平な円形でもよい。

[0024] （圧電性高分子）

本発明の圧電性構造体に含まれる圧電性高分子は、一軸配向した高分子の成型体であり、配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む。本発明において「主成分として含む」とは、構成成分の５０質量％以上を占めること指す。また、本発明において結晶性高分子とは、１質量％以上の結晶部と、結晶部以外の非晶部とからなる高分子であり、結晶性高分子の質量とは結晶部と非晶部とを合計した質量である。

本実施形態の圧電性高分子に含まれる結晶性高分子として好適に使用できる、配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子としては、例えば「Ｐｉｅｚｏｅｌｅｃｔｒｉｃｉｔｙ ｏｆ ｂｉｏｐｏｌｙｍｅｒｓ」（深田栄一、Ｂｉｏｒｈｅｏｌｏｇｙ， Ｖｏｌ．３，Ｎｏ．６， ｐｐ．５９３）に示されるように、セルロース、コラーゲン、ケラチン、フィブリン、ポリ－Ｌ－アラニン、ポリ－γ－メチル－Ｌ－グルタメート、ポリ－γ－ベンジル

－Ｌ－グルタメート、ポリ－Ｌ－乳酸を挙げることができる。また、これらの高分子の光学異性体であるポリ－Ｄ－アラニン、ポリ－γ－メチル－Ｄ－グルタメート、ポリ－γ－ベンジル－Ｄ－グルタメート、ポリ－Ｄ－乳酸もｄ１４の符号が逆となるが、ｄ１４の絶対値としては同等の値を取ると推定される。ｄ１４の値は成型条件や純度および測定雰囲気によって異なる値を示すが、本発明の目的を達成するには、実際に使用される圧電性高分子中の結晶性高分子の結晶化度および結晶配向度を測定し、それと同等の結晶化度および結晶配向度を有する１軸延伸フィルムを当該結晶性高分子を用いて作成し、そのフィルムのｄ１４の絶対値が、実際に使用される温度において０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を示せばよく、本実施形態の圧電性高分子に含まれる結晶性高分子としては、上に挙げた特定の結晶性高分子に限定されない。フィルムサンプルのｄ１４の測定は公知の様々な方法を取ることができるが、例えばフィルムサンプルの両面に金属を蒸着して電極としたサンプルを、延伸方向から４５度傾いた方向に４辺を有する長方形に切り出し、その長尺方向に引張荷重をかけた時に両面の電極に発生する電荷を測定することで、ｄ１４の値を測定することができる。

[0025] 本実施形態ではポリ－Ｌ－乳酸およびポリ－Ｄ－乳酸が特に好適に用いられる。ポリ－Ｌ－乳酸およびポリ－Ｄ－乳酸は、例えば溶融製膜後に一軸延伸によって容易に配向結晶化してｄ１４の絶対値として１０ｐＣ／Ｎを超える圧電性を示す。一方、代表的な圧電性高分子であるポリフッ化ビニリデン成形品の分極処理物は高いｄ３３の圧電定数を有するが、ｄ１４の絶対値としては非常に低く、本発明の結晶性高分子としては用いることができない。

[0026] また、圧電性高分子は他の圧電性を示さないポリマーとのアロイとして用いてもよいが、ポリ乳酸を主たる圧電性高分子として用いるならば、アロイの全質量を基準として少なくとも６０質量％以上でポリ乳酸を含有していることが好ましく、さらに好ましくは７０質量％以上、最も好ましくは９０質量％以上である。

[0027] アロイとする場合のポリ乳酸以外のポリマーとしては、ポリブチレンテレ

フタレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート共重合体、ポリメタクリレート等が好適な例として挙げられるが、これらに限定されるものではない。

[0028]（圧電性高分子の配向角度）

本発明の圧電性高分子を円筒形または円柱形に配置した構造体において、圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸（以下、単に「中心軸」と記載する）の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下である。この条件を満たす時、圧電性構造体に対し中心軸を軸としたねじり変形（ねじり応力）を与えることで、圧電性高分子に含まれる結晶性高分子の圧電定数ｄ１４に対応する圧電効果を効率よく利用し、圧電性構造体の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させることができる。一方、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが４０°超５０°未満の場合には、圧電性構造体に対し中心軸を軸としたねじり変形（ねじり応力）を与えても、圧電性構造体の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させることができないため、その電荷を信号やエネルギーとして効率よく取り出すことができない。かかる観点から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは０°以上３５°以下または５５°以上９０°以下であることが好ましく、０°以上３０°以下または６０°以上９０°以下であることがより好ましく、０°以上２５°以下または６５°以上９０°以下であることがさらに好ましく、０°以上１５°未満または７５°超９０°以下であることがさらにより好ましい。中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°を超えて９０°未満である場合には、圧電性高分子の配向方向はらせんを描くことになる。

[0029] また、このように圧電性高分子を配置することで、圧電性構造体の表面を擦るようなせん断変形や、中心軸を曲げるような曲げ変形や、中心軸方向の伸縮変形に対しては圧電性構造体の中心軸側と外側とには大きな電荷を発生させないようにする、即ち中心軸を軸としたねじりに対して選択的に大きな電荷を発生させる圧電性構造体とすることができる。

中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θとは、圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形を側面から見た平行投影図において、該中心軸の方向と、中心軸に重なって手前にある部分の圧電性高分子の配向方向とがなす角度である。例えば図２は実施形態に係る円筒形の圧電性構造体１を側面から見た図である。図２の例において、圧電性構造体は長尺方向に配向した圧電性高分子のテープをらせん状に巻いた構造体である。中心軸ＣＬに重なって手前にある部分のテープの配向方向を示す直線はＯＬであり、ＣＬとＯＬのなす角θ（０度以上９０度以下とする）が、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度である。

[0030] 図２ではテープのように薄い圧電性高分子を用いているため、圧電性高分子の配向方向は側面から観察したテープ表面の配向方向に概ね一致するが、厚い圧電性高分子を用いて円筒形の圧電性構造体を作った場合や、円柱形の圧電性構造体の場合は、側面から観察できる表面の配向方向に比べ、内部の配向方向は中心軸に近づくほど中心軸の方向に近くなるため、表面の配向方向と内部の配向方向との間に差異が生じる。また、側面から観察したテープ表面の配向方向は見かけではＳ字あるいは逆Ｓ字を取っている場合があり、正確な観察には高い倍率の拡大観察が必要となる。

[0031] かかる観点から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは、長尺方向に配向した繊維、フィラメントあるいはテープをらせん状に巻いた構造体（例えば撚糸、カバリング糸、組紐などが挙げられる）の場合、可能な限り下記の方法で測定する。圧電性構造体の側面写真を撮影し、圧電性高分子２のらせんピッチＨＰを測定する。らせんピッチＨＰは図３の通り、１本の圧電性高分子２が表面から裏面を回って再び表面に来るまでに要した、中心軸方向の直線距離である。また、必要に応じて接着剤で構造を固定後に、圧電性構造体の中心軸に垂直な断面を切り出して写真を撮影し、圧電性構造体が占める部分の外側半径Ｒｏおよび内側半径Ｒｉを測定する。断面の外縁および内縁が楕円形や扁平な円形の場合は、長径と短径の平均値をＲｏおよびＲｉとする。圧電性構造体が円柱の場合はＲｉ＝０とする。下記式から中

心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θを計算する。

θ ＝ ａｒｃｔａｎ（２πＲｍ／ＨＰ）（０°≦θ≦９０°）

ただしＲｍ＝２（Ｒｏ^{3}－Ｒｉ^{3}）／３（Ｒｏ^{2}－Ｒｉ^{2}）、即ち断面積で加重平均した圧電性構造体の半径である。

[0032] 圧電性構造体の側面写真において圧電性高分子が均一な表面を有している場合や、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°に近い場合など、圧電性高分子のらせんピッチが判別できない場合は、接着剤等で固定した圧電性構造体を中心軸を通る平面で割断し、割断面に垂直な方向に、中心軸を通るよう十分に狭い範囲でＸ線を透過するよう広角Ｘ線回折分析を行い、配向方向を決定して中心軸との角度をとり、θとする。

[0033] 組紐や多重カバリング糸のように、圧電性高分子の配向方向に沿って描かれるらせんについて、らせん方向（Ｓ撚り方向またはＺ撚り方向）やらせんピッチを異にする２つ以上のらせんが同時に存在する圧電性構造体の場合は、それぞれのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子についてそれぞれ上記測定を行い、いずれか一つのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子が前述の条件を満たすことが必要である。

[0034] 圧電性高分子の配向方向がらせんをなす場合、らせん方向（Ｓ撚り方向またはＺ撚り方向）がどちらであるかは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性（符号）に影響しない。ただし、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°以上４０°以下である場合と、５０°以上９０°以下である場合とでは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。また、ポリ－Ｌ－乳酸とポリ－Ｄ－乳酸のように、ｄ１４の符号が互いに異なる結晶性高分子を含む圧電性高分子も、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。従って、ねじり変形に対して圧電性構造体の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させるためには、ｄ１４の符号が同一の結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子のみを用い、圧電性構造体中の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下のどちらかのみに揃えることが好ましい。

[0035] ところで、圧電性構造体の中心軸方向の伸縮変形に対して中心軸側と外側とに発生する電荷の極性（符号）は、ある圧電性高分子の配向方向をＳ撚りのらせんに沿って配置した場合と、同じ圧電性高分子の配向方向をＺ撚りのらせんに沿って配置した場合とでは、互いに逆の極性になるため、ある圧電性高分子の配向方向をＳ撚りのらせんに沿って配置すると同時にＺ撚りのらせんに沿って配置した場合（例えばある圧電性高分子からなる繊維をＳ撚り方向の糸およびＺ撚り方向の糸の両方に用いて組紐を組んだ場合）は、伸縮変形に対する発生電荷がＳ撚り方向とＺ撚り方向とで互いに打消し合うため、ねじり変形に対応して発生する電荷のみを検出することができる。したがって、本発明の実施態様として、圧電性高分子は、圧電定数ｄ１４の値が正の結晶性高分子を主成分として含むＰ体と、負の結晶性高分子を主成分として含むＮ体とを含み、当該圧電性構造体の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＳＮ、とし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超であることが好ましく、さらに０．９超であることが好ましい。特に、圧電性高分子は、ポリ－Ｄ－乳酸を主成分として含むＰ体と、ポリ－Ｌ－乳酸を主成分として含むＮ体とを含み、当該圧電性構造体の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＳＮとし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超、特には０．８超１．０以下であることがより好ましく、さらに０．９超、特には０．９超１．０以下であることが好ましい。ここで上記のＴ１／Ｔ２の値

を満足しない場合でも、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°以上１０°以下、または８０°以上９０°以下の場合は、１０°超８０°未満の場合に比べ伸縮変形に対して発生する電荷量が小さくなる結果、ねじり変形に対して選択的に電気信号を発生させることができ、好ましい。

また、ポリ－Ｌ－乳酸とポリ－Ｄ－乳酸のように、ｄ１４の符号が互いに異なる結晶性高分子を含む圧電性高分子を、Ｓ撚りまたはＺ撚りの一方のらせんに沿って混合して配置すると、伸縮変形に対する発生電荷が互いに打消し合い、ねじり変形のみに選択的に応答するため、好ましい。

[0036]（圧電性構造体の構成）

前述の通り、本発明の圧電性構造体においては、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°を超えて９０°未満である場合には、圧電性高分子の配向方向はらせんを描くことになる。このような配置となる圧電性構造体としては特に、例えば圧電性高分子を長尺方向に配向させた繊維、フィラメントあるいはテープを用いた、撚糸、カバリング糸、組紐などが好ましい様態として挙げることができる。テープを用いる場合は、テープの長尺方向以外の方向に配向させたテープを用い、らせん状に巻いたものや、長尺方向と中心軸方向を平行にして円筒を成型したものも用いることができる。生産性と配向度の向上の観点からは、延伸によって長尺方向に配向させた繊維、フィラメントあるいはテープを用いた撚糸、カバリング糸および組紐がより好ましく、構造の安定性の観点から、組紐がとりわけ好ましい。

[0037] 中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°である場合には、圧電性高分子の配向方向は中心軸に平行となる。このような配置となる圧電性構造体としては、例えば圧電性高分子を長尺方向に配向させた繊維、フィラメントあるいはテープそのものや、それらを引き揃えたものや、中空糸およびコンジュゲート糸や、芯糸を圧電性高分子で被覆したものが好ましい様態として挙げることができる。

中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが９０°である場合には、圧電性高分子の配向方向は中心軸に垂直な面上で円形をなす。このような

配置となる圧電性構造体としては、例えば長尺方向に垂直に配向させた圧電性高分子のテープを用い、長尺方向と中心軸方向を平行にして円筒を成型したものが好ましい様態として挙げることができる。

[0038] 本発明の圧電性構造体は、中心軸の方向にねじり変形を与えた時、中心軸側と外側とに逆極性の電荷が発生する。その利用形態は特に限定されず、物質の吸脱着や引力／斥力による操作、電磁波発生、生体への電気刺激などにも利用できるが、その電荷を信号やエネルギーとして効率よく取り出すため、中心軸側および／または外側に導電体を配置しておく形態がより好ましい。外側に導電体を配置する場合は、圧電性構造体の円柱形側面あるいは円筒形側面を全て覆うように導電体を配置することが電荷の利用効率およびシールドとして利用できる点でより好ましいが、部分的にのみ導電体を配置してもよい。

生産性、折り曲げ耐久性、構造の安定性の観点から、後述する組紐状の圧電性構造体が最も好ましい。

[0039]（組紐状圧電素子）

図４は実施形態に係る組紐状の圧電性構造体（以下、組紐状圧電素子と称する）の構成例を示す模式図である。

組紐状圧電素子１０１は、導電性繊維Ｂで形成された芯部１０３と、芯部１０３を被覆するように組紐状の圧電性繊維Ａで形成された鞘部１０２と、を備えており、鞘部１０２は本発明における円筒形の圧電性構造体である。圧電性繊維Ａは主成分としてポリ乳酸を含むことができる。

[0040] 組紐状圧電素子１０１では、少なくとも一本の導電性繊維Ｂの外周面を多数の圧電性繊維Ａが緻密に取り巻いている。組紐状圧電素子１０１に変形が生じると、多数の圧電性繊維Ａそれぞれに変形による応力が生じ、それにより多数の圧電性繊維Ａそれぞれに電場が生じ（圧電効果）、その結果、導電性繊維Ｂを取り巻く多数の圧電性繊維Ａの電場を重畳した電圧変化が導電性繊維Ｂに生じるものと推測される。すなわち圧電性繊維Ａの組紐状の鞘部１０２を用いない場合と比較して導電性繊維Ｂからの電気信号が増大する。そ

れにより、組紐状圧電素子１０１では、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能となる。なお、導電性繊維Ｂは複数本であってもよい。

ここで、芯部である導電性繊維Ｂを経由して検出される信号強度は鞘部である圧電性繊維Ａとの接触状態が変化しないことはもちろん、より強く拘束されていることが好ましい。例えば、圧電性繊維を製紐機で組む時のテンションを高くすることにより、より強く拘束された組紐を得ることができる。一方で、ポリ乳酸（ＰＬＡ）繊維は強度が弱く、しかも摩擦が高いため、製紐機の糸道において繊維が単糸切れをおこし、綺麗な組紐を得ることができない場合がある。すなわち製紐工程において、繊維の巻かれたボビンを保持するキャリアが盤上を移動する経路により繊維がボビンのアキュームにより張ったり弛んだりを瞬間的に繰り返しながら組まれていくため、一般にＰＬＡ繊維は高いテンションをかけて製紐することが困難である。しかし、かかる困難は、ＰＬＡ繊維に撚糸加工を施すことで改善されることがわかった。具体的には、ＰＬＡ繊維に１０～５０００Ｔ／ｍの撚数で撚糸加工を施すことが好ましい。１０Ｔ／ｍより小さいと撚糸の効果が得られず、５０００Ｔ／ｍより大きいと、繊維が捩じれやすくなり加工時のトラブルが起きやすくなる。また、組紐にした時の組紐の軸方向の変形に対するＰＬＡの配向軸方向の角度が適切でなくなり、信号強度が小さくなるおそれがある。撚数は３０Ｔ／ｍ以上がより好ましく、さらに好ましくは５０Ｔ／ｍ以上である。また、撚数の上限としては３０００Ｔ／ｍ以下がより好ましく、さらに好ましくは１５００Ｔ／ｍ以下である。撚糸加工の方法は特に限定されるものではなく、公知のあらゆる撚糸加工方法が適用可能である。また、撚糸加工された繊維は、熱処理されることが好ましく、熱処理することにより撚糸状態が固定化され繊維のハンドリングがしやすくなる。熱処理の方法も特に限定されるものではなく、一般的に対象繊維のＴｇ～Ｔｍの温度が好ましく選択され、湿度下で処理される場合もある。

[0041] ここで、圧電性繊維Ａは主成分としてポリ乳酸を含むことが好ましい。ポ

リ乳酸中の乳酸ユニットは９０モル％以上であることが好ましく、９５モル％以上であることがより好ましく、９８モル％以上がさらに好ましい。

[0042] なお、組紐状圧電素子１０１では、本発明の目的を達成する限り、鞘部１０２では圧電性繊維Ａ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよいし、芯部１０３では導電性繊維Ｂ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよい。

[0043] 導電性繊維Ｂの芯部１０３と組紐状の圧電性繊維Ａの鞘部１０２とで構成される組紐状圧電素子の長さは特に限定はない。例えば、その組紐状圧電素子は製造において連続的に製造され、その後に必要な長さに切断して利用してもよい。組紐状圧電素子の長さは１ｍｍ～１０ｍ、好ましくは、５ｍｍ～２ｍ、より好ましくは１ｃｍ～１ｍである。長さが短過ぎると繊維形状である利便性が失われ、また、長さが長過ぎると導電性繊維Ｂの抵抗値を考慮する必要が出てくるであろう。

以下、各構成について詳細に説明する。

[0044]（導電性繊維）

導電性繊維Ｂとしては、導電性を示すものであればよく、公知のあらゆるものが用いられる。導電性繊維Ｂとしては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということができる。

[0045] 金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリ

ル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

[0046] ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

[0047] 導電性繊維Ｂに屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

[0048] 導電性繊維Ｂはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５０００μｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍである。さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、１本～１０００００本が好ましく、より好ましくは５本～５００本、さらに好ましくは１０本～１００本である。ただし、導電性繊維Ｂの繊度・本数とは、組紐を作製する際に用いる芯部１０３の繊度・本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の導電性繊維Ｂと数えるものとする。ここで芯部１０３とは、導電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0049] 繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維Ｂの断面形状としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好

ましいが、これに限定されない。

[0050] また、圧電性高分子からの電気出力を効率よく取り出すため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、電気信号の検出で十分な強度が得られるのであれば導電性繊維Ｂの抵抗率はこの限りではない。

[0051] 導電性繊維Ｂは、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さはＪＩＳ　Ｌ１０１３　８．６の方法で測定することができる。本発明に適当な結節強さの程度としては、０．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、１．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製ＫＥＳ－ＦＢ２純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適当な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）ＨＴＳ４０－３Ｋよりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が０．０５×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることが好ましく、０．０２×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがより好ましく、０．０１×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがさらに好ましい。

[0052] ポリ乳酸の光学純度は９９％以上であることが好ましく、９９．３％以上であることがより好ましく、９９．５％以上であることがさらに好ましい。光学純度が９９％未満であると著しく圧電率が低下する場合があり、圧電性繊維Ａの形状変化よって十分な電気信号を得ることが難しくなる場合がある。特に、圧電性繊維Ａは、主成分としてポリ－Ｌ－乳酸またはポリ－Ｄ－乳酸を含み、これらの光学純度が９９％以上であることが好ましい。

[0053] ポリ乳酸を主成分とする圧電性繊維Ａは、製造時に延伸されて、その繊維

軸方向に一軸配向している。さらに、圧電性繊維Ａは、その繊維軸方向に一軸配向しているだけでなく、ポリ乳酸の結晶を含むものであることが好ましく、一軸配向したポリ乳酸の結晶を含むものであることがより好ましい。なぜなら、ポリ乳酸はその結晶性が高いことおよび一軸配向していることでより大きな圧電性を示し、ｄ１４の絶対値が高くなるためである。

[0054] 結晶性および一軸配向性はホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）で求められる。本発明の圧電性繊維Ａとしては、ホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）が下記式（１）を満たすことが好ましい。

$$X_{homo} \times Ao \times Ao \div 10^{6} \geqq 0.26 \quad (1)$$

上記式（１）を満たさない場合、結晶性および／または一軸配向性が十分でなく、動作に対する電気信号の出力値が低下したり、特定方向の動作に対する信号の感度が低下したりするおそれがある。上記式（１）の左辺の値は、０．２８以上がより好ましく、０．３以上がさらに好ましい。ここで、各々の値は下記に従って求める。

[0055] ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}：

ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}については、広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）による結晶構造解析から求める。広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）では、リガク製ｕｌｔｒａｘ１８型Ｘ線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルのＸ線回折図形をイメージングプレートに記録する。

Ｘ線源：　Ｃｕ－Ｋα線（コンフォーカル ミラー）

出力：　４５ｋＶ×６０ｍＡ

スリット：　１ｓｔ：１ｍｍΦ，２ｎｄ：０．８ｍｍΦ

カメラ長：　１２０ｍｍ

積算時間：　１０分

サンプル：　３５ｍｇのポリ乳酸繊維を引き揃え３ｃｍの繊維束とする。

得られるＸ線回折図形において方位角にわたって全散乱強度Ｉｔｏｔａｌ

を求め、ここで２θ＝１６．５°，１８．５°，２４．３°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和ΣＩＨＭｉを求める。これらの値から下式（２）に従い、ホモポリ乳酸結晶化度$Ｘ_{ｈｏｍｏ}$を求める。

ホモポリ乳酸結晶化度$Ｘ_{ｈｏｍｏ}$（％）＝$Σ Ｉ_{ＨＭｉ}$／$Ｉ_{ｔｏｔａｌ}$×１００　（２）

なお、$Σ Ｉ_{ＨＭｉ}$は、全散乱強度においてバックグランドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出する。

[0056] （２）結晶配向度Ａｏ：

結晶配向度Ａｏについては、上記の広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）により得られるＸ線回折図形において、動径方向の２θ＝１６．５°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角（°）に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計$Σ_{Ｗｉ}$（°）から次式（３）より算出する。

結晶配向度Ａｏ（％）＝（３６０－Σ$Ｗ_{ｉ}$）÷３６０×１００　（３）

[0057] なお、ポリ乳酸は加水分解が比較的速いポリエステルであるから、耐湿熱性が問題となる場合においては、公知の、イソシアネート化合物、オキサゾリン化合物、エポキシ化合物、カルボジイミド化合物などの加水分解防止剤を添加してもよい。また、必要に応じてリン酸系化合物などの酸化防止剤、可塑剤、光劣化防止剤などを添加して物性改良してもよい。

[0058] 圧電性繊維Ａはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは５μｍ～２ｍｍ、さらに好ましくは１０μｍ～１ｍｍである。マルチフィラメントの場合、その単糸径は０．１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍ、さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントのフィラメント数としては、１本～１００００本が好

ましく、より好ましくは５０本～５００００本、さらに好ましくは１００本～２００００本である。ただし、圧電性繊維Ａの繊度や本数については、組紐を作製する際のキャリア１つあたりの繊度、本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の圧電性繊維Ａと数えるものとする。ここで、キャリア１つの中に、圧電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0059] このような圧電性高分子を圧電性繊維Ａとするためには、高分子から繊維化するための公知の手法を、本発明の効果を奏する限りいずれも採用することができる。例えば、圧電性高分子を押し出し成型して繊維化する手法、圧電性高分子を溶融紡糸して繊維化する手法、圧電性高分子を乾式あるいは湿式紡糸により繊維化する手法、圧電性高分子を静電紡糸により繊維化する手法、フィルムを形成した後に細くカットする手法、などを採用することができる。これらの紡糸条件は、採用する圧電性高分子に応じて公知の手法を適用すればよく、通常は工業的に生産の容易な溶融紡糸法を採用すればよい。さらに、繊維を形成後には形成された繊維を延伸する。それにより一軸延伸配向しかつ結晶を含む大きな圧電性を示す圧電性繊維Ａが形成される。

[0060] また、圧電性繊維Ａは、上記のように作製されたものを組紐とする前に、染色、撚糸、合糸、熱処理などの処理をすることができる。

[0061] さらに、圧電性繊維Ａは、組紐を形成する際に繊維同士が擦れて断糸したり、毛羽が出たりする場合があるため、その強度と耐摩耗性は高い方が好ましく、強度は１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、２．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、３．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。耐摩耗性は、ＪＩＳ　Ｌ１０９５　９．１０．２　Ｂ法などで評価することができ、摩擦回数は１００回以上が好ましく、１０００回以上であることがより好ましく、５０００回以上であることがさらに好ましく、１００００回以上であることが最も好ましい。耐摩耗性を向上させるための方法は特に限定されるものではなく、公知のあらゆる方法を用いることができ、例

えば、結晶化度を向上させたり、微粒子を添加したり、表面加工したりすることができる。また、組紐に加工する際に、繊維に潤滑剤を塗布して摩擦を低減させることもできる。

[0062] また、圧電性繊維の収縮率は、前述した導電性繊維の収縮率との差が小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を後述の沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および導電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｃ）が下記式（４）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｃ）｜≦１０　　（４）

上記式（４）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0063] また、圧電性繊維の収縮率は、導電性繊維以外の繊維、例えば絶縁性繊維の収縮率との差も小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および絶縁性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｉ）が下記式（５）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｉ）｜≦１０　　（５）

上記式（５）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0064] また、圧電性繊維の収縮率は小さい方が好ましい。例えば収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の収縮率は１５％以下であることが好ましく、より好ましくは１０％以下、さらに好ましくは５％以下、最も好ましくは３％以下である。収縮率を下げる手段としては、公知のあらゆる方法を適用することができ、例えば、熱処理により非晶部の配向緩和や結晶化度を

上げることにより収縮率を低減することができ、熱処理を実施するタイミングは特に限定されず、延伸後、撚糸後、組紐化後、布帛化後などが挙げられる。なお、上述の沸水収縮率は以下の方法で測定するものとする。枠周１．１２５ｍの検尺機で捲数２０回のカセを作り、０．０２２ｃＮ／ｄｔｅｘの荷重を掛けて、スケール板に吊るして初期のカセ長Ｌ０を測定した。その後、このカセを１００℃の沸騰水浴中で３０分間処理後、放冷し再び上記荷重を掛けてスケール板に吊るし収縮後のカセ長長Ｌを測定した。測定されたＬ０およびＬを用いて下記式（６）により沸水収縮率を計算する。

沸水収縮率＝（Ｌ０－Ｌ）／Ｌ０×１００（％）　　（６）

[0065]（被覆）

導電性繊維Ｂ、すなわち芯部１０３は、圧電性繊維Ａ、すなわち組紐状の鞘部１０２で表面が被覆されている。導電性繊維Ｂを被覆する鞘部１０２の厚みは１μｍ～１０ｍｍであることが好ましく、５μｍ～５ｍｍであることがより好ましく、１０μｍ～３ｍｍであることがさらに好ましい、２０μｍ～１ｍｍであることが最も好ましい。薄すぎると強度の点で問題となる場合があり、また、厚すぎると組紐状圧電素子１０１が硬くなり変形し難くなる場合がある。なお、ここで言う鞘部１０２とは芯部１０３に隣接する層のことを指す。

[0066] 組紐状圧電素子１０１において、鞘部１０２の圧電性繊維Ａの総繊度は、芯部１０３の導電性繊維Ｂの総繊度の１／２倍以上、２０倍以下であることが好ましく、１倍以上、１５倍以下であることがより好ましく、２倍以上、１０倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに導電性繊維Ｂが近接する他の導電性繊維に接触するおそれがある。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが多過ぎて組紐状圧電素子１０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子１０１がセンサーとして十分に機能し

なくなる。

ここでいう総繊度とは、鞘部１０２を構成する圧電性繊維Ａ全ての繊度の和であり、例えば、一般的な８打組紐の場合には、８本の繊維の繊度の総和となる。

[0067] また、組紐状圧電素子１０１において、鞘部１０２の圧電性繊維Ａの一本あたりの繊度は、導電性繊維Ｂの総繊度の１／２０倍以上、２倍以下であることが好ましく、１／１５倍以上、１．５倍以下であることがより好ましく、１／１０倍以上、１倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに圧電性繊維Ａが切断するおそれがある。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、圧電性繊維Ａが太過ぎて組紐状圧電素子１０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子１０１がセンサーとして十分に機能しなくなる。

[0068] なお、導電性繊維Ｂに金属繊維を用いた場合や、金属繊維を導電性繊維Ａあるいは圧電性繊維Ｂに混繊した場合は、繊度の比率は上記の限りではない。本発明において、上記比率は、接触面積や被覆率、すなわち、面積および体積の観点で重要であるからである。例えば、それぞれの繊維の比重が２を超えるような場合には、繊維の平均断面積の比率が上記繊度の比率であることが好ましい。

[0069] 圧電性繊維Ａと導電性繊維Ｂとはできるだけ密着していることが好ましいが、密着性を改良するために、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａとの間にアンカー層や接着層などを設けてもよい。

[0070] 被覆の方法は導電性繊維Ｂを芯糸として、その周りに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつける方法が取られる。一方、圧電性繊維Ａの組紐の形状は、印加された荷重で生じる応力に対して電気信号を出力することが出来れば特に限定されるものではないが、芯部１０３を有する８打組紐や１６打組紐が好ましい。

[0071] 導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａの形状としては特に限定されるものではないが、できるだけ同心円状に近いことが、好ましい。なお、導電性繊維Ｂとしてマルチフィラメントを用いる場合、圧電性繊維Ａは、導電性繊維Ｂのマルチフィラメントの表面（繊維周面）の少なくとも一部が接触しているように被覆していればよく、マルチフィラメントを構成するすべてのフィラメント表面（繊維周面）に圧電性繊維Ａが被覆していてもよいし、被覆していなくともよい。導電性繊維Ｂのマルチフィラメントを構成する内部の各フィラメントへの圧電性繊維Ａの被覆状態は、圧電性素子としての性能、取扱い性等を考慮して、適宜設定すればよい。

[0072] 本発明の組紐状圧電素子１０１は、その表面に電極を存在させる必要が無いため、組紐状圧電素子１０１自体をさらに被覆する必要がなく、また、誤動作しにくいという利点がある。

[0073] （製造方法）

本発明の組紐状圧電素子１０１は少なくとも１本の導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆しているが、その製造方法としては例えば以下の方法が挙げられる。すなわち、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａを別々の工程で作製し、導電性繊維Ｂに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつけて被覆する方法である。この場合には、できるだけ同心円状に近くなるように被覆することが好ましい。

[0074] この場合、圧電性繊維Ａを形成する圧電性高分子としてポリ乳酸を用いる場合の好ましい紡糸、延伸条件として、溶融紡糸温度は１５０℃～２５０℃が好ましく、延伸温度は４０℃～１５０℃が好ましく、延伸倍率は１．１倍から５．０倍が好ましく、結晶化温度は８０℃～１７０℃が好ましい。

[0075] 導電性繊維Ｂに巻きつける圧電性繊維Ａとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。また、圧電性繊維Ａを巻きつけられる導電性繊維Ｂとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。また、導

電性繊維Ｂは撚糸加工していてもよい。

[0076] 被覆の好ましい形態としては、導電性繊維Ｂを芯糸とし、その周囲に圧電性繊維Ａを組紐状に製紐して、丸打組物（Ｔｕｂｕｌａｒ　Ｂｒａｉｄ）を作製することで被覆することができる。より具体的には芯部１０３を有する８打組紐や１６打組紐が挙げられる。この際、圧電性繊維Ａには撚糸加工された繊維が用いることが好ましいが、すべての圧電性繊維が撚糸加工されていてもよいし、一部が撚糸加工されていてもよい。また、圧電性繊維Ａの撚糸方向は、用いる圧電性繊維Ａ全てが同じ方向である必要はない。例えば、製紐時に時計回り方向に回る繊維に、Ｓ撚糸加工したものを、反時計方向に回る繊維にＺ撚糸加工したものを用いることができる。また、例えば８打組紐の場合、８本すべてが圧電性繊維である必要はなく、目的とする信号強度が得られる範囲であれば別の繊維を用いることができる。もちろん、芯部の導電繊維、シールド層となる導電繊維に撚糸加工されたものを用いてもよい。ただし、例えば、圧電性繊維Ａを編組チューブのような形態とし、導電性繊維Ｂを芯として当該編組チューブに挿入することで被覆してもよい。

[0077] 以上のような製造方法により、導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆した組紐状圧電素子１０１を得ることができる。

[0078] 本発明の組紐状圧電素子１０１は、表面に電気信号を検出するための電極の形成を必要としないため、比較的簡単に製造することができる。

[0079] （保護層）

本発明の組紐状圧電素子１０１の最表面には保護層を設けてもよい。この保護層は絶縁性であることが好ましく、フレキシブル性などの観点から高分子からなるものがより好ましい。保護層に絶縁性を持たせる場合には、もちろん、この場合には保護層ごと変形させたり、保護層上を擦ったりすることになるが、これらの外力が圧電性繊維Ａまで到達し、その分極を誘起できるものであれば特に限定はない。保護層としては、高分子などのコーティングによって形成されるものに限定されず、フィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよく、あるいは、それらが組み合わされたものであってもよい。

[0080] 保護層の厚みとしては出来るだけ薄い方が、せん断応力を圧電性繊維Ａに伝えやすいが、薄すぎると保護層自体が破壊される等の問題が発生しやすくなるため、好ましくは１０ｎｍ～２００μｍ、より好ましくは５０ｎｍ～５０μｍ、さらに好ましくは７０ｎｍ～３０μｍ、最も好ましくは１００ｎｍ～１０μｍである。この保護層により圧電素子の形状を形成することもできる。

[0081] また、ノイズ低減を目的として電磁波シールド層を組紐構造に取り入れることも可能である。電磁波シールド層は特に限定されるものではないが、導電性の物質をコーティングしてもよいし、導電性を有するフィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよい。電磁波シールド層の体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、電磁波シールド層の効果が得られるのであれば抵抗率はこの限りではない。この電磁波シールド層は、鞘の圧電性繊維Ａの表面に設けてもよく、前述の保護層の外側に設けてもよい。もちろん、電磁波シールド層と保護層が複数層積層されていてもよく、その順番も目的に応じて適宜決められる。

[0082] さらには、圧電性繊維からなる層を複数層設けたり、信号を取り出すための導電性繊維からなる層を複数層設けたりすることもできる。もちろん、これらの保護層、電磁波シールド層、圧電性繊維からなる層、導電性繊維からなる層は、その目的に応じて、その順番および層数は適宜決められる。なお、巻付ける方法としては、鞘部１０２のさらに外層に組紐構造を形成したり、カバーリングしたりする方法が挙げられる。

上記のように圧電性構造体の中心軸側および外側に導電体を配置した場合は、中心軸側の導電体と外側の導電体とを２極の電極として圧電性高分子（誘電体）を挟んだコンデンサ状の圧電素子とみなすことができる。変形により圧電性構造体に発生する分極に誘起される電気信号を効果的に取り出すため、これらの電極間の絶縁抵抗の値としては、３Ｖの直流電圧で測定したとき、１ＭΩ以上であることが好ましく、１０ＭΩ以上であることがより好ま

しく、１００ＭΩ以上であることがさらに好ましい。また、これらの電極間に１ＭＨｚの交流電圧を与えた時の応答を解析して得られる、等価直列抵抗の値Ｒｓおよび等価直列容量Ｃｓの値についても、変形により圧電性構造体に発生する分極に誘起される電気信号を効果的に取り出し、応答性を良くするため、特定の値の範囲内であることが好ましい。即ち、Ｒｓの値は１μΩ以上１００ｋΩ以下が好ましく、１ｍΩ以上１０ｋΩ以下がより好ましく、１ｍΩ以上１ｋΩ以下であることがさらに好ましく、Ｃｓの値を圧電性構造体の中心軸方向の長さ（ｃｍ）で割った値として、０．１ｐＦ以上１０００ｐＦ以下が好ましく、０．２ｐＦ以上１００ｐＦ以下がより好ましく、０．４ｐＦ以上１０ｐＦ以下がさらに好ましい。

上記の通り、圧電性構造体と電極からなる素子が好ましい状態で動作可能な場合、これらの電極間に１ＭＨｚの交流電圧を与えた時の応答を解析して得られる、等価直列抵抗の値Ｒｓおよび等価直列容量Ｃｓの値は特定の範囲内の値を取るので、これらの値を圧電性構造体の検査に用いることも好ましい。また、交流電圧による解析で得られるＲｓおよびＣｓの値のみならず、その他の電気的刺激に対する過渡応答を解析することで圧電性構造体の検査を行うこともできる。

[0083]（作用）

本発明の組紐状圧電素子１０１は、特に、鞘部１０２から形成される円筒形の圧電性構造体の中心軸、即ち導電性繊維Ｂを軸としたねじり変形（応力）を与えた場合に大きな電気信号を効率的に出力することができる。一方、伸縮変形や曲げ、擦り変形に対しては大きな電気信号を出力しない。

[0084] ここで、組紐状圧電素子１０１に与えるねじり変形としては、素子中の繊維が塑性変形を開始する変形量に満たない範囲で与えられることが好ましい。その変形量は使用する繊維の物性による。ただし、繰り返しの仕様を想定しない用途ではこの限りではない。

[0085]（布帛状圧電素子）

図５は実施形態に係る組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子の構成例を

示す模式図である。

布帛状圧電素子１０７は、少なくとも１本の組紐状圧電素子１０１を含む布帛１０８を備えている。布帛１０８は、布帛を構成する繊維（組紐を含む）の少なくとも１本が組紐状圧電素子１０１であり、組紐状圧電素子１０１が圧電素子としての機能を発揮可能である限り何らの限定は無く、どのような織編物であってもよい。布状にするにあたっては、本発明の目的を達成する限り、他の繊維（組紐を含む）と組み合わせて、交織、交編等を行ってもよい。もちろん、組紐状圧電素子１０１を、布帛を構成する繊維（例えば、経糸や緯糸）の一部として用いてもよいし、組紐状圧電素子１０１を布帛に刺繍してもよいし、接着してもよい。図５に示す例では、布帛状圧電素子１０７は、経糸として、少なくとも１本の組紐状圧電素子１０１および絶縁性繊維１０９を配し、緯糸として導電性繊維１１０および絶縁性繊維１０９を交互に配した平織物である。導電性繊維１１０は導電性繊維Ｂと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよく、また絶縁性繊維１０９については後述される。なお、絶縁性繊維１０９及び／又は導電性繊維１１０の全部又は一部が組紐形態であってもよい。

[0086] この場合、布帛状圧電素子１０７が曲げられるなどして変形したとき、その変形に伴い組紐状圧電素子１０１も変形するので、組紐状圧電素子１０１から出力される電気信号により、布帛状圧電素子１０７の変形を検出できる。そして、布帛状圧電素子１０７は、布帛（織編物）として用いることができるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。

[0087] また、図５に示す布帛状圧電素子１０７では、組紐状圧電素子１０１に導電性繊維１１０が交差して接触している。したがって、導電性繊維１１０は、組紐状圧電素子１０１の少なくとも一部と交差して接触し、それを覆っており、外部から組紐状圧電素子１０１へ向かおうとする電磁波の少なくとも一部を遮っている、と見ることができる。このような導電性繊維１１０は、接地（アース）されることにより、組紐状圧電素子１０１への電磁波の影響

を軽減する機能を有している。すなわち導電性繊維１１０は組紐状圧電素子１０１の電磁波シールドとして機能することができる。それにより、例えば布帛状圧電素子１０７の上下に電磁波シールド用の導電性の布帛を重ねなくても、布帛状圧電素子１０７のＳ／Ｎ比を著しく向上させることができる。この場合、電磁波シールドの観点から組紐状圧電素子１０１と交差する緯糸（図５の場合）における導電性繊維１１０の割合が高いほど好ましい。具体的には、布帛１０８を形成する繊維であり且つ組紐状圧電素子１０１と交差する繊維のうちの３０％以上が導電性繊維であることが好ましく、４０％以上がより好ましく、５０％以上が更に好ましい。このように布帛状圧電素子１０７において、布帛を構成する繊維の少なくとも一部として導電性繊維を入れることで、電磁波シールド付の布帛状圧電素子１０７とすることができる。

[0088] 織物の織組織としては、平織、綾織、朱子織等の三原組織、変化組織、たて二重織、よこ二重織等の片二重組織、たてビロードなどが例示される。編物の種類は、丸編物（緯編物）であってもよいし経編物であってもよい。丸編物（緯編物）の組織としては、平編、ゴム編、両面編、パール編、タック編、浮き編、片畔編、レース編、添え毛編等が好ましく例示される。経編組織としては、シングルデンビー編、シングルアトラス編、ダブルコード編、ハーフトリコット編、裏毛編、ジャガード編等が例示される。層数も単層でもよいし、２層以上の多層でもよい。更には、カットパイルおよび／またはループパイルからなる立毛部と地組織部とで構成される立毛織物、立毛編み物であってもよい。

[0089]（複数の圧電素子）

また、布帛状圧電素子１０７では、組紐状圧電素子１０１を複数並べて用いることも可能である。並べ方としては、例えば経糸または緯糸としてすべてに組紐状圧電素子１０１を用いてもよいし、数本ごとや一部分に組紐状圧電素子１０１を用いてもよい。また、ある部分では経糸として組紐状圧電素子１０１を用い、他の部分では緯糸として組紐状圧電素子１０１を用いても

よい。

[0090] このように組紐状圧電素子１０１を複数本並べて布帛状圧電素子１０７を形成するときには、組紐状圧電素子１０１は表面に電極を有さないため、その並べ方、編み方が広範に選択することができるという利点がある。

[0091] また、組紐状圧電素子１０１を複数並べて用いる場合、導電性繊維Ｂ間の距離が短いため電気信号の取り出しにおいて効率的である。

[0092]（絶縁性繊維）

布帛状圧電素子１０７では、組紐状圧電素子１０１（及び導電性繊維１１０）以外の部分には、絶縁性繊維を使用することができる。この際、絶縁性繊維は布帛状圧電素子１０７の柔軟性を向上する目的で伸縮性のある素材、形状を有する繊維を用いることができる。

[0093] このように組紐状圧電素子１０１（及び導電性繊維１１０）以外にこのように絶縁性繊維を配置することで、布帛状圧電素子１０７の操作性（例示：ウェアラブルセンサーとしての動き易さ）を向上させることが可能である。

[0094] このような絶縁性繊維としては、体積抵抗率が10^{6}Ω・ｃｍ以上であれば用いることができ、より好ましくは10^{8}Ω・ｃｍ以上、さらに好ましくは10^{10}Ω・ｃｍ以上がよい。

[0095] 絶縁性繊維として例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。これらに限定されるものではなく、公知の絶縁性繊維を任意に用いることができる。さらに、これらの絶縁性繊維を組み合わせて用いてもよく、絶縁性を有しない繊維と組み合わせ、全体として絶縁性を有する繊維としてもよい。

[0096] また、公知のあらゆる断面形状の繊維も用いることができる。

[0097]（圧電素子の適用技術）

本発明の組紐状圧電素子１０１や布帛状圧電素子１０７のような圧電素子

はいずれの様態であっても、組紐状圧電素子の中心軸を軸としたねじり変形（応力）を電気信号として出力することができるので、その圧電素子に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を検出するセンサー（デバイス）として利用することができる。布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子の配置方法によっては、布帛状圧電素子が曲げ、伸縮、押圧などの変形や応力を受けた時に組紐状圧電素子がねじり変形するようにできるので、布帛状圧電素子の曲げ、伸縮、押圧などの変形や応力により電気信号を出力することもできる。また、この電気信号を他のデバイスを動かすための電力源あるいは蓄電するなど、発電素子として用いることもできる。具体的には、人、動物、ロボット、機械など自発的に動くものの可動部に用いることによる発電、靴底、敷物、外部から圧力を受ける構造物の表面での発電、流体中での形状変化による発電、などが挙げられる。また、流体中での形状変化により電気信号を発するために、流体中の帯電性物質を吸着させたり付着を抑制させたりすることも可能である。

[0098] 図６は、本発明の圧電素子１１２を備えるデバイス１１１を示すブロック図である。デバイス１１１は、圧電素子１１２（例示：組紐状圧電素子１０１、布帛状圧電素子１０７）と、任意選択で、印加された圧力に応じて圧電素子１１２の出力端子から出力される電気信号を増幅する増幅手段１１３、当該任意選択の増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力する出力手段１１４、及び出力手段１１４から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する送信手段１１５を有する電気回路を備える。このデバイス１１１を用いれば、圧電素子１１２の表面への接触、圧力、形状変化により出力された電気信号に基づき、外部機器（図示せず）における演算処理にて、圧電素子に印加された組紐状圧電素子の中心軸を軸としたねじり変形（応力）の大きさおよび／又は印加された位置を検出することができる。

[0099] 任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５は、例えばソフトウェアプログラム形式で構築されてもよく、あるいは各種電子回路とソフトウェアプログラムとの組み合わせで構築されてもよい。例えば、

演算処理装置（図示せず）に当該ソフトウェアプログラムがインストールされ、演算処理装置が当該ソフトウェアプログラムに従って動作することで、各部の機能を実現する。またあるいは、任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５を、これら各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。なお、送信手段１１５による送信方式を無線によるもの有線によるものにするかは、構成するセンサーに応じて適宜決定すればよい。あるいは、デバイス１１１内に、出力手段１１４から出力された電気信号に基づき圧電素子１１２に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を演算する演算手段（図示せず）を設けてもよい。また、増幅手段だけではなく、ノイズを除去する手段や他の信号と組み合わせて処理する手段などの公知の信号処理手段を組み合わせて用いてもよい。これらの手段の接続の順序は目的に応じて適宜変えることができる。もちろん、圧電素子１１２から出力される電気信号をそのまま外部機器へ送信した後で信号処理してもよい。

[0100] 図７および図８は、実施の形態に係る組紐布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。図７および図８の増幅手段１１３は、図６を参照して説明したものに相当するが、図６の出力手段１１４および送信手段１１５については図７および図８では図示を省略している。布帛状圧電素子１０７を備えるデバイスを構成する場合、増幅手段１１３の入力端子に組紐状圧電素子１０１の芯部１０３（導電性繊維Ｂで形成される）の出力端子からの引出し線を接続し、接地（アース）端子には、増幅手段１１３の入力端子に接続した組紐状圧電素子１０１とは別の組紐状圧電素子または導電性繊維１１０を接続する。例えば、図７に示すように、布帛状圧電素子１０７において、組紐状圧電素子１０１の芯部１０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子１０１に交差して接触した導電性繊維１１０を接地（アース）する。また例えば、図８に示すように、布帛状圧電素子１０７において組紐状圧電素子１０１を複数並べている場合、１本の組紐状圧電素子１０１の芯部１０３からの引出し線を増幅手段１１３の入

力端子に接続し、当該組紐状圧電素子１０１に並んだ別の組紐状圧電素子１０１の芯部１０３からの引出し線を、接地（アース）する。

[0101] 組紐状圧電素子１０１の中心軸を軸としたねじり変形が生じると、圧電性繊維Ａは変形して分極が発生する。圧電性繊維Ａの分極により発生した正負各電荷の配列につられて、組紐状圧電素子１０１の芯部１０３を形成する導電性繊維Ｂの出力端子からの引出し線上において、電荷の移動が発生する。導電性繊維Ｂからの引出し線上における電荷の移動は微小な電気信号（すなわち電流または電位差）として現れる。つまり、組紐状圧電素子１０１の中心軸（圧電性高分子が配置された円筒形の中心軸）を軸としたねじり変形が与えられた時に発生する電荷に応じて、出力端子から電気信号が出力される。増幅手段１１３やこの電気信号を増幅し、出力手段１１４は、増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力し、送信手段１１５は、出力手段１１４から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する。

[0102] 本発明のデバイス１１１は柔軟性があり、紐状および布帛状いずれの形態でも使用できるため、非常に広範な用途が考えられる。本発明のデバイス１１１の具体的な例としては、帽子や手袋、靴下などを含む着衣、サポーター、ハンカチ状などの形状をした、タッチパネル、人や動物の表面感圧センサー、例えば、手袋やバンド、サポーターなどの形状をした関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーが挙げられる。例えば人に用いる場合には、接触や動きを検出し、医療用途などの関節などの動きの情報収集、アミューズメント用途、失われた組織やロボットを動かすためのインターフェースとして用いることができる。他には、動物や人型を模したぬいぐるみやロボットの表面感圧センサー、関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーとして用いることができる。他には、シーツや枕などの寝具、靴底、手袋、椅子、敷物、袋、旗などの表面感圧センサーや形状変化センサーとして用いることができる。

[0103] さらに、本発明のデバイス１１１は組紐状あるいは布帛状であり、柔軟性があるので、あらゆる構造物の全体あるいは一部の表面に貼付あるいは被覆

することにより表面感圧センサー、形状変化センサーとして用いることができる。

[0104] さらに、本発明のデバイス１１１は、組紐状圧電素子１０１の表面を擦るだけで十分な電気信号を発生することができるので、タッチセンサーのようなタッチ式入力装置やポインティングデバイスなどに用いることができる。また、組紐状圧電素子１０１で被計測物の表面を擦ることによって被計測物の高さ方向の位置情報や形状情報を得ることができるので、表面形状計測などに用いることができる。

[0105] 以下、第２発明について詳細に説明する。

（組紐状圧電素子）

第２発明に係る組紐状圧電素子では、第１発明に係る構造体における圧電性高分子が円筒形に配置され、当該円筒形の中心軸の位置に導電性繊維からなる導電体を配置した素子であって、圧電性高分子が圧電性繊維として導電性繊維の周りに組紐状に組まれて配置された素子を使用することができる。以下、第２発明に係る組紐状圧電素子について詳細に説明する。

[0106] 図１０は実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

組紐状圧電素子２０１は、導電性繊維Ｂで形成された芯部２０３と、芯部２０３を被覆するように組紐状の圧電性繊維Ａで形成された鞘部２０２と、鞘部２０２を被覆する導電層２０４とを備えている。導電層２０４は芯部２０３の導電性繊維の対極となる電極としての機能と、芯部２０３の導電繊維を外部の電磁波から遮蔽し、芯部２０３の導電性繊維に発生するノイズ信号を抑制するシールドとしての機能を同時に有する。

[0107] 導電層２０４による鞘部２０２の被覆率は２５％以上が好ましい。ここで被覆率とは、導電層２０４を鞘部２０２へ投影した際の導電層２０４に含まれる導電性物質２０５の面積と鞘部２０２の表面積の比率であり、その値は２５％以上が好ましく、５０％以上がより好ましく、７５％以上であることがさらに好ましい。導電層２０４の被覆率が２５％を下回るとノイズ信号の抑制効果が十分に発揮されない場合がある。導電性物質２０５が導電層２０

４の表面へ露出していない場合、例えば導電性物質２０５を内包する繊維を導電層２０４として使用して鞘部２０２を被覆している場合は、その繊維の鞘部２０２へ投影した際の面積と鞘部２０２の表面積の比率を被覆率とすることができる。

導電性物質２０５とは、導電層２０４に含まれる導電性物質のことであり、公知のあらゆるものが該当する。

[0108] 組紐状圧電素子２０１では、少なくとも一本の導電性繊維Ｂの外周面を多数の圧電性繊維Ａが緻密に取り巻いている。組紐状圧電素子２０１に変形が生じると、多数の圧電性繊維Ａそれぞれに変形による応力が生じ、それにより多数の圧電性繊維Ａそれぞれに電場が生じ（圧電効果）、その結果、導電性繊維Ｂを取り巻く多数の圧電性繊維Ａの電場を重畳した電圧変化が導電性繊維Ｂに生じる。すなわち圧電性繊維Ａの組紐状の鞘部２０２を用いない場合と比較して導電性繊維Ｂからの電気信号が増大する。それにより、組紐状圧電素子２０１では、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電気信号を取り出すことが可能となる。なお、導電性繊維Ｂは複数本であってもよい。

[0109] 組紐状圧電素子２０１は、第２発明の目的を達成するという観点からは、後で説明する芯部２０３の半径Ｒｃに対する圧電性繊維からなる層の厚みｄの比ｄ／Ｒｃの特徴以外には、図１０に示される構成を有するものであればよく特に限定されないが、その中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力するという観点からは、以下の構成を有するものが好ましい。

中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子２０１としては、圧電性繊維Ａとして、配向した圧電性高分子を円筒形に配置した構造体であり、圧電性高分子が配置された円筒形の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下、好ましくは０°以上３５°以下または５５°以上９０°以下、より好ましくは０°以上３０°以下または６０°以上９０°以下、

さらに好ましくは０°以上２５°以下または６５°以上９０°以下、さらにより好ましくは０°以上１５°未満または７５°超９０°以下、最も好ましくは０°以上１０°以下または８０°以上９０°以下であり、圧電性高分子は配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む、構造体が用いられる。さらに該圧電性高分子は、圧電定数ｄ１４の値が正の結晶性高分子を主成分として含むＰ体と、負の結晶性高分子を主成分として含むＮ体とを含み、該構造体の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＳＮ、とし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超、特には０．８超１．０以下または０．９超、特には０．９超１．０以下である、そのような構造体であることがより好ましい。

[0110] なお、ｄ１４の値は成型条件や純度および測定雰囲気によって異なる値を示すが、本発明においては、実際に使用される圧電性高分子中の結晶性高分子の結晶化度および結晶配向度を測定し、それと同等の結晶化度および結晶配向度を有する１軸延伸フィルムを当該結晶性高分子を用いて作成し、そのフィルムのｄ１４の絶対値が、実際に使用される温度において０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を示せばよく、本実施形態の圧電性高分子に含まれる結晶性高分子としては、後述されるような特定の結晶性高分子には限定されない。フィルムサンプルのｄ１４の測定は公知の様々な方法を取ることができるが、例えばフィルムサンプルの両面に金属を蒸着して電極としたサンプルを、延伸方向から４５度傾いた方向に４辺を有する長方形に切り出し、その長尺方向に引張荷重をかけた時に両面の電極に発生する電荷を測定することで、ｄ１４の値を測定することができる。

[0111] 本発明の圧電性繊維として主成分としてポリ乳酸が含まれる繊維を用いる

場合、ポリ乳酸中の乳酸ユニットは９０モル％以上であることが好ましく、９５モル％以上であることがより好ましく、９８モル％以上がさらに好ましい。

[0112] なお、組紐状圧電素子２０１では、本発明の目的を達成する限り、鞘部２０２では圧電性繊維Ａ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよいし、芯部２０３では導電性繊維Ｂ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよい。

[0113] 導電性繊維Ｂの芯部２０３と、組紐状の圧電性繊維Ａの鞘部２０２と、鞘部２０２を被覆する導電層２０４とで構成される組紐状圧電素子の長さは特に限定はない。例えば、その組紐状圧電素子は製造において連続的に製造され、その後に必要な長さに切断して利用してもよい。組紐状圧電素子の長さは１ｍｍ～１０ｍ、好ましくは、５ｍｍ～２ｍ、より好ましくは１ｃｍ～１ｍである。長さが短過ぎると繊維形状である利便性が失われ、また、長さが長過ぎると導電性繊維Ｂの抵抗値を考慮する必要が出てくるであろう。

以下、各構成について詳細に説明する。

[0114] （導電性繊維）

導電性繊維Ｂとしては、導電性を示すものであればよく、公知のあらゆるものが用いられる。導電性繊維Ｂとしては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということができる。

[0115] 金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊

維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

[0116] ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

[0117] 導電性繊維Ｂに屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

[0118] 導電性繊維Ｂはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５０００μｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍである。さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、１本～１０００００本が好ましく、より好ましくは５本～５００本、さらに好ましくは１０本～１００本である。ただし、導電性繊維Ｂの繊度・本数とは、組紐を作製する際に用いる芯部２０３の繊度・本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の導電性繊維Ｂと数えるものとする。ここで芯部２０３とは、導電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0119] 繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維Ｂの断面形状

としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好ましいが、これに限定されない。

[0120] また、圧電性高分子からの電気出力を効率よく取り出すため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、電気信号の検出で十分な強度が得られるのであれば導電性繊維Ｂの抵抗率はこの限りではない。

[0121] 導電性繊維Ｂは、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さはＪＩＳ　Ｌ１０１３　８．６の方法で測定することができる。本発明に適当な結節強さの程度としては、０．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、１．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製ＫＥＳ－ＦＢ２純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適当な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）ＨＴＳ４０－３Ｋよりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が０．０５×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることが好ましく、０．０２×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがより好ましく、０．０１×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがさらに好ましい。

[0122] （圧電性繊維）

圧電性繊維Ａの材料である圧電性高分子としてはポリフッ化ビニリデンやポリ乳酸のような圧電性を示す高分子を利用できるが、本実施形態では上記のように圧電性繊維Ａは主成分として配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が高い結晶性高分子、とりわけポリ乳酸を含むことが好適である。ポリ乳酸は、例えば溶融紡糸後に延伸によって容易に配向して圧電性を示

し、ポリフッ化ビニリデンなどで必要となる電界配向処理が不要な点で生産性に優れている。しかしこのことは、本発明を実施するに際してポリフッ化ビニリデンその他の圧電性材料の使用を排除することを意図するものではない。

[0123] ポリ乳酸としては、その結晶構造によって、Ｌ－乳酸、Ｌ－ラクチドを重合してなるポリ－Ｌ－乳酸、Ｄ－乳酸、Ｄ－ラクチドを重合してなるポリ－Ｄ－乳酸、さらに、それらのハイブリッド構造からなるステレオコンプレックスポリ乳酸などがあるが、圧電性を示すものであればいずれも利用できる。圧電率の高さの観点で好ましくは、ポリ－Ｌ－乳酸、ポリ－Ｄ－乳酸である。ポリ－Ｌ－乳酸、ポリ－Ｄ－乳酸はそれぞれ、同じ応力に対して分極が逆になるために、目的に応じてこれらを組み合わせて使用することも可能である。

[0124] ポリ乳酸の光学純度は９９％以上であることが好ましく、９９．３％以上であることがより好ましく、９９．５％以上であることがさらに好ましい。光学純度が９９％未満であると著しく圧電率が低下する場合があり、圧電性繊維Ａの形状変化よって十分な電気信号を得ることが難しくなる場合がある。特に、圧電性繊維Ａは、主成分としてポリ－Ｌ－乳酸またはポリ－Ｄ－乳酸を含み、これらの光学純度が９９％以上であることが好ましい。

[0125] ポリ乳酸を主成分とする圧電性繊維Ａは、製造時に延伸されて、その繊維軸方向に一軸配向している。さらに、圧電性繊維Ａは、その繊維軸方向に一軸配向しているだけでなく、ポリ乳酸の結晶を含むものであることが好ましく、一軸配向したポリ乳酸の結晶を含むものであることがより好ましい。なぜなら、ポリ乳酸はその結晶性が高いことおよび一軸配向していることでより大きな圧電性を示し、ｄ１４の絶対値が高くなるためである。

[0126] 結晶性および一軸配向性はホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）で求められる。本発明の圧電性繊維Ａとしては、ホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）が下記式（１）を満たすことが好ましい。

$X_{homo} \times Ao \times Ao \div 10^6 \geqq 0.26$ （1）

上記式（１）を満たさない場合、結晶性および／または一軸配向性が十分でなく、動作に対する電気信号の出力値が低下したり、特定方向の動作に対する信号の感度が低下したりするおそれがある。上記式（１）の左辺の値は、０．２８以上がより好ましく、０．３以上がさらに好ましい。ここで、各々の値は下記に従って求める。

[0127] ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}：

ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}については、広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）による結晶構造解析から求める。広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）では、リガク製ｕｌｔｒａｘ１８型Ｘ線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルのＸ線回折図形をイメージングプレートに記録する。

Ｘ線源：　Ｃｕ－Ｋα線（コンフォーカル ミラー）

出力：　４５ｋＶ×６０ｍＡ

スリット：　１ｓｔ：１ｍｍΦ，２ｎｄ：０．８ｍｍΦ

カメラ長：　１２０ｍｍ

積算時間：　１０分

サンプル：　３５ｍｇのポリ乳酸繊維を引き揃え３ｃｍの繊維束とする。

得られるＸ線回折図形において方位角にわたって全散乱強度Ｉｔｏｔａｌを求め、ここで2θ＝１６．５°，１８．５°，２４．３°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和ΣＩＨＭｉを求める。これらの値から下式（２）に従い、ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}を求める。

ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}（％）＝$\Sigma I_{HMi} / I_{total} \times 100$ （2）

なお、ΣI_{HMi}は、全散乱強度においてバックグランドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出する。

[0128] （２）結晶配向度Ａｏ：

結晶配向度Ａｏについては、上記の広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）により

得られるＸ線回折図形において、動径方向の２θ＝１６．５°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角（°）に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計Σ_{Wi}（°）から次式（３）より算出する。

結晶配向度Ａｏ（％）＝（３６０－ΣW_i）÷３６０×１００　（３）

[0129] なお、ポリ乳酸は加水分解が比較的速いポリエステルであるから、耐湿熱性が問題となる場合においては、公知の、イソシアネート化合物、オキサゾリン化合物、エポキシ化合物、カルボジイミド化合物などの加水分解防止剤を添加してもよい。また、必要に応じてリン酸系化合物などの酸化防止剤、可塑剤、光劣化防止剤などを添加して物性改良してもよい。

[0130] 圧電性繊維Ａはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは５μｍ～２ｍｍ、さらに好ましくは１０μｍ～１ｍｍである。マルチフィラメントの場合、その単糸径は０．１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍ、さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントのフィラメント数としては、１本～１００００本が好ましく、より好ましくは５０本～５００００本、さらに好ましくは１００本～２００００本である。ただし、圧電性繊維Ａの繊度や本数については、組紐を作製する際のキャリア１つあたりの繊度、本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の圧電性繊維Ａと数えるものとする。ここで、キャリア１つの中に、圧電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0131] このような圧電性高分子を圧電性繊維Ａとするためには、高分子から繊維化するための公知の手法を、本発明の効果を奏する限りいずれも採用することができる。例えば、圧電性高分子を押し出し成型して繊維化する手法、圧電性高分子を溶融紡糸して繊維化する手法、圧電性高分子を乾式あるいは湿

式紡糸により繊維化する手法、圧電性高分子を静電紡糸により繊維化する手法、フィルムを形成した後に細くカットする手法、などを採用することができる。これらの紡糸条件は、採用する圧電性高分子に応じて公知の手法を適用すればよく、通常は工業的に生産の容易な溶融紡糸法を採用すればよい。さらに、繊維を形成後には形成された繊維を延伸する。それにより一軸延伸配向しかつ結晶を含む大きな圧電性を示す圧電性繊維Ａが形成される。

[0132] また、圧電性繊維Ａは、上記のように作製されたものを組紐とする前に、染色、撚糸、合糸、熱処理などの処理をすることができる。

[0133] さらに、圧電性繊維Ａは、組紐を形成する際に繊維同士が擦れて断糸したり、毛羽が出たりする場合があるため、その強度と耐摩耗性は高い方が好ましく、強度は１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、２．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、３．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。耐摩耗性は、ＪＩＳ　Ｌ１０９５　９．１０．２　Ｂ法などで評価することができ、摩擦回数は１００回以上が好ましく、１０００回以上であることがより好ましく、５０００回以上であることがさらに好ましく、１００００回以上であることが最も好ましい。耐摩耗性を向上させるための方法は特に限定されるものではなく、公知のあらゆる方法を用いることができ、例えば、結晶化度を向上させたり、微粒子を添加したり、表面加工したりすることができる。また、組紐に加工する際に、繊維に潤滑剤を塗布して摩擦を低減させることもできる。

[0134] また、圧電性繊維の収縮率は、前述した導電性繊維の収縮率との差が小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を後述の沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および導電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｃ）が下記式（４）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｃ）｜≦１０　　（４）

上記式（４）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0135] また、圧電性繊維の収縮率は、導電性繊維以外の繊維、例えば絶縁性繊維の収縮率との差も小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および絶縁性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｉ）が下記式（５）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｉ）｜≦１０　　（５）

上記式（５）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0136] また、圧電性繊維の収縮率は小さい方が好ましい。例えば収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の収縮率は１５％以下であることが好ましく、より好ましくは１０％以下、さらに好ましくは５％以下、最も好ましくは３％以下である。収縮率を下げる手段としては、公知のあらゆる方法を適用することができ、例えば、熱処理により非晶部の配向緩和や結晶化度を上げることにより収縮率を低減することができ、熱処理を実施するタイミングは特に限定されず、延伸後、撚糸後、組紐化後、布帛化後などが挙げられる。なお、上述の沸水収縮率は以下の方法で測定するものとする。枠周１．１２５ｍの検尺機で捲数２０回のカセを作り、０．０２２ｃＮ／ｄｔｅｘの荷重を掛けて、スケール板に吊るして初期のカセ長Ｌ０を測定した。その後、このカセを１００℃の沸騰水浴中で３０分間処理後、放冷し再び上記荷重を掛けてスケール板に吊るし収縮後のカセ長Ｌを測定した。測定されたＬ０およびＬを用いて下記式（６）により沸水収縮率を計算する。

沸水収縮率＝（Ｌ０－Ｌ）／Ｌ０×１００（％）　　（６）

[0137] （被覆）

導電性繊維Ｂ、すなわち芯部２０３は、圧電性繊維Ａ、すなわち組紐状の鞘部２０２で表面が被覆されている。導電性繊維Ｂを被覆する鞘部２０２の厚みは１μｍ～１０ｍｍであることが好ましく、５μｍ～５ｍｍであることがより好ましく、１０μｍ～３ｍｍであることがさらに好ましい、２０μｍ～１ｍｍであることが最も好ましい。薄すぎると強度の点で問題となる場合があり、また、厚すぎると組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる場合がある。なお、ここで言う鞘部２０２とは芯部２０３に隣接する層のことを指す。

[0138] 組紐状圧電素子２０１において、鞘部２０２の圧電性繊維Ａの総繊度は、芯部２０３の導電性繊維Ｂの総繊度の１／２倍以上、２０倍以下であることが好ましく、１倍以上、１５倍以下であることがより好ましく、２倍以上、１０倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに導電性繊維Ｂが近接する他の導電性繊維に接触するおそれがある。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが多過ぎて組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子２０１がセンサーとして十分に機能しなくなる。

ここでいう総繊度とは、鞘部２０２を構成する圧電性繊維Ａ全ての繊度の和であり、例えば、一般的な８打組紐の場合には、８本の繊維の繊度の総和となる。

[0139] また、組紐状圧電素子２０１において、鞘部２０２の圧電性繊維Ａの一本あたりの繊度は、導電性繊維Ｂの総繊度の１／２０倍以上、２倍以下であることが好ましく、１／１５倍以上、１．５倍以下であることがより好ましく、１／１０倍以上、１倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに圧電性

繊維Ａが切断するおそれがある。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、圧電性繊維Ａが太過ぎて組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子２０１がセンサーとして十分に機能しなくなる。

[0140] なお、導電性繊維Ｂに金属繊維を用いた場合や、金属繊維を導電性繊維Ｂあるいは圧電性繊維Ａに混繊した場合は、繊度の比率は上記の限りではない。本発明において、上記比率は、接触面積や被覆率、すなわち、面積および体積の観点で重要であるからである。例えば、それぞれの繊維の比重が２を超えるような場合には、繊維の平均断面積の比率が上記繊度の比率であることが好ましい。

[0141] 圧電性繊維Ａと導電性繊維Ｂとはできるだけ密着していることが好ましいが、密着性を改良するために、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａとの間にアンカー層や接着層などを設けてもよい。

[0142] 被覆の方法は導電性繊維Ｂを芯糸として、その周りに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつける方法が取られる。一方、圧電性繊維Ａの組紐の形状は、印加された荷重で生じる応力に対して電気信号を出力することが出来れば特に限定されるものではないが、芯部２０３を有する８打組紐や１６打組紐が好ましい。

[0143] 導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａの形状としては特に限定されるものではないが、できるだけ同心円状に近いことが、好ましい。なお、導電性繊維Ｂとしてマルチフィラメントを用いる場合、圧電性繊維Ａは、導電性繊維Ｂのマルチフィラメントの表面（繊維周面）の少なくとも一部が接触しているように被覆していればよく、マルチフィラメントを構成するすべてのフィラメント表面（繊維周面）に圧電性繊維Ａが被覆していてもよいし、被覆していなくともよい。導電性繊維Ｂのマルチフィラメントを構成する内部の各フィラメントへの圧電性繊維Ａの被覆状態は、圧電性素子としての性能、取扱い性等を考慮して、適宜設定すればよい。

[0144] （導電層）

導電層２０４は芯部２０３の導電性繊維の対極となる電極としての機能と、芯部２０３の導電性繊維を外部の電磁波から遮蔽し、芯部２０３の導電性繊維に発生するノイズ信号を抑制するシールドとしての機能とを同時に有することができる。導電層２０４はシールドとして機能するため、接地（アースまたは電子回路のグランドに接続）されることが好ましい。それにより、例えば布帛状圧電素子２０７の上下に電磁波シールド用の導電性の布帛を重ねなくても、布帛状圧電素子２０７のＳ／Ｎ比（信号対雑音比）を著しく向上させることができる。導電層２０４の様態としては、コーティングの他、フィルム、布帛、繊維の巻き付けが考えられ、またそれらを組み合わせてもよい。

[0145] 導電層２０４を形成するコーティングには導電性を示す物質を含むものが使用されていればよく、公知のあらゆるものが用いられる。例えば、金属、導電性高分子、導電性フィラーを分散させた高分子が挙げられる。

[0146] 導電層２０４をフィルムの巻き付けにより形成する場合は、導電性高分子、導電性フィラーを分散させた高分子を製膜して得られるフィルムが用いられ、また表面に導電性を有する層を設けたフィルムが用いられてもよい。

[0147] 導電層２０４を布帛の巻き付けにより形成する場合は、後述する導電性繊維２０６を構成成分とする布帛が用いられる。

[0148] 導電層２０４を繊維の巻き付けにより形成する場合、その手法としては、カバーリング、編物、組物が考えられる。また、使用する繊維は、導電性繊維２０６であり、導電性繊維２０６は、上記導電性繊維Ｂと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよい。導電性繊維２０６としては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着

、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということができる。

[0149] 金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

[0150] ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

[0151] 導電性繊維２０６に屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

[0152] 導電性繊維２０６はフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５０００μｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍである。さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、１本～１０００００本が好ましく、より好ましくは５本～５００本、さらに好ましくは１０本～１００本である。

[0153] 繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維２０６の断面

形状としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好ましいが、これに限定されない。

[0154] また、ノイズ信号の抑制効果を高めるため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、ノイズ信号の抑制効果が得られるのであれば抵抗率はこの限りではない。

[0155] 導電性繊維２０６は、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さはＪＩＳ　Ｌ１０１３　８．６の方法で測定することができる。本発明に適当な結節強さの程度としては、０．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、１．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製ＫＥＳ－ＦＢ２純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適当な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）ＨＴＳ４０－３Ｋよりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が０．０５×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることが好ましく、０．０２×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがより好ましく、０．０１×10^{-4}Ｎ・m^2／ｍ以下であることがさらに好ましい。

[0156] また、芯部の導電体と電磁波シールド層の導電体を２極の電極として圧電性高分子（誘電体）を挟んだコンデンサ状の圧電素子とみなすことができる。変形により圧電性構造体に発生する分極を効果的に取り出すため、これらの電極間の絶縁抵抗の値としては、３Ｖの直流電圧で測定したとき、１ＭΩ以上であることが好ましく、１０ＭΩ以上であることがより好ましく、１００ＭΩ以上であることがさらに好ましい。また、これらの電極間に１ＭＨｚ

の交流電圧を与えた時の応答を解析して得られる、等価直列抵抗の値Ｒｓおよび等価直列容量Ｃｓの値についても、変形により圧電性構造体に発生する分極を効果的に取り出し、応答性を良くするため、特定の値の範囲内であることが好ましい。即ち、Ｒｓの値は１μΩ以上１００ｋΩ以下が好ましく、１ｍΩ以上１０ｋΩ以下がより好ましく、１ｍΩ以上１ｋΩ以下であることがさらに好ましく、Ｃｓの値を圧電性構造体の中心軸方向の長さ（ｃｍ）で割った値として、０．１ｐＦ以上１０００ｐＦ以下が好ましく、０．２ｐＦ以上１００ｐＦ以下がより好ましく、０．４ｐＦ以上１０ｐＦ以下がさらに好ましい。

[0157] 上記の通り、圧電性繊維Ａと電極からなる素子が好ましい状態で動作可能な場合、これらの電極間に１ＭＨｚの交流電圧を与えた時の応答を解析して得られる、等価直列抵抗の値Ｒｓおよび等価直列容量Ｃｓの値は特定の範囲内の値を取るので、これらの値を組紐状圧電素子の検査に用いることも好ましい。また、交流電圧による解析で得られるＲｓおよびＣｓの値のみならず、その他の電圧の過渡応答を解析することで組紐状圧電素子の検査を行うこともできる。

[0158] （保護層）

本発明の組紐状圧電素子２０１の最表面には保護層を設けてもよい。この保護層は絶縁性であることが好ましく、フレキシブル性などの観点から高分子からなるものがより好ましい。保護層に絶縁性を持たせる場合には、もちろん、この場合には保護層ごと変形させたり、保護層上を擦ったりすることになるが、これらの外力が圧電性繊維Ａまで到達し、その分極を誘起できるものであれば特に限定はない。保護層としては、高分子などのコーティングによって形成されるものに限定されず、フィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよく、あるいは、それらが組み合わされたものであってもよい。

[0159] 保護層の厚みとしては出来るだけ薄い方が、せん断応力を圧電性繊維Ａに伝えやすいが、薄すぎると保護層自体が破壊される等の問題が発生しやすくなるため、好ましくは１０ｎｍ～２００μｍ、より好ましくは５０ｎｍ～５

０μｍ、さらに好ましくは７０ｎｍ～３０μｍ、最も好ましくは１００ｎｍ～１０μｍである。この保護層により圧電素子の形状を形成することもできる。

[0160] さらには、圧電性繊維からなる層を複数層設けたり、信号を取り出すための導電性繊維からなる層を複数層設けたりすることもできる。もちろん、これらの保護層、圧電性繊維からなる層、導電性繊維からなる層は、その目的に応じて、その順番および層数は適宜決められる。なお、巻付ける方法としては、鞘部２０２のさらに外層に組紐構造を形成したり、カバーリングしたりする方法が挙げられる。

[0161] 本発明の組紐状圧電素子２０１は、前述した圧電効果による電気信号の出力を利用して変形や応力を検出することができる他、組紐状圧電素子２０１の芯部の導電性繊維Ｂと導電層２０４の間の静電容量変化を計測することで、組紐状圧電素子２０１へ加えられた圧力による変形を検出することも可能になる。更に、複数本の組紐状圧電素子２０１を組み合わせて使用する場合、各々の組紐状圧電素子２０１の導電層２０４間の静電容量変化を計測することで、組紐状圧電素子２０１へ加えられた圧力による変形を検出することも可能になる。

[0162] （絶縁性繊維）

布帛状圧電素子２０７では、組紐状圧電素子２０１（及び導電性繊維２１０）以外の部分には、絶縁性繊維を使用することができる。この際、絶縁性繊維は布帛状圧電素子２０７の柔軟性を向上する目的で伸縮性のある素材、形状を有する繊維を用いることができる。

[0163] このように組紐状圧電素子２０１（及び導電性繊維２１０）以外にこのように絶縁性繊維を配置することで、布帛状圧電素子２０７の操作性（例示：ウェアラブルセンサーとしての動き易さ）を向上させることが可能である。

[0164] このような絶縁性繊維としては、体積抵抗率が10^{6}Ω・ｃｍ以上であれば用いることができ、より好ましくは10^{8}Ω・ｃｍ以上、さらに好ましくは10^{10}Ω・ｃｍ以上がよい。

[0165] 絶縁性繊維として例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。これらに限定されるものではなく、公知の絶縁性繊維を任意に用いることができる。さらに、これらの絶縁性繊維を組み合わせて用いてもよく、絶縁性を有しない繊維と組み合わせ、全体として絶縁性を有する繊維としてもよい。

また、公知のあらゆる断面形状の繊維も用いることができる。

[0166] （製造方法）

本発明の組紐状圧電素子２０１は少なくとも１本の導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆しているが、その製造方法としては例えば以下の方法が挙げられる。すなわち、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａを別々の工程で作製し、導電性繊維Ｂに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつけて被覆する方法である。この場合には、できるだけ同心円状に近くなるように被覆することが好ましい。

[0167] この場合、圧電性繊維Ａを形成する圧電性高分子としてポリ乳酸を用いる場合の好ましい紡糸、延伸条件として、溶融紡糸温度は１５０℃～２５０℃が好ましく、延伸温度は４０℃～１５０℃が好ましく、延伸倍率は１．１倍から５．０倍が好ましく、結晶化温度は８０℃～１７０℃が好ましい。

[0168] 導電性繊維Ｂに巻きつける圧電性繊維Ａとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。また、圧電性繊維Ａを巻きつけられる導電性繊維Ｂとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。

[0169] 被覆の好ましい形態としては、導電性繊維Ｂを芯糸とし、その周囲に圧電性繊維Ａを組紐状に製紐して、丸打組物（Ｔｕｂｕｌａｒ　Ｂｒａｉｄ）を作製することで被覆することができる。より具体的には芯部２０３を有する

８打組紐や１６打組紐が挙げられる。ただし、例えば、圧電性繊維Ａを編組チューブのような形態とし、導電性繊維Ｂを芯として当該編組チューブに挿入することで被覆してもよい。

[0170] 導電層２０４は、コーティングや繊維の巻き付けによって製造されるが、製造の容易さの観点より、繊維の巻き付けが好ましい。繊維の巻き付け方法としてはカバーリング、編物、組物が考えられ、何れの方法により製造してもよい。

[0171] 以上のような製造方法により、導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆し、さらにその周囲に導電層２０４を設けた組紐状圧電素子２０１を得ることができる。

ここで、本発明の組紐状圧電素子では、芯部の径と圧電性繊維からなる層（鞘部）の厚みの関係が非常に重要である。本発明の圧電素子は、そのまま繊維状のまま用いられたり、布帛状に織られたり、編まれたりするわけであるが、使用時および加工時において芯部信号線とシールド層（導電層）が短絡してしまう場合がある。本発明者は鋭意検討した結果、芯部の半径Ｒｃと圧電性繊維からなる層の厚みｄが、ｄ／Ｒｃ≧１．０の関係である必要がある。

[0172] 組紐状圧電素子を曲率Ｒで曲げた場合に素子の中心が基準線となって曲がると仮定すると、芯部表面の変形率は、

（Ｒ＋Ｒｃ）／Ｒ

となる。例えば曲率半径Ｒ＝２ｍｍの場合にはＲｃ＝０．２ｍｍの場合で変形率は１．１であり、曲げの外側では１０％伸長され、曲げの内側では１０％弛むことになる。この際、組まれている圧電性繊維からなる層の組目が乱れてシールド層を形成する層と芯部の信号線が短絡してしまう場合がある。ここで、変形により圧電性繊維からなる層が乱れたとしてもシールド層が芯部の信号線と短絡しないためには、圧電性繊維からなる層の厚みが芯部との関係で以下の条件を満たす必要がある。

[0173] 組紐状圧電素子の実用上の芯部表面の変形は２０％程度に抑えることが好

ましく、そのため、芯部の太さによりほぼ一義的に実用上の曲率半径も決まる。さらに言えばその場合に短絡しないための圧電性繊維からなる層の厚みもほぼ一義的に決まる。つまりＲｃ＞Ｒ／２０であることが好ましく、より好ましくはＲｃ＞Ｒ／１０である。さらに、ｄ／Ｒｃは１．０以上であることが好ましく、より好ましくは１．２以上であり、さらに好ましくは１．５以上である。

[0174] また、圧電性繊維からなる層は圧電性繊維を複数回積層してもよく。複数回積層した方が同じ厚みであっても短絡しにくくなる傾向にあり、積層回数をｎとした場合に、ｄ／Ｒｃ×ｎは０．８以上であることが好ましく、より好ましくは１．０以上であり、さらに好ましくは１．２以上である。

なお、短絡という点では圧電性繊維からなる層の厚みは厚い方がよいが、組紐状圧電素子の観点からは細い方がハンドリング性がよいため、シールド層は薄くすることが好ましい。

[0175] ここで、組紐状圧電素子の芯部の半径Ｒｃと、圧電性繊維からなる層の厚みｄは、図１１に示す断面の顕微鏡撮影画像から次のように算出する。なお、断面の観察については、組紐状圧電素子に低粘性の瞬間接着剤「アロンアルファＥＸＴＲＡ２０００」（東亞合成）を染み込ませて固化させた後、組紐の長軸に垂直な断面を切り出して断面写真を撮影してもよい。芯部の半径Ｒｃは、図１１－１に示すように、芯部の繊維束のみからなる最大の円Ｘの半径と、該繊維束を完全に包含する最小の円Ｙの半径との平均値とする。圧電性繊維からなる層の厚みｄは、図１１－２に示すように、該芯部を包含する圧電性繊維の繊維束のみからなる最大の円Ｘ’の半径と、該繊維束を完全に包含する最小の円Ｙ’の半径との平均値から、当該芯部の半径Ｒｃを差し引いた値とする。

[0176] （布帛状圧電素子）

図１２は実施形態に係る組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

布帛状圧電素子２０７は、少なくとも１本の組紐状圧電素子２０１を含む

布帛２０８を備えている。布帛２０８は、布帛を構成する繊維（組紐を含む）の少なくとも１本が組紐状圧電素子２０１であり、組紐状圧電素子２０１が圧電素子としての機能を発揮可能である限り何らの限定は無く、どのような織編物であってもよい。布状にするにあたっては、本発明の目的を達成する限り、他の繊維（組紐を含む）と組み合わせて、交織、交編等を行ってもよい。もちろん、組紐状圧電素子２０１を、布帛を構成する繊維（例えば、経糸や緯糸）の一部として用いてもよいし、組紐状圧電素子２０１を布帛に刺繍してもよいし、接着してもよい。図１２に示す例では、布帛状圧電素子２０７は、経糸として、少なくとも１本の組紐状圧電素子２０１および絶縁性繊維２０９を配し、緯糸として導電性繊維２１０および絶縁性繊維２０９を交互に配した平織物である。導電性繊維２１０は導電性繊維Ｂと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよく、また絶縁性繊維２０９については後述される。なお、絶縁性繊維２０９及び／又は導電性繊維２１０の全部又は一部が組紐形態であってもよい。

[0177] この場合、布帛状圧電素子２０７が曲げられるなどして変形したとき、その変形に伴い組紐状圧電素子２０１も変形するので、組紐状圧電素子２０１から出力される電気信号により、布帛状圧電素子２０７の変形を検出できる。そして、布帛状圧電素子２０７は、布帛（織編物）として用いることができるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。

[0178] また、図１２に示す布帛状圧電素子２０７では、組紐状圧電素子２０１に導電性繊維２１０が交差して接触している。したがって、導電性繊維２１０は、組紐状圧電素子２０１の少なくとも一部と交差して接触し、それを覆っており、外部から組紐状圧電素子２０１へ向かおうとする電磁波の少なくとも一部を遮っている、と見ることができる。このような導電性繊維２１０は、接地（アース）されることにより、組紐状圧電素子２０１への電磁波の影響を軽減する機能を有している。すなわち導電性繊維２１０は組紐状圧電素子２０１の電磁波シールドとして機能することができる。それにより、例え

ば布帛状圧電素子２０７の上下に電磁波シールド用の導電性の布帛を重ねなくても、布帛状圧電素子２０７のＳ／Ｎ比を著しく向上させることができる。この場合、電磁波シールドの観点から組紐状圧電素子２０１と交差する緯糸（図１２の場合）における導電性繊維２１０の割合が高いほど好ましい。具体的には、布帛２０８を形成する繊維であり且つ組紐状圧電素子２０１と交差する繊維のうちの３０％以上が導電性繊維であることが好ましく、４０％以上がより好ましく、５０％以上が更に好ましい。このように布帛状圧電素子２０７において、布帛を構成する繊維の少なくとも一部として導電性繊維を入れることで、電磁波シールド付の布帛状圧電素子２０７とすることができる。

[0179] 織物の織組織としては、平織、綾織、朱子織等の三原組織、変化組織、たて二重織、よこ二重織等の片二重組織、たてビロードなどが例示される。編物の種類は、丸編物（緯編物）であってもよいし経編物であってもよい。丸編物（緯編物）の組織としては、平編、ゴム編、両面編、パール編、タック編、浮き編、片畔編、レース編、添え毛編等が好ましく例示される。経編組織としては、シングルデンビー編、シングルアトラス編、ダブルコード編、ハーフトリコット編、裏毛編、ジャガード編等が例示される。層数も単層でもよいし、２層以上の多層でもよい。更には、カットパイルおよび／またはループパイルからなる立毛部と地組織部とで構成される立毛織物、立毛編み物であってもよい。

[0180] （複数の圧電素子）

また、布帛状圧電素子２０７では、組紐状圧電素子２０１を複数並べて用いることも可能である。並べ方としては、例えば経糸または緯糸としてすべてに組紐状圧電素子２０１を用いてもよいし、数本ごとや一部分に組紐状圧電素子２０１を用いてもよい。また、ある部分では経糸として組紐状圧電素子２０１を用い、他の部分では緯糸として組紐状圧電素子２０１を用いてもよい。

[0181] このように組紐状圧電素子２０１を複数本並べて布帛状圧電素子２０７を

形成するときには、組紐状圧電素子２０１は表面に電極を有さないため、その並べ方、編み方が広範に選択することができるという利点がある。

[0182] また、組紐状圧電素子２０１を複数並べて用いる場合、導電性繊維Ｂ間の距離が短いため電気信号の取り出しにおいて効率的である。

[0183] （圧電素子の適用技術）

本発明の組紐状圧電素子２０１や布帛状圧電素子２０７のような圧電素子はいずれの様態であっても、表面への接触、圧力、形状変化を電気信号として出力することができるので、その圧電素子に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を検出するセンサー（デバイス）として利用することができる。また、この電気信号を他のデバイスを動かすための電力源あるいは蓄電するなど、発電素子として用いることもできる。具体的には、人、動物、ロボット、機械など自発的に動くものの可動部に用いることによる発電、靴底、敷物、外部から圧力を受ける構造物の表面での発電、流体中での形状変化による発電、などが挙げられる。また、流体中での形状変化により電気信号を発するために、流体中の帯電性物質を吸着させたり付着を抑制させたりすることも可能である。

[0184] 図６は、本発明の圧電素子１１２を備えるデバイス１１１を示すブロック図である。デバイス１１１は、圧電素子１１２（例示：組紐状圧電素子２０１、布帛状圧電素子２０７）と、任意選択で、印加された圧力に応じて圧電素子１１２から出力される電気信号を増幅する増幅手段１１３と、当該任意選択の増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力する出力手段１１４、及び出力手段１１４から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する送信手段１１５を有する電気回路とを備える。このデバイス１１１を用いれば、圧電素子１１２の表面への接触、圧力、形状変化により出力された電気信号に基づき、外部機器（図示せず）における演算処理にて、圧電素子に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を検出することができる。

[0185] 任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５は、例

えばソフトウェアプログラム形式で構築されてもよく、あるいは各種電子回路とソフトウェアプログラムとの組み合わせで構築されてもよい。例えば、演算処理装置（図示せず）に当該ソフトウェアプログラムがインストールされ、演算処理装置が当該ソフトウェアプログラムに従って動作することで、各部の機能を実現する。またあるいは、任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５を、これら各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。なお、送信手段１１５による送信方式を無線によるもの有線によるものにするかは、構成するセンサーに応じて適宜決定すればよい。あるいは、デバイス１１１内に、出力手段１１４から出力された電気信号に基づき圧電素子１１２に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を演算する演算手段（図示せず）を設けてもよい。

[0186] また、増幅手段だけではなく、ノイズを除去する手段や他の信号と組み合わせて処理する手段などの公知の信号処理手段を組み合わせて用いることができる。これらの手段の接続の順序は目的に応じて適宜変えることができる。もちろん、圧電素子１１２から出力される電気信号をそのまま外部機器へ送信した後で信号処理してもよい。

[0187] 図１３は、実施の形態に係る組紐状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。図１３の増幅手段１１３は、図６を参照して説明したものに相当するが、図６の出力手段１１４および送信手段１１５については図１３では図示を省略している。組紐状圧電素子２０１を備えるデバイスを構成する場合、増幅手段１１３の入力端子に組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を接続し、接地（アース）端子には、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４を接続する。例えば、図１３に示すように、組紐状圧電素子２０１において、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４を接地（アース）する。

[0188] 図１４～１６は、実施の形態に係る組紐布帛状圧電素子を備えるデバイス

の構成例を示す模式図である。図１４～１６の増幅手段１１３は、図６を参照して説明したものに相当するが、図６の出力手段１１４および送信手段１１５については図１４～１６では図示を省略している。布帛状圧電素子２０７を備えるデバイスを構成する場合、増幅手段１１３の入力端子に組紐状圧電素子２０１の芯部２０３（導電性繊維Ｂで形成される）からの引出し線を接続し、接地（アース）端子には、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４または布帛状圧電素子２０７の導電性繊維２１０または増幅手段１１３の入力端子に接続した組紐状圧電素子２０１とは別の組紐状圧電素子を接続する。例えば、図１４に示すように、布帛状圧電素子２０７において、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４を接地（アース）する。また例えば、図１５に示すように、布帛状圧電素子２０７において、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子２０１に交差して接触した導電性繊維２１０を接地（アース）する。また例えば、図１６に示すように、布帛状圧電素子２０７において組紐状圧電素子２０１を複数並べている場合、１本の組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、当該組紐状圧電素子２０１に並んだ別の組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を、接地（アース）する。

[0189] 組紐状圧電素子２０１に変形が生じると、圧電性繊維Ａは変形して分極が発生する。圧電性繊維Ａの分極により発生した正負各電荷の配列につられて、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３を形成する導電性繊維Ｂからの引出し線上において、電荷の移動が発生する。導電性繊維Ｂからの引出し線上における電荷の移動は微小な電気信号（すなわち電流）の流れとして現れる。増幅手段１１３は、この電気信号を増幅し、出力手段１１４は、増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力し、送信手段１１５は、出力手段１１４から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する。

[0190] 本発明のデバイス１１１は柔軟性があり、紐状および布帛状いずれの形態

でも使用できるため、非常に広範な用途が考えられる。本発明のデバイス１１１の具体的な例としては、帽子や手袋、靴下などを含む着衣、サポーター、ハンカチ状などの形状をした、タッチパネル、人や動物の表面感圧センサー、例えば、手袋やバンド、サポーターなどの形状をした関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーが挙げられる。例えば人に用いる場合には、接触や動きを検出し、医療用途などの関節などの動きの情報収集、アミューズメント用途、失われた組織やロボットを動かすためのインターフェースとして用いることができる。他には、動物や人型を模したぬいぐるみやロボットの表面感圧センサー、関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーとして用いることができる。他には、シーツや枕などの寝具、靴底、手袋、椅子、敷物、袋、旗などの表面感圧センサーや形状変化センサーとして用いることができる。

[0191] さらに、本発明のデバイス１１１は組紐状あるいは布帛状であり、柔軟性があるので、あらゆる構造物の全体あるいは一部の表面に貼付あるいは被覆することにより表面感圧センサー、形状変化センサーとして用いることができる。

[0192] さらに、本発明のデバイス１１１は、組紐状圧電素子２０１の表面を擦るだけで十分な電気信号を発生することができるので、タッチセンサーのようなタッチ式入力装置やポインティングデバイスなどに用いることができる。また、組紐状圧電素子２０１で被計測物の表面を擦ることによって被計測物の高さ方向の位置情報や形状情報を得ることができるので、表面形状計測などに用いることができる。

[0193] 以下、第３発明について詳細に説明する。

（組紐状圧電素子）

第３発明に係る組紐状圧電素子では、第１発明に係る構造体における圧電性高分子が円筒形に配置され、当該円筒形の中心軸の位置に導電性繊維からなる導電体を配置した素子であって、圧電性高分子が圧電性繊維として導電性繊維の周りに組紐状に組まれて配置された素子を使用することができる。

以下、第３発明に係る組紐状圧電素子について詳細に説明する。

[0194] 図１０は実施形態に係る組紐状圧電素子の構成例を示す模式図である。

組紐状圧電素子２０１は、導電性繊維Ｂで形成された芯部２０３と、芯部２０３を被覆するように組紐状の圧電性繊維Ａで形成された鞘部２０２と、鞘部２０２を被覆する導電層２０４とを備えている。導電層２０４は芯部２０３の導電性繊維の対極となる電極としての機能と、芯部２０３の導電性繊維を外部の電磁波から遮蔽し、芯部２０３の導電性繊維に発生するノイズ信号を抑制するシールドとしての機能を同時に有する。

[0195] 導電層２０４による鞘部２０２の被覆率は２５％以上が好ましい。ここで被覆率とは、導電層２０４を鞘部２０２へ投影した際の導電層２０４に含まれる導電性物質２０５の面積と鞘部２０２の表面積の比率であり、その値は２５％以上が好ましく、５０％以上がより好ましく、７５％以上であることがさらに好ましい。導電層２０４の被覆率が２５％を下回るとノイズ信号の抑制効果が十分に発揮されない場合がある。導電性物質２０５が導電層２０４の表面へ露出していない場合、例えば導電性物質２０５を内包する繊維を導電層２０４として使用して鞘部２０２を被覆している場合は、その繊維の鞘部２０２へ投影した際の面積と鞘部２０２の表面積の比率を被覆率とすることができる。

[0196] 導電性物質２０５とは、導電層２０４に含まれる導電性物質のことであり、公知のあらゆるものが該当する。

[0197] 組紐状圧電素子２０１では、少なくとも一本の導電性繊維Ｂの外周面を多数の圧電性繊維Ａが緻密に取り巻いている。組紐状圧電素子２０１に変形が生じると、多数の圧電性繊維Ａそれぞれに変形による応力が生じ、それにより多数の圧電性繊維Ａそれぞれに電場が生じ（圧電効果）、その結果、導電性繊維Ｂを取り巻く多数の圧電性繊維Ａの電場を重畳した電圧変化が導電性繊維Ｂに生じる。すなわち圧電性繊維Ａの組紐状の鞘部２０２を用いない場合と比較して導電性繊維Ｂからの電気信号が増大する。それにより、組紐状圧電素子２０１では、比較的小さな変形で生じる応力によっても、大きな電

気信号を取り出すことが可能となる。なお、導電性繊維Ｂは複数本であってもよい。

[0198] 組紐状圧電素子２０１は、第３発明の目的を達成するという観点からは図１０に示される構成を有するものであればよく特に限定されないが、その中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力するという観点からは、以下の構成を有するものが好ましい。

[0199] （ねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子）

中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出力する組紐状圧電素子２０１としては、圧電性繊維Ａとして、一軸配向した高分子の成型体であり、配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子を使用することができる。本発明において「主成分として含む」とは、構成成分の５０質量％以上を占めることを指す。また、本発明において結晶性高分子とは、１質量％以上の結晶部と、結晶部以外の非晶部とからなる高分子であり、結晶性高分子の質量とは結晶部と非晶部とを合計した質量である。なお、ｄ１４の値は成型条件や純度および測定雰囲気によって異なる値を示すが、本発明においては、実際に使用される圧電性高分子中の結晶性高分子の結晶化度および結晶配向度を測定し、それと同等の結晶化度および結晶配向度を有する１軸延伸フィルムを当該結晶性高分子を用いて作成し、そのフィルムのｄ１４の絶対値が、実際に使用される温度において０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を示せばよく、本実施形態の圧電性高分子に含まれる結晶性高分子としては、後述されるような特定の結晶性高分子には限定されない。フィルムサンプルのｄ１４の測定は公知の様々な方法を取ることができるが、例えばフィルムサンプルの両面に金属を蒸着して電極としたサンプルを、延伸方向から４５度傾いた方向に４辺を有する長方形に切り出し、その長尺方向に引張荷重をかけた時に両面の電極に発生する電荷を測定することで、ｄ１４の値を測定することができる。

[0200] また、中心軸を軸としたねじり変形に対して選択的に大きな電気信号を出

力する組紐状圧電素子２０１においては、中心軸の方向と圧電性高分子の配向方向とがなす角度（配向角度θ）は０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下である。この条件を満たす時、組紐状圧電素子２０１に対し中心軸を軸としたねじり変形（ねじり応力）を与えることで、圧電性高分子に含まれる結晶性高分子の圧電定数ｄ１４に対応する圧電効果を効率よく利用し、組紐状圧電素子２０１の中心軸側と外側とに効率的に逆極性の電荷を発生させることができる。かかる観点から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは０°以上３５°以下または５５°以上９０°以下であることが好ましく、０°以上３０°以下または６０°以上９０°以下であることがより好ましく、０°以上２５°以下または６５°以上９０°以下であることがさらに好ましく、０°以上１５°未満または７５°超９０°以下であることがさらにより好ましい。中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°を超えて９０°未満である場合には、圧電性高分子の配向方向はらせんを描くことになる。

[0201] また、このように圧電性高分子を配置することで、組紐状圧電素子２０１の表面を擦るようなせん断変形や、中心軸を曲げるような曲げ変形や、中心軸方向の伸縮変形に対しては組紐状圧電素子２０１の中心軸側と外側とには大きな電荷を発生させないようにする、即ち中心軸を軸としたねじりに対して選択的に大きな電荷を発生させる組紐状圧電素子２０１とすることができる。

[0202] 圧電性高分子の配向方向がらせんをなす場合、らせん方向（Ｓ撚り方向またはＺ撚り方向）がどちらであるかは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性に影響しない。ただし、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°以上４０°以下である場合と、５０°以上９０°以下である場合とでは、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。また、ポリ－Ｌ－乳酸とポリ－Ｄ－乳酸のように、ｄ１４の符号が互いに異なる結晶性高分子を含む圧電性高分子も、ねじり変形に対して発生する電荷の極性が逆転する。従って、ねじり変形に対して組紐状圧電素子２０１の中心軸側と外側と

に効率的に逆極性の電荷を発生させるためには、ｄ１４の符号が同一の結晶性高分子を主成分として含む圧電性高分子のみを用い、組紐状圧電素子２０１の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下のどちらかのみに揃えることが好ましい。

[0203] 配向角度θは、可能な限り下記の方法で測定する。組紐状圧電素子２０１（図３中の圧電性構造体１に相当）の側面写真を撮影し、圧電性高分子２のらせんピッチＨＰを測定する。らせんピッチＨＰは図３の通り、１本の圧電性高分子２が表面から裏面を回って再び表面に来るまでに要した、中心軸方向の直線距離である。また、必要に応じて接着剤で構造を固定後に、組紐状圧電素子２０１の中心軸に垂直な断面を切り出して写真を撮影し、鞘部２０２が占める部分の外側半径Ｒｏおよび内側半径Ｒｉを測定する。断面の外縁および内縁が楕円形や扁平な円形の場合は、長径と短径の平均値をＲｏおよびＲｉとする。下記式から中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θを計算する。

$$\theta = \arctan(2\pi Rm / HP) \quad (0° \leqq \theta \leqq 90°)$$

ただしＲｍ＝２（$Ro^3 - Ri^3$）／３（$Ro^2 - Ri^2$）、即ち断面積で加重平均した組紐状圧電素子２０１の半径である。

[0204] 組紐状圧電素子２０１の側面写真において圧電性高分子が均一な表面を有しており、圧電性高分子のらせんピッチが判別できない場合は、接着剤等で固定した組紐状圧電素子２０１を中心軸を通る平面で割断し、割断面に垂直な方向に、中心軸を通るよう十分に狭い範囲でＸ線を透過するよう広角Ｘ線回折分析を行い、配向方向を決定して中心軸との角度をとり、θとする。

[0205] 本発明に係る組紐状圧電素子２０１では、圧電性高分子の配向方向に沿って描かれるらせんについて、らせん方向（Ｓ撚り方向またはＺ撚り方向）やらせんピッチを異にする２つ以上のらせんが同時に存在する場合があるが、それぞれのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子についてそれぞれ上記測定を行い、いずれか一つのらせん方向およびらせんピッチの圧電性高分子が前述の条件を満たすことが必要である。

[0206] 伸縮変形に対して組紐状圧電素子２０１の中心軸側と外側とには大きな電荷を発生させないようにする観点から、上記の圧電性高分子は、圧電定数ｄ１４の値が正の結晶性高分子を主成分として含むＰ体と、負の結晶性高分子を主成分として含むＮ体とを含み、組紐状圧電素子２０１の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＰ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置されたＮ体の質量をＳＮとし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超、特には０．８超１．０以下であることがより好ましく、さらに０．９超、特には０．９超１．０以下であることが好ましい。ここで上記のＴ１／Ｔ２の値を満足しない場合でも、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが０°以上１０°以下、または８０°以上９０°以下の場合は、１０°超８０°未満の場合に比べ伸縮変形に対して発生する電荷量が小さくなる結果、ねじり変形に対して選択的に電気信号を発生させることができ、好ましい。

[0207] 本発明の圧電性繊維として主成分としてポリ乳酸が含まれる繊維を用いる場合、ポリ乳酸中の乳酸ユニットは９０モル％以上であることが好ましく、９５モル％以上であることがより好ましく、９８モル％以上がさらに好ましい。

[0208] なお、組紐状圧電素子２０１では、本発明の目的を達成する限り、鞘部２０２では圧電性繊維Ａ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよいし、芯部２０３では導電性繊維Ｂ以外の他の繊維と組み合わせて混繊等を行ってもよい。

[0209] 導電性繊維Ｂの芯部２０３と、組紐状の圧電性繊維Ａの鞘部２０２と、鞘部２０２を被覆する導電層２０４とで構成される組紐状圧電素子の長さは特に限定はない。例えば、その組紐状圧電素子は製造において連続的に製造され、その後に必要な長さに切断して利用してもよい。組紐状圧電素子の長さ

は１ｍｍ～１０ｍ、好ましくは、５ｍｍ～２ｍ、より好ましくは１ｃｍ～１ｍである。長さが短過ぎると繊維形状である利便性が失われ、また、長さが長過ぎると導電性繊維Ｂの抵抗値を考慮する必要が出てくるであろう。

[0210] 以下、各構成について詳細に説明する。

[0211] （導電性繊維）

導電性繊維Ｂとしては、導電性を示すものであればよく、公知のあらゆるものが用いられる。導電性繊維Ｂとしては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということができる。

[0212] 金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

[0213] ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

[0214] 導電性繊維Ｂに屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

[0215] 導電性繊維Ｂはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５０００μｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍである。さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、１本～１００００本が好ましく、より好ましくは５本～５００本、さらに好ましくは１０本～１００本である。ただし、導電性繊維Ｂの繊度・本数とは、組紐を作製する際に用いる芯部２０３の繊度・本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の導電性繊維Ｂと数えるものとする。ここで芯部２０３とは、導電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0216] 繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維Ｂの断面形状としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好ましいが、これに限定されない。

[0217] また、圧電性高分子からの電気出力を効率よく取り出すため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、電気信号の検出で十分な強度が得られるのであれば導電性繊維Ｂの抵抗率はこの限りではない。

[0218] 導電性繊維Ｂは、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さはＪＩＳ　Ｌ１０１３　８．６の方法で測定することができる。本発明に適当な結節強さの程度としては、０．５ｃＮ

／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、１．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製ＫＥＳ－ＦＢ２純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適当な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）ＨＴＳ４０－３Ｋよりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が０．０５×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることが好ましく、０．０２×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることがより好ましく、０．０１×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることがさらに好ましい。

[0219] （圧電性繊維）

圧電性繊維Ａの材料である圧電性高分子としてはポリフッ化ビニリデンやポリ乳酸のような圧電性を示す高分子を利用できるが、本実施形態では上記のように圧電性繊維Ａは主成分として配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が高い結晶性高分子、とりわけポリ乳酸を含むことが好適である。ポリ乳酸は、例えば溶融紡糸後に延伸によって容易に配向して圧電性を示し、ポリフッ化ビニリデンなどで必要となる電界配向処理が不要な点で生産性に優れている。しかしこのことは、本発明を実施するに際してポリフッ化ビニリデンその他の圧電性材料の使用を排除することを意図するものではない。

[0220] ポリ乳酸としては、その結晶構造によって、Ｌ－乳酸、Ｌ－ラクチドを重合してなるポリ－Ｌ－乳酸、Ｄ－乳酸、Ｄ－ラクチドを重合してなるポリ－Ｄ－乳酸、さらに、それらのハイブリッド構造からなるステレオコンプレックスポリ乳酸などがあるが、圧電性を示すものであればいずれも利用できる。圧電率の高さの観点で好ましくは、ポリ－Ｌ－乳酸、ポリ－Ｄ－乳酸である。ポリ－Ｌ－乳酸、ポリ－Ｄ－乳酸はそれぞれ、同じ応力に対して分極が逆になるために、目的に応じてこれらを組み合わせて使用することも可能で

ある。

[0221] ポリ乳酸の光学純度は９９％以上であることが好ましく、９９．３％以上であることがより好ましく、９９．５％以上であることがさらに好ましい。光学純度が９９％未満であると著しく圧電率が低下する場合があり、圧電性繊維Ａの形状変化よって十分な電気信号を得ることが難しくなる場合がある。特に、圧電性繊維Ａは、主成分としてポリ－Ｌ－乳酸またはポリ－Ｄ－乳酸を含み、これらの光学純度が９９％以上であることが好ましい。

[0222] ポリ乳酸を主成分とする圧電性繊維Ａは、製造時に延伸されて、その繊維軸方向に一軸配向している。さらに、圧電性繊維Ａは、その繊維軸方向に一軸配向しているだけでなく、ポリ乳酸の結晶を含むものであることが好ましく、一軸配向したポリ乳酸の結晶を含むものであることがより好ましい。なぜなら、ポリ乳酸はその結晶性が高いことおよび一軸配向していることでより大きな圧電性を示し、ｄ１４の絶対値が高くなるためである。

[0223] 結晶性および一軸配向性はホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）で求められる。本発明の圧電性繊維Ａとしては、ホモＰＬＡ結晶化度X_{homo}（％）および結晶配向度Ａｏ（％）が下記式（１）を満たすことが好ましい。

$$X_{homo} \times Ao \times Ao \div 10^{6} \geqq 0.26 \qquad (1)$$

上記式（１）を満たさない場合、結晶性および／または一軸配向性が十分でなく、動作に対する電気信号の出力値が低下したり、特定方向の動作に対する信号の感度が低下したりするおそれがある。上記式（１）の左辺の値は、０．２８以上がより好ましく、０．３以上がさらに好ましい。ここで、各々の値は下記に従って求める。

[0224] ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}：

ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}については、広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）による結晶構造解析から求める。広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）では、リガク製ｕｌｔｒａｘ１８型Ｘ線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルのＸ線回折図形をイメージングプレートに記録する。

Ｘ線源：　Ｃｕ－Ｋα線（コンフォーカル ミラー）

出力：　４５ｋＶ×６０ｍＡ

スリット：　１ｓｔ：１ｍｍΦ，２ｎｄ：０．８ｍｍΦ

カメラ長：　１２０ｍｍ

積算時間：　１０分

サンプル：　３５ｍｇのポリ乳酸繊維を引き揃え３ｃｍの繊維束とする。

得られるＸ線回折図形において方位角にわたって全散乱強度Ｉｔｏｔａｌを求め、ここで2θ＝１６．５°，１８．５°，２４．３°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和ΣＩＨＭｉを求める。これらの値から下式（２）に従い、ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}を求める。

ホモポリ乳酸結晶化度X_{homo}（％）＝ΣI_{HMi}／I_{total}×１００　　（２）

なお、ΣI_{HMi}は、全散乱強度においてバックグランドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出する。

[0225] （２）結晶配向度Ａｏ：

結晶配向度Ａｏについては、上記の広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）により得られるＸ線回折図形において、動径方向の2θ＝１６．５°付近に現れるホモポリ乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角（°）に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計Σ_{Wi}（°）から次式（３）より算出する。

結晶配向度Ａｏ（％）＝（３６０－ΣW_i）÷３６０×１００　　（３）

[0226] なお、ポリ乳酸は加水分解が比較的速いポリエステルであるから、耐湿熱性が問題となる場合においては、公知の、イソシアネート化合物、オキサゾリン化合物、エポキシ化合物、カルボジイミド化合物などの加水分解防止剤を添加してもよい。また、必要に応じてリン酸系化合物などの酸化防止剤、可塑剤、光劣化防止剤などを添加して物性改良してもよい。

[0227] 圧電性繊維Ａはフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは５μｍ～２ｍｍ、さらに好ましくは１０μｍ～１ｍｍである。マルチフィラメントの場合、その単糸径は０．１μｍ～５ｍｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍ、さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントのフィラメント数としては、１本～１０００００本が好ましく、より好ましくは５０本～５００００本、さらに好ましくは１００本～２００００本である。ただし、圧電性繊維Ａの繊度や本数については、組紐を作製する際のキャリア１つあたりの繊度、本数であり、複数本の単糸（モノフィラメント）で形成されるマルチフィラメントも一本の圧電性繊維Ａと数えるものとする。ここで、キャリア１つの中に、圧電性繊維以外の繊維を用いた場合であっても、それを含めた全体の量とする。

[0228] このような圧電性高分子を圧電性繊維Ａとするためには、高分子から繊維化するための公知の手法を、本発明の効果を奏する限りいずれも採用することができる。例えば、圧電性高分子を押し出し成型して繊維化する手法、圧電性高分子を溶融紡糸して繊維化する手法、圧電性高分子を乾式あるいは湿式紡糸により繊維化する手法、圧電性高分子を静電紡糸により繊維化する手法、フィルムを形成した後に細くカットする手法、などを採用することができる。これらの紡糸条件は、採用する圧電性高分子に応じて公知の手法を適用すればよく、通常は工業的に生産の容易な溶融紡糸法を採用すればよい。さらに、繊維を形成後には形成された繊維を延伸する。それにより一軸延伸配向しかつ結晶を含む大きな圧電性を示す圧電性繊維Ａが形成される。

[0229] また、圧電性繊維Ａは、上記のように作製されたものを組紐とする前に、染色、撚糸、合糸、熱処理などの処理をすることができる。

[0230] さらに、圧電性繊維Ａは、組紐を形成する際に繊維同士が擦れて断糸したり、毛羽が出たりする場合があるため、その強度と耐摩耗性は高い方が好ましく、強度は１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、２．０ｃＮ

／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、２．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、３．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。耐摩耗性は、ＪＩＳ　Ｌ１０９５　９．１０．２　Ｂ法などで評価することができ、摩擦回数は１００回以上が好ましく、１０００回以上であることがより好ましく、５０００回以上であることがさらに好ましく、１００００回以上であることが最も好ましい。耐摩耗性を向上させるための方法は特に限定されるものではなく、公知のあらゆる方法を用いることができ、例えば、結晶化度を向上させたり、微粒子を添加したり、表面加工したりすることができる。また、組紐に加工する際に、繊維に潤滑剤を塗布して摩擦を低減させることもできる。

[0231] また、圧電性繊維の収縮率は、前述した導電性繊維の収縮率との差が小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を後述の沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および導電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｃ）が下記式（４）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｃ）｜≦１０　　（４）

上記式（４）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0232] また、圧電性繊維の収縮率は、導電性繊維以外の繊維、例えば絶縁性繊維の収縮率との差も小さいことが好ましい。収縮率差が大きいと、組紐作製後や布帛作製後の後処理工程や実使用時に熱がかかった時や経時変化により組紐が曲がったり、布帛の平坦性が悪くなったり、圧電信号が弱くなってしまう場合がある。収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｐ）および絶縁性繊維の沸水収縮率Ｓ（ｉ）が下記式（５）を満たすことが好適である。

｜Ｓ（ｐ）－Ｓ（ｉ）｜≦１０　　（５）

上記式（５）の左辺は５以下であることがより好ましく、３以下であればさらに好ましい。

[0233] また、圧電性繊維の収縮率は小さい方が好ましい。例えば収縮率を沸水収縮率で定量化した場合、圧電性繊維の収縮率は１５％以下であることが好ましく、より好ましくは１０％以下、さらに好ましくは５％以下、最も好ましくは３％以下である。収縮率を下げる手段としては、公知のあらゆる方法を適用することができ、例えば、熱処理により非晶部の配向緩和や結晶化度を上げることにより収縮率を低減することができ、熱処理を実施するタイミングは特に限定されず、延伸後、撚糸後、組紐化後、布帛化後などが挙げられる。なお、上述の沸水収縮率は以下の方法で測定するものとする。枠周１．１２５ｍの検尺機で捲数２０回のカセを作り、０．０２２ｃＮ／ｄｔｅｘの荷重を掛けて、スケール板に吊るして初期のカセ長Ｌ０を測定した。その後、このカセを１００℃の沸騰水浴中で３０分間処理後、放冷し再び上記荷重を掛けてスケール板に吊るし収縮後のカセ長Ｌを測定した。測定されたＬ０およびＬを用いて下記式（６）により沸水収縮率を計算する。

沸水収縮率＝（Ｌ０－Ｌ）／Ｌ０×１００（％） （６）

[0234] （被覆）

導電性繊維Ｂ、すなわち芯部２０３は、圧電性繊維Ａ、すなわち組紐状の鞘部２０２で表面が被覆されている。導電性繊維Ｂを被覆する鞘部２０２の厚みは１μｍ～１０ｍｍであることが好ましく、５μｍ～５ｍｍであることがより好ましく、１０μｍ～３ｍｍであることがさらに好ましい、２０μｍ～１ｍｍであることが最も好ましい。薄すぎると強度の点で問題となる場合があり、また、厚すぎると組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる場合がある。なお、ここで言う鞘部２０２とは芯部２０３に隣接する層のことを指す。

[0235] 組紐状圧電素子２０１において、鞘部２０２の圧電性繊維Ａの総繊度は、芯部２０３の導電性繊維Ｂの総繊度の１／２倍以上、２０倍以下であることが好ましく、１倍以上、１５倍以下であることがより好ましく、２倍以上、

１０倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに導電性繊維Ｂが近接する他の導電性繊維に接触するおそれがある。圧電性繊維Ａの総繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、導電性繊維Ｂを囲む圧電性繊維Ａが多過ぎて組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子２０１がセンサーとして十分に機能しなくなる。

ここでいう総繊度とは、鞘部２０２を構成する圧電性繊維Ａ全ての繊度の和であり、例えば、一般的な８打組紐の場合には、８本の繊維の繊度の総和となる。

[0236] また、組紐状圧電素子２０１において、鞘部２０２の圧電性繊維Ａの一本あたりの繊度は、導電性繊維Ｂの総繊度の１／２０倍以上、２倍以下であることが好ましく、１／１５倍以上、１．５倍以下であることがより好ましく、１／１０倍以上、１倍以下であることがさらに好ましい。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して小さ過ぎると、圧電性繊維Ａが少な過ぎて導電性繊維Ｂが十分な電気信号を出力できず、さらに圧電性繊維Ａが切断するおそれがある。圧電性繊維Ａ一本あたりの繊度が導電性繊維Ｂの総繊度に対して大き過ぎると、圧電性繊維Ａが太過ぎて組紐状圧電素子２０１が硬くなり変形し難くなる。すなわち、いずれの場合にも組紐状圧電素子２０１がセンサーとして十分に機能しなくなる。

[0237] なお、導電性繊維Ｂに金属繊維を用いた場合や、金属繊維を導電性繊維Ｂあるいは圧電性繊維Ａに混繊した場合は、繊度の比率は上記の限りではない。本発明において、上記比率は、接触面積や被覆率、すなわち、面積および体積の観点で重要であるからである。例えば、それぞれの繊維の比重が２を超えるような場合には、繊維の平均断面積の比率が上記繊度の比率であることが好ましい。

[0238] 圧電性繊維Ａと導電性繊維Ｂとはできるだけ密着していることが好ましい

が、密着性を改良するために、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａとの間にアンカー層や接着層などを設けてもよい。

[0239] 被覆の方法は導電性繊維Ｂを芯糸として、その周りに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつける方法が取られる。一方、圧電性繊維Ａの組紐の形状は、印加された荷重で生じる応力に対して電気信号を出力することが出来れば特に限定されるものではないが、芯部２０３を有する８打組紐や１６打組紐が好ましい。

[0240] 導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａの形状としては特に限定されるものではないが、できるだけ同心円状に近いことが、好ましい。なお、導電性繊維Ｂとしてマルチフィラメントを用いる場合、圧電性繊維Ａは、導電性繊維Ｂのマルチフィラメントの表面（繊維周面）の少なくとも一部が接触しているように被覆していればよく、マルチフィラメントを構成するすべてのフィラメント表面（繊維周面）に圧電性繊維Ａが被覆していてもよいし、被覆していなくともよい。導電性繊維Ｂのマルチフィラメントを構成する内部の各フィラメントへの圧電性繊維Ａの被覆状態は、圧電性素子としての性能、取扱い性等を考慮して、適宜設定すればよい。

[0241] （導電層）

導電層２０４は芯部２０３の導電性繊維の対極となる電極としての機能と、芯部２０３の導電性繊維を外部の電磁波から遮蔽し、芯部２０３の導電性繊維に発生するノイズ信号を抑制するシールドとしての機能とを同時に有することができる。導電層２０４はシールドとして機能するため、接地（アースまたは電子回路のグランドに接続）されることが好ましい。それにより、例えば布帛状圧電素子２０７の上下に電磁波シールド用の導電性の布帛を重ねなくても、布帛状圧電素子２０７のＳ／Ｎ比（信号対雑音比）を著しく向上させることができる。導電層２０４の様態としては、コーティングの他、フィルム、布帛、繊維の巻き付けが考えられ、またそれらを組み合わせてもよい。

[0242] 導電層２０４を形成するコーティングには導電性を示す物質を含むものが

使用されていればよく、公知のあらゆるものが用いられる。例えば、金属、導電性高分子、導電性フィラーを分散させた高分子が挙げられる。

[0243] 導電層２０４をフィルムの巻き付けにより形成する場合は、導電性高分子、導電性フィラーを分散させた高分子を製膜して得られるフィルムが用いられ、また表面に導電性を有する層を設けたフィルムが用いられてもよい。

[0244] 導電層２０４を布帛の巻き付けにより形成する場合は、後述する導電性繊維２０６を構成成分とする布帛が用いられる。

[0245] 導電層２０４を繊維の巻き付けにより形成する場合、その手法としては、カバーリング、編物、組物が考えられる。また、使用する繊維は、導電性繊維２０６であり、導電性繊維２０６は、上記導電性繊維Ｂと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよい。導電性繊維２０６としては、例えば、金属繊維、導電性高分子からなる繊維、炭素繊維、繊維状あるいは粒状の導電性フィラーを分散させた高分子からなる繊維、あるいは繊維状物の表面に導電性を有する層を設けた繊維が挙げられる。繊維状物の表面に導電性を有する層を設ける方法としては、金属コート、導電性高分子コート、導電性繊維の巻付けなどが挙げられる。なかでも金属コートが導電性、耐久性、柔軟性などの観点から好ましい。金属をコートする具体的な方法としては、蒸着、スパッタ、電解メッキ、無電解メッキなどが挙げられるが生産性などの観点からメッキが好ましい。このような金属をメッキされた繊維は金属メッキ繊維ということができる。

[0246] 金属をコートされるベースの繊維として、導電性の有無によらず公知の繊維を用いることができ、例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維の他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。ベースの繊維はこれらに限定されるものではなく、公知の繊維を任意に用いることができ、これらの繊維を組み合わせて用いてもよい。

[0247] ベースの繊維にコートされる金属は導電性を示し、本発明の効果を奏する限り、いずれを用いてもよい。例えば、金、銀、白金、銅、ニッケル、スズ、亜鉛、パラジウム、酸化インジウム錫、硫化銅など、およびこれらの混合物や合金などを用いることができる。

[0248] 導電性繊維２０６に屈曲耐性のある金属コートした有機繊維を使用すると、導電性繊維が折れることが非常に少なく、圧電素子を用いたセンサーとしての耐久性や安全性に優れる。

[0249] 導電性繊維２０６はフィラメントを複数本束ねたマルチフィラメントであっても、また、フィラメント一本からなるモノフィラメントであってもよい。マルチフィラメントの方が電気特性の長尺安定性の観点で好ましい。モノフィラメント（紡績糸を含む）の場合、その単糸径は１μｍ～５０００μｍであり、好ましくは２μｍ～１００μｍである。さらに好ましくは３μｍ～５０μｍである。マルチフィラメントの場合、フィラメント数としては、１本～１０００００本が好ましく、より好ましくは５本～５００本、さらに好ましくは１０本～１００本である。

[0250] 繊維の直径が小さいと強度が低下しハンドリングが困難となり、また、直径が大きい場合にはフレキシブル性が犠牲になる。導電性繊維２０６の断面形状としては円または楕円であることが、圧電素子の設計および製造の観点で好ましいが、これに限定されない。

[0251] また、ノイズ信号の抑制効果を高めるため、電気抵抗は低いことが好ましく、体積抵抗率としては10^{-1}Ω・ｃｍ以下であることが好ましく、より好ましくは10^{-2}Ω・ｃｍ以下、さらに好ましくは10^{-3}Ω・ｃｍ以下である。ただし、ノイズ信号の抑制効果が得られるのであれば抵抗率はこの限りではない。

[0252] 導電性繊維２０６は、本発明の用途から、繰り返しの曲げやねじりといった動きに対して耐性がなければならない。その指標としては、結節強さが、より大きいものが好まれる。結節強さはＪＩＳ　Ｌ１０１３　８．６の方法で測定することができる。本発明に適当な結節強さの程度としては、０．５

ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが好ましく、１．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがより好ましく、１．５ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることがさらに好ましく、２．０ｃＮ／ｄｔｅｘ以上であることが最も好ましい。また、別の指標としては、曲げ剛性が、より小さいものが好まれる。曲げ剛性は、カトーテック（株）製ＫＥＳ－ＦＢ２純曲げ試験機などの測定装置で測定されるのが一般的である。本発明に適当な曲げ剛性の程度としては、東邦テナックス（株）製の炭素繊維“テナックス”（登録商標）ＨＴＳ４０－３Ｋよりも小さいほうが好ましい。具体的には、導電性繊維の曲げ剛性が０．０５×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることが好ましく、０．０２×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることがより好ましく、０．０１×１０$^{-4}$Ｎ・ｍ^{2}／ｍ以下であることがさらに好ましい。

[0253] （保護層）

本発明に係る組紐状圧電素子２０１の最表面には保護層を設けてもよい。この保護層は絶縁性であることが好ましく、フレキシブル性などの観点から高分子からなるものがより好ましい。保護層に絶縁性を持たせる場合には、もちろん、この場合には保護層ごと変形させたり、保護層上を擦ったりすることになるが、これらの外力が圧電性繊維Ａまで到達し、その分極を誘起できるものであれば特に限定はない。保護層としては、高分子などのコーティングによって形成されるものに限定されず、フィルム、布帛、繊維などを巻付けてもよく、あるいは、それらが組み合わされたものであってもよい。また、後述する本発明に係る布帛を保護層として用いることもでき、構成の簡素化の点から好ましい。

[0254] 保護層の厚みとしては出来るだけ薄い方が、せん断応力を圧電性繊維Ａに伝えやすいが、薄すぎると保護層自体が破壊される等の問題が発生しやすくなるため、好ましくは１０ｎｍ～２００μｍ、より好ましくは５０ｎｍ～５０μｍ、さらに好ましくは７０ｎｍ～３０μｍ、最も好ましくは１００ｎｍ～１０μｍである。この保護層により圧電素子の形状を形成することもできる。

[0255] さらには、圧電性繊維からなる層を複数層設けたり、信号を取り出すための導電性繊維からなる層を複数層設けたりすることもできる。もちろん、これらの保護層、圧電性繊維からなる層、導電性繊維からなる層は、その目的に応じて、その順番および層数は適宜決められる。なお、巻付ける方法としては、鞘部２０２のさらに外層に組紐構造を形成したり、カバーリングしたりする方法が挙げられる。

[0256] 本発明に係る組紐状圧電素子２０１は、前述した圧電効果による電気信号の出力を利用して変形や応力を検出することができる他、組紐状圧電素子２０１の芯部の導電性繊維Ｂと導電層２０４の間の静電容量変化を計測することで、組紐状圧電素子２０１へ加えられた圧力による変形を検出することも可能になる。更に、複数本の組紐状圧電素子２０１を組み合わせて使用する場合、各々の組紐状圧電素子２０１の導電層２０４間の静電容量変化を計測することで、組紐状圧電素子２０１へ加えられた圧力による変形を検出することも可能になる。

[0257] （布帛状圧電素子）

本発明の布帛状圧電素子は、少なくとも１本の組紐状圧電素子が布帛に固定されている。こうすることでこの布帛自体を衣服など所望の形状に加工してデバイスとできるのみならず、既成の服や構造体などセンサ機能を有しない基材に縫付けや接着などの様々な方法で設置し、センサ機能を付与することが簡便にできるようになる。図１７は実施形態に係る組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子の構成例を示す模式図である。

[0258] 図１７の例では、布帛状圧電素子２０７は、少なくとも１本の組紐状圧電素子２０１が布帛２０８に固定されている。布帛２０８は、布帛を構成する繊維（組紐を含む）の少なくとも１本が組紐状圧電素子２０１であり、組紐状圧電素子２０１が圧電素子としての機能を発揮可能である限り何らの限定は無く、どのような織編物であってもよい。布状にするにあたっては、本発明の目的を達成する限り、他の繊維（組紐を含む）と組み合わせて、交織、交編等を行ってもよい。もちろん、組紐状圧電素子２０１を、布帛を構成す

る繊維（例えば、経糸や緯糸）の一部として用いてもよいし、組紐状圧電素子２０１を布帛に刺繍してもよいし、接着してもよい。図１７に示す例では、布帛状圧電素子２０７は、経糸として、少なくとも１本の組紐状圧電素子２０１および絶縁性繊維２０９を配し、緯糸として絶縁性繊維２０９を配した平織物である。絶縁性繊維２０９については後述される。なお、絶縁性繊維２０９の全部又は一部が組紐形態であってもよい。

[0259] この場合、布帛状圧電素子２０７が曲げられるなどして変形したとき、その変形に伴い組紐状圧電素子２０１も変形するので、組紐状圧電素子２０１から出力される電気信号により、布帛状圧電素子２０７の変形を検出できる。そして、布帛状圧電素子２０７は、布帛（織編物）として用いることができるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。

[0260] また、図１７に示す布帛状圧電素子２０７の緯糸の絶縁性繊維を、部分的に導電性繊維２１０で置き換えた構成（図１８）では、組紐状圧電素子２０１に導電性繊維２１０が交差して接触している。したがって、導電性繊維２１０は、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４の少なくとも一部と交差して接触しており、このような導電性繊維２１０を導電層２０４の代わりに電子回路へ接続することができる。導電性繊維２１０は導電性繊維Ｂと同一種であっても異種の導電性繊維であってもよく、その全部又は一部が組紐形態であってもよい。

[0261] 本発明の布帛状圧電素子は、布帛に対する組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度が０．１Ｎ以上である。こうすることで、布帛の変形と組紐状圧電素子の変形との差が最小限になるため、組紐状圧電素子の電気信号により検知される組紐状圧電素子の変形量を用いて、布帛の変形を推定する際の誤差を最小化でき、再現性も向上させることができる。布帛に対する組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度が０．１Ｎ未満の場合、例えば布帛の伸縮変形が起こっても組紐状圧電素子と布帛との間で滑りが起こり、組紐状圧電素子が十分に伸縮変形せず、布帛の伸縮量より組紐状圧電素子の電気信

号により検知される伸縮量が著しく小さくなってしまい、再現性も低い。かかる観点から、布帛に対する組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度は０．２Ｎ以上が好ましく、０．３Ｎ以上がさらに好ましく、０．４Ｎ以上が特に好ましい。なお、引き抜き強度が組紐状圧電素子の強度以上であることが最も好ましい。

[0262] 本発明における「布帛に対する組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度」は、以下のようにして決定される。まず、組紐状圧電素子が布帛状圧電素子から露出している場所がある場合は、露出している組紐状圧電素子を引張試験機の把持治具の一方で把持し、把持した側の組紐状圧電素子が固定された端から５ｃｍの部分で組紐状圧電素子および布帛状圧電素子を切断する。組紐状圧電素子が布帛に固定された５ｃｍの部分の両脇の、組紐状圧電素子から１ｍｍ以内の領域を除いた部分を、組紐状圧電素子の長さ方向に５ｃｍにわたってＵ字型の把持治具で把持し、引張試験機の把持治具のもう一方に接続する。また、この状態で１０ｍｍ／ｍｉｎの速度で引張試験を行い、最大強度を測定し、引抜き強度とする。なお、組紐状圧電素子が布帛状圧電素子から露出している場所が十分にない場合は、布帛の一部（組紐状圧電素子以外の部分）を切断して組紐組紐状圧電素子を露出させ、上記の測定を行えばよい。なお、組紐状圧電素子が布帛に固定された部分の長さを５ｃｍ確保することが困難な場合は、任意の長さの固定部分で引抜き強度を測定して、５ｃｍあたりの強度に換算してもよい。

[0263] 本発明の布帛状圧電素子は、布帛を構成する繊維による組紐状圧電素子の被覆率が布帛の両面とも３０％を超えることが好ましい。こうすることで、布帛に対する組紐状圧電素子の引抜き強度が上がり、布帛の変形と組紐状圧電素子の変形との差が最小限になるのみならず、外部からの擦り、熱、光などによる損傷を受けにくくすることができる。かかる観点から、布帛を構成する繊維による組紐状圧電素子の被覆率は布帛の両面とも５０％を超えることがより好ましく、７０％を超えることがさらに好ましく、１００％が最も好ましい。

[0264] 布帛を構成する繊維による組紐状圧電素子の被覆率は、布帛状圧電素子の一方の面から垂直に観察したときの画像において、組紐状圧電素子の投影面積に対し、布帛を構成する繊維によって組紐状圧電素子が隠れている部分の面積比を算出する。もう一方の面からの観察画像についても同様に評価し、布帛の両面でそれぞれ被覆率を算出する。このように算出した場合、通常の織物組織（平織や綾織、朱子織等）による布帛では、両面ともに被覆率が５０％を超えることは難しいが、平織や綾織組織にて製織するときに紡績糸やマルチフィラメント糸を用いたり、組紐状圧電素子に直交する糸の密度を高くしたり、組紐状圧電素子に平行な糸の密度を比較的低くすることで、布帛の両面とも５０％を超える被覆率とすることができる。ただし、組紐状圧電素子に直交する糸の密度を高くするため、組紐状圧電素子に直交する糸の張力を下げ過ぎた場合は、組紐状圧電素子を拘束する力が弱まる結果、所望の引抜き強度を達成することができなくなるため、好ましくない。また、２重織り布帛あるいは２重編み布帛の層間に組紐状圧電素子が挟み込まれるよう布帛を製造することで、布帛の両面の被覆率を大きく向上させ、１００％または１００％に近くすることもできる。一方、被覆率が３０％以下の場合は、布帛の繊維間から組紐状圧電素子が露出している箇所が多く、保護が十分ではない。布帛を構成する繊維が透明であっても被覆されているとみなす。組紐状圧電素子が導電層２０４の外層に保護層を備えている場合は、その保護層も含めて組紐状圧電素子とみなす。

[0265] （複数の圧電素子）

また、布帛状圧電素子２０７では、組紐状圧電素子２０１を複数並べて用いることも可能である。並べ方としては、例えば経糸または緯糸としてすべてに組紐状圧電素子２０１を用いてもよいし、数本ごとや一部分に組紐状圧電素子２０１を用いてもよい。また、ある部分では経糸として組紐状圧電素子２０１を用い、他の部分では緯糸として組紐状圧電素子２０１を用いてもよい。

[0266] 図１９は実施形態に係る組紐状圧電素子を用いた布帛状圧電素子の他の構

成例を示す模式図である。布帛状圧電素子２０７は、少なくとも２本の組紐状圧電素子２０１を含む布帛２０８を備えており、これらの組紐状圧電素子２０１は略平行に配置されている。布帛２０８は、布帛を構成する繊維（組紐を含む）の少なくとも２本が組紐状圧電素子２０１であり、組紐状圧電素子２０１が圧電素子としての機能を発揮可能である限り何らの限定は無く、どのような織編物であってもよい。図１９に示す例では、布帛状圧電素子２０７は、経糸として、少なくとも２本の組紐状圧電素子２０１および絶縁性繊維２０９を配し、緯糸として絶縁性繊維２０９を配した平織物である。絶縁性繊維２０９については後述される。なお、絶縁性繊維２０９の全部又は一部が組紐形態であってもよい。また、図１８の場合と同様に、図１９に示す布帛状圧電素子２０７の緯糸の絶縁性繊維を、部分的に導電性繊維で置き換えてもよい。

[0267] 組紐状圧電素子２０１は、変形すると圧電信号を発するが、この信号は変形の様態に応じて大きさや形状が変化する。図１９に示す布帛状圧電素子２０７の場合、布帛状圧電素子２０７が２本の組紐状圧電素子２０１に直交する線を屈曲部として曲げ変形したとき、２本の組紐状圧電素子２０１は同一の変形をする。したがって、２本の組紐状圧電素子２０１からは同一の信号が検出される。一方で、ねじりなどの複雑な変形を与えた場合、２本の組紐状圧電素子２０１には別々の変形が誘起されることとなり、それぞれの組紐状圧電素子２０１が発生する信号は異なるものになる。この原理により、複数の組紐状圧電素子２０１を組み合わせ、それぞれの組紐状圧電素子２０１で発生する信号を比較演算することで、組紐状圧電素子２０１の複雑な変形の解析が可能になる。例えば、各組紐状圧電素子２０１で発生する信号の極性、振幅、位相などを比較して得られる結果に基づき、ねじりなどの複雑な変形を検出することができる。

[0268] 上記の形態では、布帛の曲げに対して２本の組紐状圧電素子２０１が異なる変形を受けるようにする観点から、２本の組紐状圧電素子２０１は、互いに間隔を置いて配置され、具体的には圧電性繊維が互いに最も近い部分の距

離が０．０５ｍｍ以上５００ｍｍ以下離れていることが好ましく、０．１ｍｍ以上２００ｍｍ以下離れていることがより好ましく、０．５ｍｍ以上１００ｍｍ以下離れていることが更に好ましい。また信号検出に使用しない組紐状圧電素子が布帛中に含まれる場合、その組紐状圧電素子と他の組紐状圧電素子の距離が０．０５ｍｍ未満であってもよい。

[0269] 以上の通り、複数の組紐状圧電素子２０１を組み合せ、それぞれの組紐状圧電素子２０１で発生する信号を比較演算することで、曲げやねじりなどの複雑な変形の解析が可能になるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。この場合、布帛状圧電素子２０７が曲げられるなどして変形したとき、その変形に伴い組紐状圧電素子２０１も変形するので、組紐状圧電素子２０１から出力される電気信号に基づいて、布帛状圧電素子２０７の変形を検出できる。そして、布帛状圧電素子２０７は、布帛（織編物）として用いることができるので、例えば衣類形状のウェアラブルセンサーに適用することができる。

[0270] （絶縁性繊維）

布帛状圧電素子２０７では、組紐状圧電素子２０１（及び導電性繊維２１０）以外の部分には、絶縁性繊維を使用することができる。この際、絶縁性繊維は布帛状圧電素子２０７の柔軟性を向上する目的で伸縮性のある素材、形状を有する繊維を用いることができる。

[0271] このように組紐状圧電素子２０１（及び導電性繊維２１０）以外にこのように絶縁性繊維を配置することで、布帛状圧電素子２０７の操作性（例示：ウェアラブルセンサーとしての動き易さ）を向上させることが可能である。

[0272] このような絶縁性繊維としては、体積抵抗率が10^{6}Ω・ｃｍ以上であれば用いることができ、より好ましくは10^{8}Ω・ｃｍ以上、さらに好ましくは10^{10}Ω・ｃｍ以上がよい。

[0273] 絶縁性繊維として例えば、ポリエステル繊維、ナイロン繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維、ポリプロピレン繊維、塩化ビニル繊維、アラミド繊維、ポリスルホン繊維、ポリエーテル繊維、ポリウレタン繊維等の合成繊維

他、綿、麻、絹等の天然繊維、アセテート等の半合成繊維、レーヨン、キュプラ等の再生繊維を用いることができる。これらに限定されるものではなく、公知の絶縁性繊維を任意に用いることができる。さらに、これらの絶縁性繊維を組み合わせて用いてもよく、絶縁性を有しない繊維と組み合わせ、全体として絶縁性を有する繊維としてもよい。

[0274] また、公知のあらゆる断面形状の繊維も用いることができる。

[0275] （製造方法）

本発明に係る組紐状圧電素子２０１は少なくとも１本の導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆しているが、その製造方法としては例えば以下の方法が挙げられる。すなわち、導電性繊維Ｂと圧電性繊維Ａを別々の工程で作製し、導電性繊維Ｂに圧電性繊維Ａを組紐状に巻きつけて被覆する方法である。この場合には、できるだけ同心円状に近くなるように被覆することが好ましい。

[0276] この場合、圧電性繊維Ａを形成する圧電性高分子としてポリ乳酸を用いる場合の好ましい紡糸、延伸条件として、溶融紡糸温度は１５０℃～２５０℃が好ましく、延伸温度は４０℃～１５０℃が好ましく、延伸倍率は１．１倍から５．０倍が好ましく、結晶化温度は８０℃～１７０℃が好ましい。

[0277] 導電性繊維Ｂに巻きつける圧電性繊維Ａとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。また、圧電性繊維Ａを巻きつけられる導電性繊維Ｂとしては、複数のフィラメントを束ねたマルチフィラメントを用いてもよく、また、モノフィラメント（紡績糸を含む）を用いても良い。

[0278] 被覆の好ましい形態としては、導電性繊維Ｂを芯糸とし、その周囲に圧電性繊維Ａを組紐状に製紐して、丸打組物（Ｔｕｂｕｌａｒ　Ｂｒａｉｄ）を作製することで被覆することができる。より具体的には芯部２０３を有する８打組紐や１６打組紐が挙げられる。ただし、例えば、圧電性繊維Ａを編組チューブのような形態とし、導電性繊維Ｂを芯として当該編組チューブに挿入することで被覆してもよい。

[0279] 導電層２０４は、コーティングや繊維の巻き付けによって製造されるが、製造の容易さの観点より、繊維の巻き付けが好ましい。繊維の巻き付け方法としてはカバーリング、編物、組物が考えられ、何れの方法により製造してもよい。

[0280] 以上のような製造方法により、導電性繊維Ｂの表面を組紐状の圧電性繊維Ａで被覆し、さらにその周囲に導電層２０４を設けた組紐状圧電素子２０１を得ることができる。

[0281] 本発明の布帛状圧電素子２０７は、製織、製編により製造される。本発明の目的を達成する限り、他の繊維（組紐を含む）と組み合わせて、交織、交編、交組等を行ってもよい。もちろん、組紐状圧電素子２０１を、布帛を構成する繊維（例えば、経糸や緯糸）の一部として用いてもよいし、組紐状圧電素子２０１を布帛に刺繍してもよいし、接着してもよく、それらの方法を組み合わせてもよい。また、組紐状圧電素子２０１の近傍のみに布帛が存在するテープ形の布帛状圧電素子とすると、他の布帛に縫い付けや貼付けによって容易に設置することができるため好ましい。この時、テープの端と組紐状圧電素子との距離（テープの幅方向の距離）は、１ｍｍ以上１００ｍｍ以下が好ましく、３ｍｍ以上５０ｍｍ以下がより好ましく、５ｍｍ以上２０ｍｍ以下がさらに好ましい。テープ形の布帛状圧電素子とする場合は、広幅の布帛状圧電素子を組紐状圧電素子２０１と平行にカットして製造してもよいが、布テープの製織、製編時に交織、交編、交組等を行うことや、布テープに組紐状圧電素子２０１を刺繍、接着することが、製造工程の簡素化の観点から好ましい。

[0282] 織物の織組織としては、平織、綾織、朱子織等の三原組織、変化組織、たて二重織、よこ二重織等の片二重組織、たてビロードなどが例示される。編物の種類は、丸編物（緯編物）であってもよいし経編物であってもよい。丸編物（緯編物）の組織としては、平編、ゴム編、両面編、パール編、タック編、浮き編、片畔編、レース編、添え毛編等が好ましく例示される。経編組織としては、シングルデンビー編、シングルアトラス編、ダブルコード編、

ハーフトリコット編、裏毛編、ジャガード編等が例示される。層数も単層でもよいし、２層以上の多層でもよい。更には、カットパイルおよび／またはループパイルからなる立毛部と地組織部とで構成される立毛織物、立毛編み物であってもよい。

[0283] 製造工程の簡素化および引抜き強度、被覆率の向上の観点から、布帛に組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定されていることがより好ましく、多重織り布帛あるいは多重編み布帛の層間に組紐状圧電素子が挟み込まれていることがさらに好ましい。多重とは二重以上のものを指す。

[0284] （圧電素子の適用技術）

本発明の組紐状圧電素子２０１や布帛状圧電素子２０７のような圧電素子はいずれの様態であっても、表面への接触、圧力、形状変化を電気信号として出力することができるので、その圧電素子に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を検出するセンサー（デバイス）として利用することができる。また、この電気信号を他のデバイスを動かすための電力源あるいは蓄電するなど、発電素子として用いることもできる。具体的には、人、動物、ロボット、機械など自発的に動くものの可動部に用いることによる発電、靴底、敷物、外部から圧力を受ける構造物の表面での発電、流体中での形状変化による発電、などが挙げられる。また、流体中での形状変化により電気信号を発するために、流体中の帯電性物質を吸着させたり付着を抑制させたりすることも可能である。

[0285] 図６は、本発明の圧電素子１１２を備えるデバイス１１１を示すブロック図である。デバイス１１１は、圧電素子１１２（布帛状圧電素子２０７）と、任意選択で、印加された圧力に応じて圧電素子１１２の出力端子から出力される電気信号を増幅する増幅手段１１３、当該任意選択の増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力する出力手段１１４、および出力手段１１４から出力された電気信号を外部機器（図示せず）へ送信する送信手段１１５を有する電気回路とを備える。このデバイス１１１を用いれば、圧電素子１１

２の表面への接触、圧力、形状変化により出力された電気信号に基づき、外部機器（図示せず）における演算処理にて、圧電素子に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を検出することができる。

[0286] 任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５は、例えばソフトウェアプログラム形式で構築されてもよく、あるいは各種電子回路とソフトウェアプログラムとの組み合わせで構築されてもよい。例えば、演算処理装置（図示せず）に当該ソフトウェアプログラムがインストールされ、演算処理装置が当該ソフトウェアプログラムに従って動作することで、各部の機能を実現する。またあるいは、任意選択の増幅手段１１３、出力手段１１４、及び送信手段１１５を、これら各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。なお、送信手段１１５による送信方式を無線によるもの有線によるものにするかは、構成するセンサーに応じて適宜決定すればよい。あるいは、デバイス１１１内に、出力手段１１４から出力された電気信号に基づき圧電素子１１２に印加された応力の大きさおよび／又は印加された位置を演算する演算手段（図示せず）を設けてもよい。また、増幅手段だけではなく、ノイズを除去する手段や他の信号と組み合わせて処理する手段などの公知の信号処理手段を組み合わせて用いることができる。これらの手段の接続の順序は目的に応じて適宜変えることができる。もちろん、圧電素子１１２から出力される電気信号をそのまま外部機器へ送信した後で信号処理してもよい。

[0287] 図２０～２２は、実施の形態に係る組紐布帛状圧電素子を備えるデバイスの構成例を示す模式図である。図２０～２２の増幅手段１１３は、図６を参照して説明したものに相当するが、図６の出力手段１１４および送信手段１１５については図２０～２２では図示を省略している。布帛状圧電素子２０７を備えるデバイスを構成する場合、増幅手段１１３の入力端子に組紐状圧電素子２０１の芯部２０３（導電性繊維Ｂで形成される）の出力端子からの引出し線を接続し、接地（アース）端子には、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４または布帛状圧電素子２０７の導電性繊維２１０または増幅手段１

１３の入力端子に接続した組紐状圧電素子２０１とは別の組紐状圧電素子を接続する。例えば、図２０に示すように、布帛状圧電素子２０７において、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３の出力端子からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子２０１の導電層２０４を接地（アース）する。また例えば、図２１に示すように、布帛状圧電素子２０７において、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、組紐状圧電素子２０１に交差して接触した導電性繊維２１０を接地（アース）する。また例えば、図２２に示すように、布帛状圧電素子２０７において組紐状圧電素子２０１を複数並べている場合、１本の組紐状圧電素子２０１の芯部２０３の出力端子からの引出し線を増幅手段１１３の入力端子に接続し、当該組紐状圧電素子２０１に並んだ別の組紐状圧電素子２０１の芯部２０３からの引出し線を、接地（アース）する。

[0288] 組紐状圧電素子２０１に変形が生じると、圧電性繊維Ａは変形して分極が発生する。圧電性繊維Ａの分極により発生した正負各電荷の配列につられて、組紐状圧電素子２０１の芯部２０３を形成する導電性繊維Ｂの出力端子からの引出し線上において、電荷の移動が発生する。導電性繊維Ｂからの引出し線上における電荷の移動は微小な電気信号（すなわち電流または電位差）として現れる。つまり、組紐状圧電素子２０１に変形が与えられた時に発生する電荷に応じて、出力端子から電気信号が出力される増幅手段１１３はこの電気信号を増幅し、出力手段１１４は、増幅手段１１３で増幅された電気信号を出力する。組紐状圧電素子２０１の変形の種類によって出力手段１１４から出力される電気信号の極性、振幅、位相などが異なるので、出力手段１１４から出力される電気信号の極性、振幅、位相などを比較して得られる結果に基づき、ねじりなどの複雑な変形の態様を判別する。

[0289] 組紐状圧電素子と図２０～２２における増幅手段１１３などの電子回路とを接続するため、組紐状圧電素子と他の部材（コネクタや導線など）とを電気的に接続するには、組紐状圧電素子が布帛に被覆されたままでは接続するのが困難である。このため、組紐状圧電素子は布帛から部分的に露出してお

り、該露出部分において組紐状圧電素子の導電性繊維および／または導電層と他の部材とが電気的に接続されていることが好ましい。露出部分は接続作業の簡易さと性能とのバランスから、２ｍｍ以上１００ｍｍ以下が好ましく、５ｍｍ以上５０ｍｍ以下がより好ましく、１０ｍｍ以上３０ｍｍ以下がさらに好ましい。

[0290] 上記の露出部分を布帛状圧電素子に対して後から付与するのは、布帛の部分的な切除等の後加工が必要となり、布帛の物性を損なう恐れもあるため好ましくなく、布帛状圧電素子の製造時にあらかじめ他の部材との接続箇所で組紐状圧電素子を露出させるような組織として製織、製編することが好ましい。

[0291] 本発明のデバイス１１１は布帛状であり、柔軟性があるため、非常に広範な用途が考えられる。本発明のデバイス１１１の具体的な例としては、帽子や手袋、靴下などを含む着衣、サポーター、ハンカチ状などの形状をした、タッチパネル、人や動物の表面感圧センサー、例えば、手袋やバンド、サポーターなどの形状をした関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーが挙げられる。例えば人に用いる場合には、接触や動きを検出し、医療用途などの関節などの動きの情報収集、アミューズメント用途、失われた組織やロボットを動かすためのインターフェースとして用いることができる。他には、動物や人型を模したぬいぐるみやロボットの表面感圧センサー、関節部の曲げ、捩じり、伸縮を感知するセンサーとして用いることができる。他には、シーツや枕などの寝具、靴底、手袋、椅子、敷物、袋、旗などの表面感圧センサーや形状変化センサーとして用いることができる。

[0292] さらに、本発明のデバイス１１１は組紐状あるいは布帛状であり、柔軟性があるので、あらゆる構造物の全体あるいは一部の表面に貼付あるいは被覆することにより表面感圧センサー、形状変化センサーとして用いることができる。

[0293] さらに、本発明のデバイス１１１は、組紐状圧電素子２０１の表面を擦るだけで十分な電気信号を発生することができるので、タッチセンサーのよう

なタッチ式入力装置やポインティングデバイスなどに用いることができる。また、組紐状圧電素子２０１で被計測物の表面を擦ることによって被計測物の高さ方向の位置情報や形状情報を得ることができるので、表面形状計測などに用いることができる。

実施例

[0294] 以下、本発明を実施例によりさらに具体的に記載するが本発明はこれによって何らの限定を受けるものではない。

[0295] 本実施例で示される圧電性繊維（圧電性構造体）、組紐状圧電素子および布帛状圧電素子の各特性は、以下の方法によって決定した。

[0296] ［圧電性繊維］

（１）ポリ－Ｌ－乳酸結晶化度X_{homo}：

ポリ－Ｌ－乳酸結晶化度X_{homo}については、広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）による結晶構造解析から求めた。広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）では、リガク製ｕｌｔｒａｘ１８型Ｘ線回折装置を用いて透過法により、以下条件でサンプルのＸ線回折図形をイメージングプレートに記録した。

Ｘ線源： Ｃｕ－Ｋα線（コンフォーカル ミラー）

出力： ４５ｋＶ×６０ｍＡ

スリット： １ｓｔ：１ｍｍΦ，２ｎｄ：０．８ｍｍΦ

カメラ長： １２０ｍｍ

積算時間： １０分

サンプル： ３５ｍｇのポリ乳酸繊維を引き揃え３ｃｍの繊維束とする

得られたＸ線回折図形において方位角にわたって全散乱強度I_{total}を求め、ここで2θ＝１６．５°，１８．５°，２４．３°付近に現れるポリ－Ｌ－乳酸結晶に由来する各回折ピークの積分強度の総和ΣI_{HMi}を求めた。これらの値から下式（３）に従い、ポリ－Ｌ－乳酸結晶化度X_{homo}を求めた。

［数３］

$$X_{homo}(\%) = \Sigma I_{HMi} / I_{total} \times 100 \quad (3)$$

なお、ΣI_{HMi}は、全散乱強度においてバックグランドや非晶による散漫散乱を差し引くことによって算出した。

[0297] （２）ポリ－Ｌ－乳酸結晶配向度Ａ：

ポリ－Ｌ－乳酸結晶配向度Ａについては、上記の広角Ｘ線回折分析（ＷＡＸＤ）により得られたＸ線回折図形において、動径方向の２θ＝１６．５°付近に現れるポリ－Ｌ－乳酸結晶に由来する回折ピークについて、方位角（°）に対する強度分布をとり、得られた分布プロファイルの半値幅の総計ΣW_i（°）から次式（４）より算出した。

［数４］

ポリ－Ｌ－乳酸結晶配向度Ａ（％）＝（３６０－ΣW_i）÷３６０×１００ （４）

[0298] （３）ポリ乳酸の光学純度：

布帛を構成する１本（マルチフィラメントの場合は１束）のポリ乳酸繊維０．１ｇを採取し、５モル／リットル濃度の水酸化ナトリウム水溶液１．０ｍＬとメタノール１．０ｍＬを加え、６５℃に設定した水浴振とう器にセットして、ポリ乳酸が均一溶液になるまで３０分程度加水分解を行い、さらに加水分解が完了した溶液に０．２５モル／リットルの硫酸を加えｐＨ７まで中和し、その分解溶液を０．１ｍＬ採取して高速液体クロマトグラフィー（ＨＰＬＣ）移動相溶液３ｍＬにより希釈し、メンブレンフィルター（０．４５μｍ）によりろ過した。この調整溶液のＨＰＬＣ測定を行い、Ｌ－乳酸モノマーとＤ－乳酸モノマーの比率を定量した。１本のポリ乳酸繊維が０．１ｇに満たない場合は、採取可能な量に合わせ他の溶液の使用量を調整し、ＨＰＬＣ測定に供するサンプル溶液のポリ乳酸濃度が上記と同等から１００分の１の範囲になるようにした。

＜ＨＰＬＣ測定条件＞

カラム：住化分析センター社製「スミキラル（登録商標）」ＯＡ－５０００（４．６ｍｍφ×１５０ｍｍ）、

移動相：１．０ミリモル／リットルの硫酸銅水溶液

移動相流量：１．０ミリリットル／分

検出器：ＵＶ検出器（波長２５４ｎｍ）

注入量：１００マイクロリットル

Ｌ乳酸モノマーに由来するピーク面積をS_{LLA}とし、Ｄ－乳酸モノマーに由来するピーク面積をS_{DLA}とすると、S_{LLA}およびS_{DLA}はＬ－乳酸モノマーのモル濃度M_{LLA}およびＤ－乳酸モノマーのモル濃度M_{DLA}にそれぞれ比例するため、S_{LLA}とS_{DLA}のうち大きい方の値をS_{MLA}とし、光学純度は下記式（５）で計算した。

［数５］

$$光学純度（\%）＝S_{MLA}÷（S_{LLA}＋S_{DLA}）×１００ \quad （５）$$

[0299] ［布帛状圧電素子］

（４）引抜き強度

組紐状圧電素子が布帛状圧電素子から露出している場所がある場合は、露出している組紐状圧電素子を引張試験機（株式会社オリエンテック製万能試験機「テンシロンＲＴＣ－１２２５Ａ」）の把持治具の一方で把持し、把持した側の組紐状圧電素子が固定された端から５ｃｍの部分で組紐状圧電素子および布帛状圧電素子を切断した。組紐状圧電素子が布帛に固定された５ｃｍの部分の両脇の、組紐状圧電素子から１ｍｍ以内の領域を除いた部分を、組紐状圧電素子の長さ方向に５ｃｍにわたってＵ字型の把持治具で把持し、引張試験機の把持治具のもう一方に接続した。この状態で１０ｍｍ／ｍｉｎの速度で引張試験を行い、最大強度を測定し、引抜き強度とした。なお、組紐状圧電素子が布帛状圧電素子から露出している場所が十分にない場合は、布帛の一部（組紐状圧電素子以外の部分）を切断して組紐組紐状圧電素子を露出させ、上記の測定を行った。なお、組紐状圧電素子が布帛に固定された部分の長さを５ｃｍ確保することが困難な場合は、任意の長さの固定部分で引抜き強度を測定して、５ｃｍあたりの強度に換算した。

[0300] （５）被覆率

布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子の任意の３点で、顕微鏡により表裏両

面から撮影した６枚の写真のそれぞれについて、組紐状圧電素子の幅に対して１０倍以上の長さにわたる部分において、組紐の幅と観察部分の長さとの積から計算される面積に対し、組紐表面が露出して見える部分の面積の割合を算出し、その割合を１００％から減じた値を被覆率とし、表面３枚の写真の平均値を被覆率（表）、裏面３枚の写真の平均値を被覆率（裏）とした。

[0301] （６）電気信号測定

エレクトロメータ（Ｋｅｙｓｉｇｈｔ社　Ｂ２９８７Ａ）を、同軸ケーブル（芯：Ｈｉ極、シールド：Ｌｏ極）を介して圧電素子の導電体に接続した状態で、圧電素子に対し以下の曲げ動作をしながら５０ｍ秒の間隔で電流値を計測した。

[0302] （６－１）曲げ試験

上部と下部との２つのチャックを備え、下部のチャックは鉛直方向にのみ動くようなレール上に固定されて常に下方向へ０．５Ｎの荷重がかかる状態とし、上部のチャックは下部のチャックの７２ｍｍ上方に位置し、２つのチャックを結ぶ線分を直径とする仮想の円周上を上部のチャックが移動し、該仮想の円の中心から左右にそれぞれ１６ｍｍの位置を中心とした直径１５ｍｍの円を断面とする２本の円柱（側面には５０番手の綿糸からなる平織布が貼付けられている）が固定され、その２本の円柱の間を通って布帛状圧電素子が固定され、その２本の円柱を支点として曲げ変形が与えられる試験装置を用い、組紐状圧電素子が上下のチャックにて把持されるよう布帛状圧電素子を上下のチャックに把持して固定し、該仮想の円周上にて上部のチャックを１２時の位置、下部のチャックを６時の位置としたとき、上部のチャックを１２時の位置から該仮想の円周上の１時、２時の位置を経由して３時の位置に一定速度で０．９秒かけて移動させた後、１２時の位置を経由して９時の位置まで１．８秒かけて移動させ、再び０．９秒かけて１２時の位置に戻る往復曲げ動作を１０回繰り返し、その間の電流値を計測し、１２時の位置から３時の位置まで移動する間の電流値のピーク値を往復運動１０回の平均値を取り、信号の値とした。

[0303] （７）組紐状圧電素子の外観

（６－１）の曲げ試験を往復１０００回行った後、布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子を引抜き、外側の導電層表面の銀メッキの剥がれを顕微鏡で観察した。全く剥がれが見られないものを優秀合格、僅かに剥がれが見られるものを合格、頻繁に剥がれが見られるものを不合格とした。

[0304] ［組紐状圧電素子］

（８）中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θ

中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θは、下記式から計算した。

$$\theta = \arctan(2\pi Rm / HP) \quad (0° \leqq \theta \leqq 90°)$$

ただし$Rm = 2(Ro^3 - Ri^3) / 3(Ro^2 - Ri^2)$、即ち断面積で加重平均した組紐状圧電素子（または他の構造体）の半径である。らせんピッチＨＰ、組紐状圧電素子（または他の構造体）が占める部分の外側半径Ｒｏおよび内側半径Ｒｉは以下の通り測定した。

（８－１）組紐状圧電素子の場合は、（組紐状圧電素子の圧電性高分子以外による被覆がなされている場合は必要に応じて被覆を除去して側面から圧電性高分子が観察できる状態としてから）側面写真を撮影し、任意の５カ所で図３のように圧電性高分子のらせんピッチＨＰ（μｍ）を測定し、平均値を取った。また、組紐状圧電素子に低粘性の瞬間接着剤「アロンアルファＥＸＴＲＡ２０００」（東亞合成）を染み込ませて固化させた後、組紐の長軸に垂直な断面を切り出して断面写真を撮影し、１枚の断面写真について後述の通り組紐状圧電素子が占める部分の外側半径Ｒｏ（μｍ）および内側半径Ｒｉ（μｍ）を測定し、同様の測定を別の任意の断面５カ所について測定し、平均値を取った。圧電性高分子と絶縁性高分子とが同時に組まれている場合、例えば圧電性繊維と絶縁性繊維を合糸したものを用いている場合や、８打ち組紐の４本の繊維が圧電性高分子であり、残る４本の繊維が絶縁性高分子である場合は、様々な場所で断面を取った時、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とが互いに入れ替わるため、圧電性高分子が

存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とを合せて組紐状圧電素子が占める部分とみなす。ただし、絶縁性高分子が圧電性高分子と同時に組まれていない部分については、組紐状圧電素子の一部とはみなさない。

外側半径Ｒｏと内側半径Ｒｉについては、以下の通り測定した。図９Ａの断面写真の通り、圧電性構造体（圧電性繊維Ａで形成された鞘部２）が占める領域（以後ＰＳＡと記載する）と、ＰＳＡの中央部にありＰＳＡではない領域（以後ＣＡと記載する）を定義する。ＰＳＡの外側にあり、ＰＳＡに重ならない最小の真円の直径と、ＰＳＡの外側を通らない（ＣＡは通ってもよい）最大の真円の直径との平均値をＲｏとする（図９Ｂ）。また、ＣＡの外側にあり、ＣＡに重ならない最小の真円の直径と、ＣＡの外側を通らない最大の真円の直径との平均値をＲｉとする（図９Ｃ）。

（８－２）カバリング糸状圧電素子の場合は、圧電性高分子をカバリングする時の巻き速度がＴ回／ｍ（カバリング糸の長さあたりの圧電性高分子の回転数）のとき、らせんピッチＨＰ（μｍ）＝１０００００／Ｔとした。また、カバリング糸状圧電素子に低粘性の瞬間接着剤「アロンアルファＥＸＴＲＡ２０００」（東亞合成）を染み込ませて固化させた後、組紐の長軸に垂直な断面を切り出して断面写真を撮影し、１枚の断面写真について組紐状圧電素子の場合と同様にカバリング糸状圧電素子が占める部分の外側半径Ｒｏ（μｍ）および内側半径Ｒｉ（μｍ）を測定し、同様の測定を別の任意の断面５カ所について測定し、平均値を取った。圧電性高分子と絶縁性高分子とが同時にカバリングされている場合、例えば圧電性繊維と絶縁性繊維を合糸したものをカバリングしてある場合や、圧電性繊維と絶縁性繊維とが重ならないように同時にカバリングしてある場合は、様々な場所で断面を取った時、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とが互いに入れ替わるため、圧電性高分子が存在する領域と絶縁性高分子が存在する領域とを合せてカバリング糸状圧電素子が占める部分とみなす。ただし、絶縁性高分子が圧電性高分子と同時にカバリングされてない、即ちどの断面を取っても絶縁性高分子が常に圧電性高分子の内側または外側にある部分について

は、カバリング糸状圧電素子の一部とはみなさない。

[0305] （９）電気信号測定

エレクトロメータ（Ｋｅｙｓｉｇｈｔ社　Ｂ２９８７Ａ）を、同軸ケーブル（芯：Ｈｉ極、シールド：Ｌｏ極）を介して圧電素子の導電体に接続した状態で、圧電素子に対し下記９－１～５のいずれかの動作試験をしながら５０ｍ秒の間隔で電流値を計測した。

（９－１）引張試験

株式会社オリエンテック製万能試験機「テンシロンＲＴＣ－１２２５Ａ」を用い、圧電素子の長尺方向に１２ｃｍの間隔を空けて圧電素子をチャックで掴み、素子が弛んだ状態を０．０Ｎとし、０．５Ｎの張力まで引っ張った状態で変位を０ｍｍとし、１００ｍｍ／ｍｉｎの動作速度で１．２ｍｍまで引っ張った後、０ｍｍまで－１００ｍｍ／ｍｉｎの動作速度で戻す動作を１０回繰り返した。

（９－２）ねじり試験

圧電素子を掴む２か所のチャックのうち、片方のチャックはねじり動作を行わず圧電素子の長軸方向に自由に動くようなレール上に設置されて圧電素子に０．５Ｎの張力が常にかかる状態とし、他方のチャックは圧電素子の長軸方向には動かずねじり動作を行うよう設計されたねじり試験装置を用い、圧電素子の長尺方向に７２ｍｍの間隔を空けて圧電素子をこれらのチャックで掴み、素子の中央からチャックを見て時計回りにねじるように１００°／ｓの速度で０°から４５°まで回転した後、－１００／ｓの速度で４５°から０°まで回転する往復ねじり動作を１０回繰り返した。

（９－３）曲げ試験

上部と下部との２つのチャックを備え、下部のチャックは固定され、上部のチャックは下部のチャックの７２ｍｍ上方に位置し、２つのチャックを結ぶ線分を直径とする仮想の円周上を上部のチャックが移動する試験装置を用い、圧電素子をチャックに把持して固定し、該円周上にて上部のチャックを１２時の位置、下部のチャックを６時の位置としたとき、圧電素子を９時方

向に凸に僅かに撓ませた状態とした後、上部のチャックを１２時の位置から該円周上の１時、２時の位置を経由して３時の位置に一定速度で０．９秒かけて移動させた後、１２時の位置まで０．９秒かけて移動させる往復曲げ動作を１０回繰り返した。

（９－４）せん断試験

５０番手の綿糸で織られた平織布を表面に貼り付けた２枚の剛直な金属板によって、圧電素子の中央部６４ｍｍの長さの部分を上下から水平に挟み（下部の金属板は台に固定されている）、上から３．２Ｎの垂直荷重をかけ、金属板表面の綿布と圧電素子との間が滑らないようにした状態のまま、上の金属板を０Ｎから１Ｎの荷重まで１秒かけて圧電素子の長尺方向に引っ張った後、引張荷重を０Ｎまで１秒かけて戻すせん断動作を１０回繰り返した。

（９－５）押圧試験

株式会社オリエンテック製万能試験機「テンシロンＲＴＣ－１２２５Ａ」を用い、水平で剛直な金属台上に静置した圧電素子の中央部６４ｍｍの長さの部分を、上部のクロスヘッドに設置された剛直な金属板により水平に圧電素子を挟み、圧電素子から上部の金属板への反力が０．０１Ｎから２０Ｎとなるまで０．６秒かけて上部のクロスヘッドを下げて押圧し、反力が０．０１Ｎとなるまで０．６秒かけて除圧する動作を１０回繰り返した。

[0306] 圧電素子用の布帛は以下の方法で製造した。

[0307] （ポリ乳酸の製造）

実施例において用いたポリ乳酸は以下の方法で製造した。

Ｌ－ラクチド（（株）武蔵野化学研究所製、光学純度１００％）１００質量部に対し、オクチル酸スズを０．００５質量部加え、窒素雰囲気下、撹拌翼のついた反応機にて１８０℃で２時間反応させ、オクチル酸スズに対し１．２倍当量のリン酸を添加しその後、１３．３Ｐａで残存するラクチドを減圧除去し、チップ化し、ポリ－Ｌ－乳酸（ＰＬＬＡ１）を得た。得られたＰＬＬＡ１の質量平均分子量は１５．２万、ガラス転移点（Ｔｇ）は５５℃、融点は１７５℃であった。

[0308] （圧電性繊維）

２４０℃にて溶融させたＰＬＬＡ１を２４ホールのキャップから２０ｇ／ｍｉｎで吐出し、８８７ｍ／ｍｉｎにて引き取った。この未延伸マルチフィラメント糸を８０℃、２．３倍に延伸し、１００℃で熱固定処理することにより８４ｄＴｅｘ／２４フィラメントのマルチフィラメント一軸延伸糸ＰＦ１を得た。また、２４０℃にて溶融させたＰＬＬＡ１を１２ホールのキャップから８ｇ／ｍｉｎで吐出し、１０５０ｍ／ｍｉｎにて引き取った。この未延伸マルチフィラメント糸を８０℃、２．３倍に延伸し、１５０℃で熱固定処理することにより３３ｄｔｅｘ／１２フィラメントのマルチフィラメント一軸延伸糸ＰＦ２を得た。これらの圧電性繊維ＰＦ１およびＰＦ２を圧電性高分子として用いた。ＰＦ１およびＰＦ２のポリ－Ｌ－乳酸結晶化度、ポリ－Ｌ－乳酸結晶配向度および光学純度は上記の方法で測定し、表１の通りであった。

[0309] [表1]

表１

圧電性繊維	ポリ-L-乳酸結晶化度 X_{homo} [%]	ポリ-L-乳酸結晶配向度 A [%]	ポリ乳酸の光学純度 [%]
PF1	35.9	95.6	99.7
PF2	36.8	94.8	99.9

[0310] （導電性繊維）

ミツフジ（株）製の銀メッキナイロン、品名『ＡＧｐｏｓｓ』１００ｄ３４ｆ（ＣＦ１）を導電性繊維Ｂとして使用した。ＣＦ１の抵抗率は２５０Ω／ｍであった。

また、ミツフジ（株）製の銀メッキナイロン、品名『ＡＧｐｏｓｓ』３０ｄ１０ｆ（ＣＦ２）を導電性繊維Ｂおよび導電性繊維２０６として使用した。ＣＦ２の導電性は９５０Ω／ｍであった。

[0311] （絶縁性繊維）

ポリエチレンテレフタレートを溶融紡糸後に延伸することで製造した８４

ｄＴｅｘ／２４フィラメントの延伸糸ＩＦ１、および３３ｄＴｅｘ／１２フィラメントの延伸糸ＩＦ２をそれぞれ絶縁性繊維とした。

[0312] （実施例１）

本実施例では、第１発明～第３発明において用いられる圧電素子に関し、特に圧電性高分子の配向角度θおよびＴ１／Ｔ２の値がねじり変形に対する電気信号に及ぼす影響について調べた。

[0313] （例ＡＡ）

実施例１の試料として、図１０に示すように、導電性繊維ＣＦ１を芯糸とし、８打ち丸組紐製紐機の８本のキャリアのうち、Ｚ撚り方向に組まれる４本のキャリアおよびＳ撚り方向に組まれる４本のキャリア全てに上記の圧電性繊維ＰＦ１をセットして組むことで、芯糸の周りにＺ撚り方向およびＳ撚り方向ともに圧電性繊維ＰＦ１がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子１－ＡＡを作成した。

[0314] （例ＡＢ）

組紐状圧電素子１－ＡＡを芯糸とし、製紐機の８本のキャリアのうち、Ｚ撚り方向に組まれる４本のキャリアおよびＳ撚り方向に組まれる４本のキャリア全てに上記の導電性繊維ＣＦ２をセットして組むことで、組紐状圧電素子１－ＡＡの周りを導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子１－ＡＢとした。

[0315] （例ＡＣ）

ＰＦ１の代わりにＰＦ２を使用し、巻付け速度を調整した以外は組紐状圧電素子１－ＡＡと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子１－ＡＡを芯糸とし、組紐状圧電素子１－ＡＢと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子１－ＡＣとした。

[0316] （例ＡＤ）

ＣＦ１の代わりにＣＦ２を使用し、巻付け速度を調整した以外は組紐状圧電素子１－ＡＡと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子１－ＡＡを芯糸とし、組紐状圧電素子１－ＡＢと同様に導電性繊維で覆った

ものを作製し、組紐状圧電素子１－ＡＤとした。

[0317] （例ＡＥ）

導電性繊維ＣＦ１を芯糸とし、１６打ち丸組紐製紐機の１６本のキャリアのうち、Ｚ撚り方向に組まれる８本のキャリアおよびＳ撚り方向に組まれる８本のキャリア全てに上記の圧電性繊維ＰＦ１をセットして組むことで、芯糸の周りにＺ撚り方向およびＳ撚り方向ともに圧電性繊維ＰＦ１がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成し、この組紐状圧電素子を芯糸とし、組紐状圧電素子１－ＡＢと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子１－ＡＥとした。

[0318] （例ＡＦ）

ＣＦ１を芯糸とし、ＰＦ１を芯糸の周りにＳ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＰＦ１をＺ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＣＦ２をＳ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＣＦ２をＺ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、芯糸の周りにＺ撚り方向およびＳ撚り方向に圧電性繊維ＰＦ１がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング糸状圧電素子１－ＡＦを作成した。

[0319] （例ＡＧ）

ＣＦ１を芯糸とし、ＰＦ１を芯糸の周りにＳ撚り方向に６０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＰＦ１をＺ撚り方向に６０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＣＦ２をＳ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、その外側にさらにＣＦ２をＺ撚り方向に３０００回／ｍのカバリング回数で巻きつけ、芯糸の周りにＺ撚り方向およびＳ撚り方向に圧電性繊維ＰＦ１がらせん状に巻かれ、さらに外側を導電性繊維で覆ったカバリング糸状圧電素子１－ＡＧを作成した。

[0320] （例ＡＨ）

ＰＦ１の代わりにＩＦ１を使用した以外は組紐状圧電素子１－ＡＡと同様にして組紐状圧電素子を作成し、この組紐状素子を芯糸とし、組紐状圧電素

子１－ＡＢと同様に導電性繊維で覆ったものを作製し、組紐状素子１－ＡＨとした。

[0321]（例ＡＩ）

ＰＦ１の代わりにＩＦ１を使用した以外はカバリング糸状圧電素子１－ＡＦと同様にしてカバリング糸状素子を作成し、カバリング糸状素子１－ＡＩとした。

[0322]（例ＡＪ、ＡＫ）

ＰＦ１またはＰＦ２の巻付け速度を変更した以外は組紐状圧電素子１－ＡＢおよび１－ＡＣと同様にして、２本の組紐状圧電素子を作成し、組紐状圧電素子１－ＡＪおよび１－ＡＫとした。

[0323]（例ＡＬ）

Ｓ撚り方向に巻いたＰＦ１の代わりにＩＦ１を使用した以外は組紐状圧電素子１－ＡＢと同様にして組紐状圧電素子１－ＡＬを作成した。

[0324]（例ＡＭ）

Ｚ撚り方向に巻いたＰＦ２の代わりにＩＦ２を使用した以外は組紐状圧電素子１－ＡＣと同様にして組紐状圧電素子１－ＡＭを作成した。

[0325]（例ＡＮ）

Ｚ撚り方向に巻いたＰＦ１の代わりにＩＦ１を使用した以外はカバリング糸状圧電素子１－ＡＦと同様にしてカバリング糸状圧電素子１－ＡＮを作成した。

[0326] 各圧電素子のＲｉ、Ｒｏ、ＨＰを測定し、計算された中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θの値、およびＴ１／Ｔ２の値を表２に示す。組紐状圧電素子については、ＲｉおよびＲｏは、断面において圧電性繊維と絶縁性繊維が存在する領域を合わせて圧電素子の占める領域として測定した。カバリング糸状圧電素子については、ＲｉおよびＲｏは、断面において圧電性繊維が存在する領域を圧電素子の占める領域として測定した。また、各圧電素子を１５ｃｍの長さに切断し、芯の導電性繊維をＨｉ極とし、周辺をシールドする金網または鞘の導電性繊維をＬｏ極としてエレクトロメータ（Ｋ

ｅｙｓｉｇｈｔ社　Ｂ２９８７Ａ）に接続し、電流値をモニタした。引張試験、ねじり試験、曲げ試験、せん断試験および押圧試験時の電流値を表２に示す。なお、例ＡＨ、ＡＩは圧電性高分子を含まないため、θおよびＴ１／Ｔ２の値は測定できない。

[0327]

[表2]

表２

例	素子	芯の導電性繊維	圧電性繊維				鞘の導電性繊維		電流信号[pA]				
			Z撚り方向	S撚り方向	θ[°]	T1/T2	Z撚り方向	S撚り方向	引張試験	ねじり試験	曲げ試験	せん断試験	押圧試験
AA	組紐状圧電素子1-AA	CF1	PF1 4本	PF1 4本	35	1	なし	なし	20	80	6	-1	-14
AB	組紐状圧電素子1-AB	CF1	PF1 4本	PF1 4本	35	1	CF2 4本	CF2 4本	-9	80	3	-5	5
AC	組紐状圧電素子1-AC	CF1	PF2 4本	PF2 4本	31	1	CF2 4本	CF2 4本	21	89	-1	0	3
AD	組紐状圧電素子1-AD	CF2	PF1 4本	PF1 4本	33	1	CF2 4本	CF2 4本	9	106	-7	1	-2
AE	組紐状圧電素子1-AE	CF1	PF1 8本	PF1 8本	3.5	1	CF2 4本	CF2 4本	-14	235	5	8	-4
AF	カバリング糸状圧電素子1-AF	CF1	PF1 1本	PF1 1本	63	1	CF2 4本	CF2 4本	52	-123	-10	5	9
AG	カバリング糸状圧電素子1-AG	CF1	PF1 1本	PF1 1本	80	1	CF2 4本	CF2 4本	-16	-306	-1	-9	-3
AH	組紐状素子1-AH	CF1	IF1 4本	IF1 4本	-	-	CF2 4本	CF2 4本	8	-1	2	2	0
AI	カバリング糸状素子1-AI	CF1	IF1 1本	IF1 1本	-	-	CF2 1本	CF2 1本	11	0.9	1	1	5
AJ	組紐状圧電素子1-AJ	CF1	PF1 4本	PF1 4本	43	1	CF2 4本	CF2 4本	-31	-15	0	-11	4
AK	組紐状圧電素子1-AK	CF1	PF2 4本	PF2 4本	43	1	CF2 4本	CF2 4本	-33	-10	5	10	50
AL	組紐状圧電素子1-AL	CF1	PF1 4本	IF1 4本	38	0	CF2 4本	CF2 4本	-1262	58	-1	13	-18
AM	組紐状圧電素子1-AM	CF1	IF2 4本	PF2 4本	30	0	CF2 4本	CF2 4本	1007	95	8	2	15
AN	カバリング糸状圧電素子1-AN	CF1	IF1 1本	PF1 1本	60	0	CF2 1本	CF2 1本	650	-41	19	4	25

[0328] 表２の結果から、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度θが４０°超５０°未満である場合は、ねじり動作（ねじり変形）に対し大きな信号を発生していないのに対し、中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度

θが０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下である場合は、ねじり動作（ねじり変形）に対し大きな信号を発生していることがわかる。さらに、例ＡＡ～ＡＧのようにＴ１／Ｔ２の値が０．８を超えて１．０以下であるとき、ねじり動作（ねじり変形）に対し大きな信号を発生し、ねじり以外の動作には大きな信号を発生せず、ねじり動作に選択的に応答する素子であることが分かる。また、例ＡＡ～ＡＥ、ＡＬおよびＡＭと例ＡＦ、ＡＧおよびＡＮとを比べると、θが０°以上４０°以下の場合と、θが５０°以上９０°以下の場合とで、ねじり試験時の信号の極性が逆となっており、θがねじり試験時の信号の極性に対応していることが分かる。

[0329] さらに、表には示していないが、例ＡＡ～ＡＧおよびＡＬ～ＡＮの素子はＳ撚り方向にねじりを与えた時の信号と、Ｚ撚り方向にねじりを与えた時の信号とを比べると、極性が互いに逆で絶対値が概ね同じ信号を発生したため、これらの素子はねじり荷重や変位の定量に適していることが分かる。一方、例ＡＪおよび例ＡＫの素子はＳ撚り方向にねじりを与えた時の信号と、Ｚ撚り方向にねじりを与えた時の信号とを比べると、極性が互いに逆である場合も同じである場合もあったため、これらの素子はねじり荷重や変位の定量に適していないことが分かる。また、表には示していないが、例ＡＢのねじり試験時のノイズレベルは、例ＡＡのねじり試験時のノイズレベルより低く、組紐状圧電素子（圧電性構造体）の外側に導電性繊維からなる導電層を配置してシールドとした素子ではノイズを低減できることが分かる。

[0330] （実施例２）

第２発明に係る圧電素子用の布帛は以下の方法で製造した。

（ポリ乳酸の製造）

実施例において用いたポリ乳酸は以下の方法で製造した。

Ｌ－ラクチド（（株）武蔵野化学研究所製、光学純度１００％）１００質量部に対し、オクチル酸スズを０．００５質量部加え、窒素雰囲気下、撹拌翼のついた反応機にて１８０℃で２時間反応させ、オクチル酸スズに対し１．２倍当量のリン酸を添加しその後、１３．３Ｐａで残存するラクチドを減

圧除去し、チップ化し、ポリ－Ｌ－乳酸（ＰＬＬＡ１）を得た。得られたＰＬＬＡ１の質量平均分子量は１５．２万、ガラス転移点（Ｔｇ）は５５℃、融点は１７５℃であった。

[0331] （圧電性繊維）

２４０℃にて溶融させたＰＬＬＡ１を２４ホールのキャップから２２ｇ／ｍｉｎで吐出し、１３００ｍ／ｍｉｎにて引き取った。この未延伸マルチフィラメント糸を８０℃、２．０倍に延伸し、１５０℃で熱固定処理することにより８４ｄＴｅｘ／２４フィラメントの圧電性繊維Ａ１を得た。

また、２４０℃にて溶融させたＰＬＬＡ１を１２ホールのキャップから８ｇ／ｍｉｎで吐出し、１３００ｍ／ｍｉｎにて引き取った。この未延伸マルチフィラメント糸を８０℃、２．０倍に延伸し、１５０℃で熱固定処理することにより３３ｄＴｅｘ／１２フィラメントの圧電性繊維Ａ２を得た。

[0332] （導電性繊維）

ミツフジ（株）製の銀メッキナイロン、品名『ＡＧｐｏｓｓ』１００ｄ３４ｆおよび３０ｄ１０ｆを導電性繊維Ｂ、導電性繊維６および導電性繊維１０として使用した。この繊維の体積抵抗率は１．１×10^{-3}Ω・ｃｍであった。

[0333] （組紐状圧電素子）

実施例２－１の試料として、上記の導電性繊維『ＡＧｐｏｓｓ』１００ｄ３４ｆを芯糸とし、上記の圧電性繊維Ａ１を８本芯糸の周りに組紐状に巻きつけて、八打組紐とし、更に導電性繊維『ＡＧｐｏｓｓ』３０ｄ１０ｆを鞘部の圧電性繊維Ａ１の周りに組紐状に巻き付けてシールド層とし、組紐状圧電素子１Ａを形成した。ここで、導電性繊維Ｂの繊維軸ＣＬに対する圧電性繊維Ａ１の巻きつけ角度αは３０°とした。なお、組紐状圧電素子１Ａのｄ／Ｒｃは、１．７６であった。

[0334] 実施例２－２の試料として、上記の導電性繊維『ＡＧｐｏｓｓ』１００ｄ３４ｆを芯糸とし、上記の圧電性繊維Ａ２を８本芯糸の周りに組紐状に巻きつけて、八打組紐とし、その組紐の上に更にもう一層、圧電性繊維２を８本

組紐状に巻きつけた。さらに、導電性繊維『ＡＧｐｏｓｓ』３０ｄ１０ｆを圧電性繊維Ａ２の周りに組紐状に巻き付けてシールド層とし、組紐状圧電素子１Ｂを形成した。ここで、導電性繊維Ｂの繊維軸ＣＬに対する圧電性繊維Ａの巻きつけ角度αは３０°とした。なお、組紐状圧電素子１Ｂのｄ／Ｒｃは、１．５２であった。

[0335] 比較例２－１の試料として、実施例２－１の圧電性繊維Ａ１のかわりに圧電性繊維Ａ２を用いた以外は実施例１と同様にして組紐状圧電素子１Ｃを形成した。なお、組紐状圧電素子１Ｃのｄ／Ｒｃは、０．８４であった。

[0336] （製編）

上記組紐状圧電素子１Ａ～１Ｃをそれぞれ用いて、丸編みニット１～３を作製した。

[0337] （性能評価及び評価結果）

組紐状圧電素子１Ａ～１Ｃおよび丸編みニット１～３の評価結果は以下のとおりである。

[0338] （実施例２－１）

組紐状圧電素子１Ａ中の導電性繊維Ｂを信号線としてオシロスコープ（横河電機（株）製デジタルオシロスコープＤＬ６０００シリーズ商品名『ＤＬ６０００』）に配線を介して１００倍増幅回路を経由して接続し、組紐状圧電素子１Ａの導電層２０４を接地（アース）した。組紐状圧電素子１Ａに捩じり変形を加えた。

その結果、組紐状圧電素子１Ａからの出力として、オシロスコープにより約１０ｍＶの電位差が検出され、組紐状圧電素子１Ａの変形により十分な大きさの電気信号を検出できることが確認された。

また、丸編みニット１についても、芯部とシールド線は短絡しておらず、変形に対応する信号が検出できた。

[0339] （実施例２－２）

組紐状圧電素子１Ｂ中の導電性繊維Ｂを信号線としてオシロスコープ（横河電機（株）製デジタルオシロスコープＤＬ６０００シリーズ商品名『ＤＬ

６０００』）に配線を介して１００倍増幅回路を経由して接続し、組紐状圧電素子１Ｂの導電層２０４を接地（アース）した。組紐状圧電素子１Ｂに捩じり変形を加えた。

その結果、組紐状圧電素子１Ｂからの出力として、オシロスコープにより約１０ｍＶの電位差が検出され、組紐状圧電素子１Ｂの変形により十分な大きさの電気信号を検出できることが確認された。

また、丸編みニット２についても、芯部とシールド線は短絡しておらず、変形に対応する信号が検出できた。

[0340] （比較例２－１）

組紐状圧電素子１Ｃ中の導電性繊維Ｂを信号線としてオシロスコープ（横河電機（株）製デジタルオシロスコープＤＬ６０００シリーズ商品名『ＤＬ６０００』）に配線を介して１００倍増幅回路を経由して接続し、組紐状圧電素子１Ｃの導電層２０４を接地（アース）した。組紐状圧電素子１Ｃに捩じり変形を加えた。

その結果、組紐状圧電素子１Ｃからの出力として、オシロスコープにより約１０ｍＶの電位差が検出され、組紐状圧電素子１Ｃの変形により十分な大きさの電気信号を検出できることが確認された。

しかし、丸編みニット３については、芯部とシールド線が短絡しており、変形に対応する信号は検出することができなかった。

[0341] （実施例３）

第３発明に係る布帛状圧電素子は以下の方法で製造した。

（組紐状圧電素子）

図１０に示すように、導電性繊維ＣＦ１を芯糸とし、８打ち丸組紐製紐機の８本のキャリアのうち、Ｚ撚り方向に組まれる４本のキャリアに上記の圧電性繊維ＰＦ１をセットし、Ｓ撚り方向に組まれる４本のキャリアに上記の絶縁性繊維ＩＦ１をセットして組むことで、芯糸の周りにＺ撚り方向に圧電性繊維ＰＦ１がらせん状に巻かれた組紐状圧電素子を作成した。次いで、この組紐状圧電素子を芯糸とし、製紐機の８本のキャリアのうち、Ｚ撚り方向

に組まれる４本のキャリアおよびＳ撚り方向に組まれる４本のキャリア全てに上記の導電性繊維ＣＦ２をセットして組むことで、組紐状圧電素子の周りを導電性繊維からなる導電層で覆ったものを作製し、組紐状圧電素子２０１とした。

[0342] （製織）

（実施例３－１）

ポリエステルのスパン糸による２重織りテープ（幅１６ｍｍ、厚み０．３ｍｍ）の層間に、経糸に平行に５カ所の筒状部分を形成し、それぞれの筒中に組紐状圧電素子２０１を入れて織った布帛状圧電素子を作成した。筒状部分は２層合わせて１６本の８４ｄＴｅｘの経糸で構成し、筒状部分以外の部分は１６７ｄＴｅｘの経糸で構成した。緯糸は８４ｄＴｅｘの糸を用いた。５本の組紐状圧電素子同士の間には１６７ｄＴｅｘの経糸を２本（各層１本）入れた。布帛状圧電素子の中央の組紐状圧電素子２０１について、引抜き強度、被覆率の測定を行い、曲げ試験の信号強度と、曲げ試験後の組紐状圧電素子の外側導電層外観を確認した。結果を表３に示す。

[0343] （実施例３－２）

ポリエステル糸（３３０ｄＴｅｘ／７２フィラメント）を経糸および緯糸に用いた平織布の経糸の一部に、組紐状圧電素子２０１を用いて織った布帛状圧電素子を作成した。この平織布は緯糸密度より経糸密度が高く、経糸間の隙間がほぼなかった。布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子２０１について、引抜き強度、被覆率の測定を行い、曲げ試験の信号強度と、曲げ試験後の組紐状圧電素子の外側導電層外観を確認した。結果を表３に示す。

[0344] （実施例３－３）

実施例３－２と同様にポリエステルのスパン糸を経糸および緯糸に用いて織った平織布の緯糸の一部に、組紐状圧電素子２０１を用いて織った布帛状圧電素子を作成した。布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子２０１について、引抜き強度、被覆率の測定を行い、曲げ試験の信号強度と、曲げ試験後の組紐状圧電素子の外側導電層外観を確認した。結果を表３に示す。

[0345] （実施例３－４）

実施例３－２で織った平織布に、組紐状圧電素子２０１を置き、組紐状圧電素子２０１をまたぐように６０番手のポリエステルスパンミシン糸によるジグザグ縫い（幅２ｍｍ、ピッチ１ｍｍ）を行って組紐状圧電素子を平織布に固定して、布帛状圧電素子を作成した。布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子２０１について、引抜き強度、被覆率の測定を行い、曲げ試験の信号強度と、曲げ試験後の組紐状圧電素子の外側導電層外観を確認した。結果を表３に示す。

[0346] （比較例３－１）

ポリエステルスパンミシン糸によるジグザグ縫いの幅を４ｍｍ、ピッチを２ｍｍに変更した以外は実施例３－４と同様に、布帛状圧電素子を作成した。布帛状圧電素子中の組紐状圧電素子２０１について、引抜き強度、被覆率の測定を行い、曲げ試験の信号強度と、曲げ試験後の組紐状圧電素子の外側導電層外観を確認した。結果を表３に示す。

[0347]

[表3]

表３

	素子	固定方法	評価				
			引抜き強度［N］	被覆率（表）	被覆率（裏）	曲げ試験信号強度［pA］	組紐状圧電素子の外観
実施例3-1	組紐状圧電素子201	2重織布の層間に入れる	0.46	100%	100%	651	優秀合格
実施例3-2	組紐状圧電素子201	平織布の経糸として使う	1.27	54%	52%	523	合格
実施例3-3	組紐状圧電素子201	平織布の緯糸として使う	1.17	77%	73%	506	優秀合格
実施例3-4	組紐状圧電素子201	平織布にジグザグ縫いで縫い付け（幅2mm、ピッチ1mm）	0.74	52%	100%	394	合格
比較例3-1	組紐状圧電素子201	平織布にジグザグ縫いで縫い付け（幅4mm、ピッチ2mm）	0.05	25%	100%	40	不合格

[0348] 表３の結果から、５ｃｍあたりの引抜き強度が０．１Ｎ以上である実施例３－１～３－４では、曲げ試験において強い信号が観測されているのに対し

、０．１Ｎ未満である比較例３－１では曲げ試験において弱い信号しか観測されず、実施例３－１～３－４の布帛状圧電素子はセンサとしての性能に優れていることが分かる。また、被覆率が表面と裏面ともに３０％を超える実施例３－１～３－４では、曲げ試験後の組紐状圧電素子の導電層の劣化が比較例３－１に比べて抑制されており、布帛状センサとしての耐久性に優れていることが分かる。

符号の説明

[0349] １　圧電性構造体

１－１　円筒形の圧電性構造体

１－２　円柱形の圧電性構造体

２　圧電性高分子

ＯＬ　配向方向

ＨＰ　らせんピッチ

Ａ　圧電性繊維

Ｂ　導電性繊維

１０１、２０１　組紐状圧電素子

１０２、２０２　鞘部

１０３、２０３　芯部

１０７、２０７　布帛状圧電素子

１０８、２０８　布帛

１０９、２０９　絶縁性繊維

１１０、２１０　導電性繊維

１１１　デバイス

１１２　圧電素子

１１３　増幅手段

１１４　出力手段

１１５　送信手段

２０４　導電層

２０５　　導電性物質

２０６　　導電性繊維

Ｘ　　芯部の繊維束のみからなる最大の円

Ｙ　　芯部の繊維束を完全に包含する最小の円Ｙ

Ｘ’　　芯部を包含する圧電性繊維の繊維束のみからなる最大の円

Ｙ’　　圧電性繊維の繊維束を完全に包含する最小の円

ＣＬ　　中心軸または繊維軸

α　　巻きつけ角度

請求の範囲

[請求項1] 配向した圧電性高分子を円筒形または円柱形に配置した構造体であり、圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸の方向に対する圧電性高分子の配向角度が０°以上４０°以下または５０°以上９０°以下であり、圧電性高分子は配向軸を３軸とした時の圧電定数ｄ１４の絶対値が０．１ｐＣ／Ｎ以上１０００ｐＣ／Ｎ以下の値を有する結晶性高分子を主成分として含む、構造体。

[請求項2] 前記圧電性高分子はポリ－Ｌ－乳酸またはポリ－Ｄ－乳酸を主成分として含む、請求項１に記載の構造体。

[請求項3] 前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸を軸としてねじり変形が与えられた時、該円筒形または円柱形の中心軸側と外側とに逆極性の電荷が発生する、請求項１または２に記載の構造体。

[請求項4] 前記圧電性高分子は、圧電定数ｄ１４の値が正の結晶性高分子を主成分として含むＰ体と、負の結晶性高分子を主成分として含むＮ体とを含み、前記構造体の中心軸が１ｃｍの長さを持つ部分について、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＺＰ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｐ体の質量をＳＰ、配向軸がＺ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＺＮ、配向軸がＳ撚り方向にらせんを巻いて配置された該Ｎ体の質量をＳＮとし、（ＺＰ＋ＳＮ）と（ＳＰ＋ＺＮ）とのうち小さい方をＴ１、大きい方をＴ２としたとき、Ｔ１／Ｔ２の値が０．８超である、請求項１～３のいずれか１項に記載の構造体。

[請求項5] 前記圧電性高分子は繊維状、フィラメント状またはテープ状のものが、組紐状、撚り紐状、カバリング糸状または引き揃え糸状にされて構成されている、請求項１～４のいずれか１項に記載の構造体。

[請求項6] 前記圧電性高分子は円筒形または円柱形の中心軸に垂直な断面において１つの閉領域のみを構成している、請求項１～４のいずれか１項

に記載の構造体。

[請求項7] 請求項１～６のいずれか１項に記載の構造体と、前記構造体に隣接して配置された導電体と、を備える素子。

[請求項8] 前記圧電性高分子が円筒形に配置されており、該円筒形の中心軸の位置に前記導電体を配置した、請求項７に記載の素子。

[請求項9] 前記導電体が導電性繊維からなり、前記圧電性高分子は圧電性繊維として前記導電性繊維の周りに組紐状に組まれて配置される、請求項８に記載の素子。

[請求項10] 前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の外側に前記導電体を配置した、請求項７に記載の素子。

[請求項11] 前記導電体は導電性繊維からなり、前記圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の周りに前記導電性繊維が組紐状に組まれて配置される、請求項１０に記載の素子。

[請求項12] 請求項７～１１のいずれか１項に記載の素子と、

圧電性高分子が配置された円筒形または円柱形の中心軸の方向にねじり変形が与えられた時に発生する電荷に応じて、前記導電体にて発生する電気信号が出力される出力端子と、

前記出力端子を介して出力される電気信号を検出する電気回路と、を備えるセンサー。

[請求項13] 前記導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の前記圧電性繊維で形成された鞘部とを備えた請求項９に記載の素子と、

前記鞘部の周囲に設けられた導電層と

を備え、前記芯部の半径Ｒｃに対する圧電性繊維からなる層の厚みｄの比ｄ／Ｒｃが１．０以上である、組紐状圧電素子。

[請求項14] 前記導電層による前記鞘部の被覆率が２５％以上である、請求項１３に記載の組紐状圧電素子。

[請求項15] 前記導電層が繊維で形成されている、請求項１３または１４に記載

の組紐状圧電素子。

[請求項16] 請求項１３～１５のいずれか１項に記載の組紐状圧電素子を含む布帛状圧電素子。

[請求項17] 前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、請求項１６に記載の布帛状圧電素子。

[請求項18] 前記布帛を形成する繊維であり且つ前記組紐状圧電素子と交差する繊維のうちの３０％以上が導電性繊維である、請求項１７に記載の布帛状圧電素子。

[請求項19] 請求項１３～１５のいずれか１項に記載の組紐状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記組紐状圧電素子から出力される電気信号を増幅する増幅手段と、

前記増幅手段で増幅された電気信号を出力する出力手段と、

を備えるデバイス。

[請求項20] 請求項１７または１８に記載の布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子から出力される電気信号を増幅する増幅手段と、

前記増幅手段で増幅された電気信号を出力する出力手段と、

を備えるデバイス。

[請求項21] 布帛に組紐状圧電素子が固定された布帛状圧電素子であり、前記組紐状圧電素子が、

前記導電性繊維で形成された芯部と、前記芯部を被覆するように組紐状の前記圧電性繊維で形成された鞘部とを備えた請求項９に記載の素子と、

前記鞘部の周囲に設けられた導電層と

を備え、前記布帛に対する前記組紐状圧電素子の５ｃｍあたりの引抜き強度が０．１Ｎ以上である、布帛状圧電素子。

[請求項22] 前記布帛を構成する繊維による前記組紐状圧電素子の被覆率が前記布帛の両面とも３０％を超える、請求項２１に記載の布帛状圧電素子

。

[請求項23] 前記布帛に前記組紐状圧電素子が織り込まれる状態または編み込まれる状態で固定された、請求項２１または２２に記載の布帛状圧電素子。

[請求項24] ２重織り布帛あるいは２重編み布帛の層間に前記組紐状圧電素子が挟み込まれている、請求項２１または２２に記載の布帛状圧電素子。

[請求項25] 前記布帛から前記組紐状圧電素子が部分的に露出しており、該露出部分において前記組紐状圧電素子の前記導電性繊維および／または前記導電層と他の部材とが電気的に接続されている、請求項２１～２４のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

[請求項26] 前記導電層による前記鞘部の被覆率が２５％以上である、請求項２１～２５のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

[請求項27] 前記導電層が繊維で形成されている、請求項２１～２６のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

[請求項28] 前記圧電性繊維の総繊度は、前記導電性繊維の総繊度の１倍以上、２０倍以下である、請求項２１～２７のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

[請求項29] 前記圧電性繊維の一本あたり繊度は、前記導電性繊維の総繊度の１／２０倍以上、２倍以下である、請求項２１～２８のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

[請求項30] 前記布帛は、前記組紐状圧電素子の少なくとも一部と交差して接触する導電性繊維を更に含む、請求項２１～２９のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子。

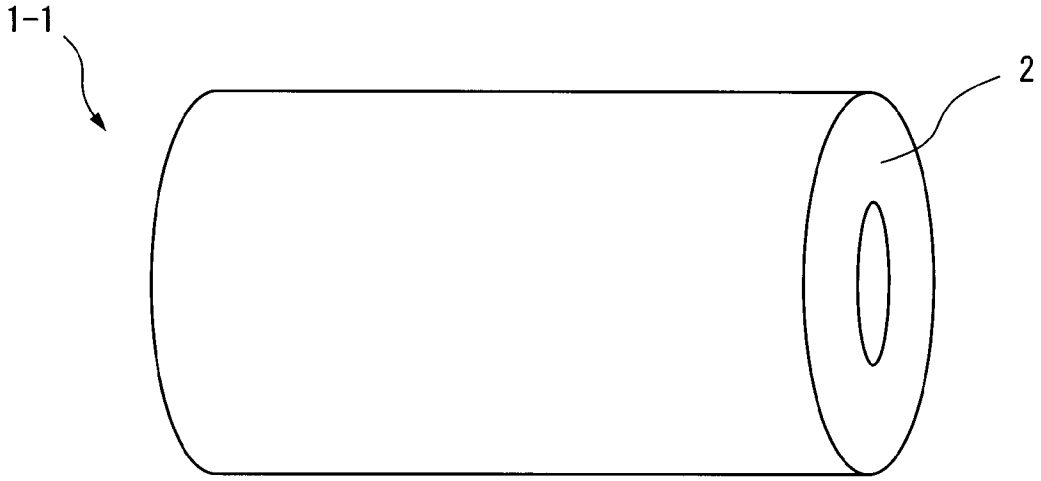
[請求項31] 請求項２１～３０のいずれか１項に記載の布帛状圧電素子と、

印加された圧力に応じて前記布帛状圧電素子に含まれる前記導電性繊維から出力される電気信号を検出する電気回路と、

を備えるデバイス。

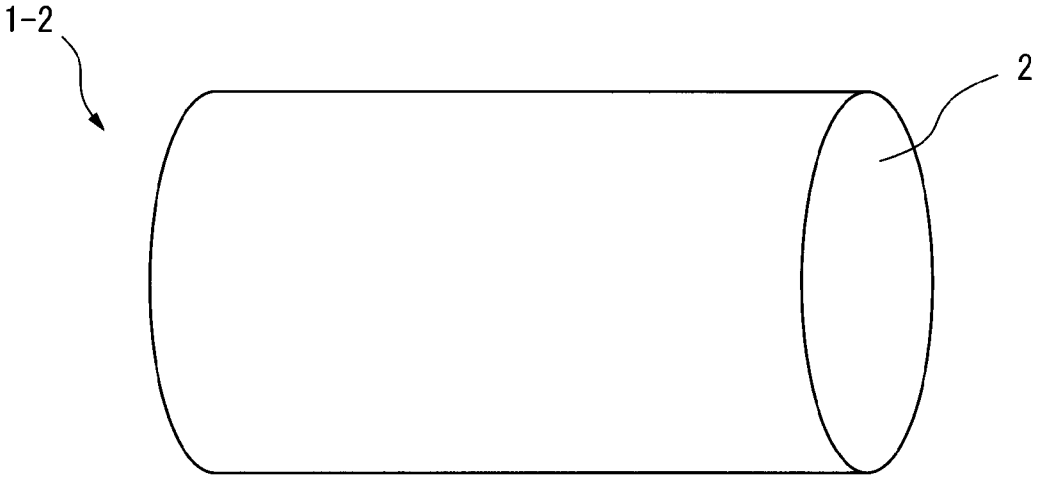
[図1A]

図1A



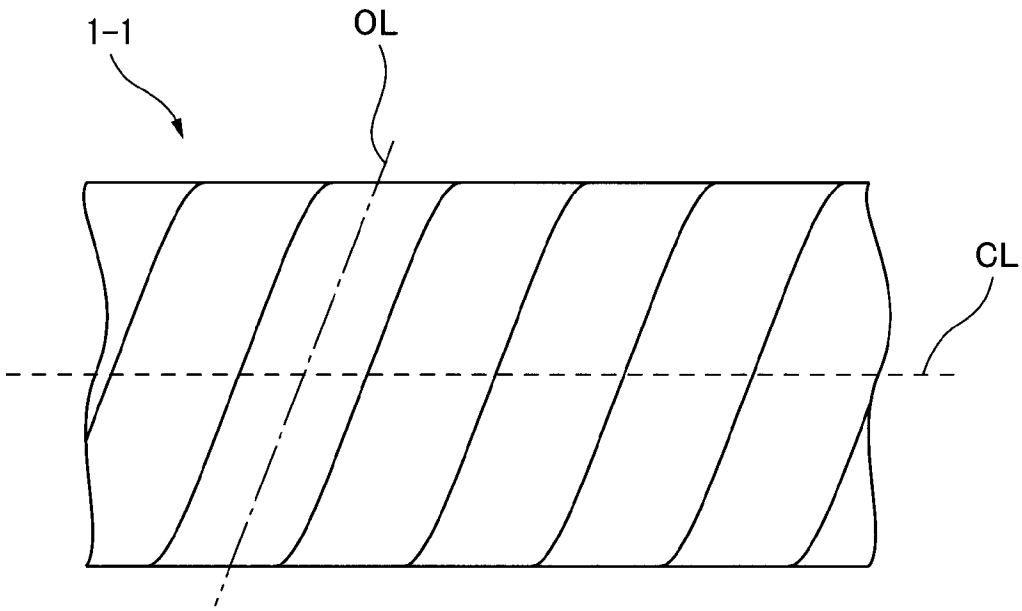
[図1B]

図1B



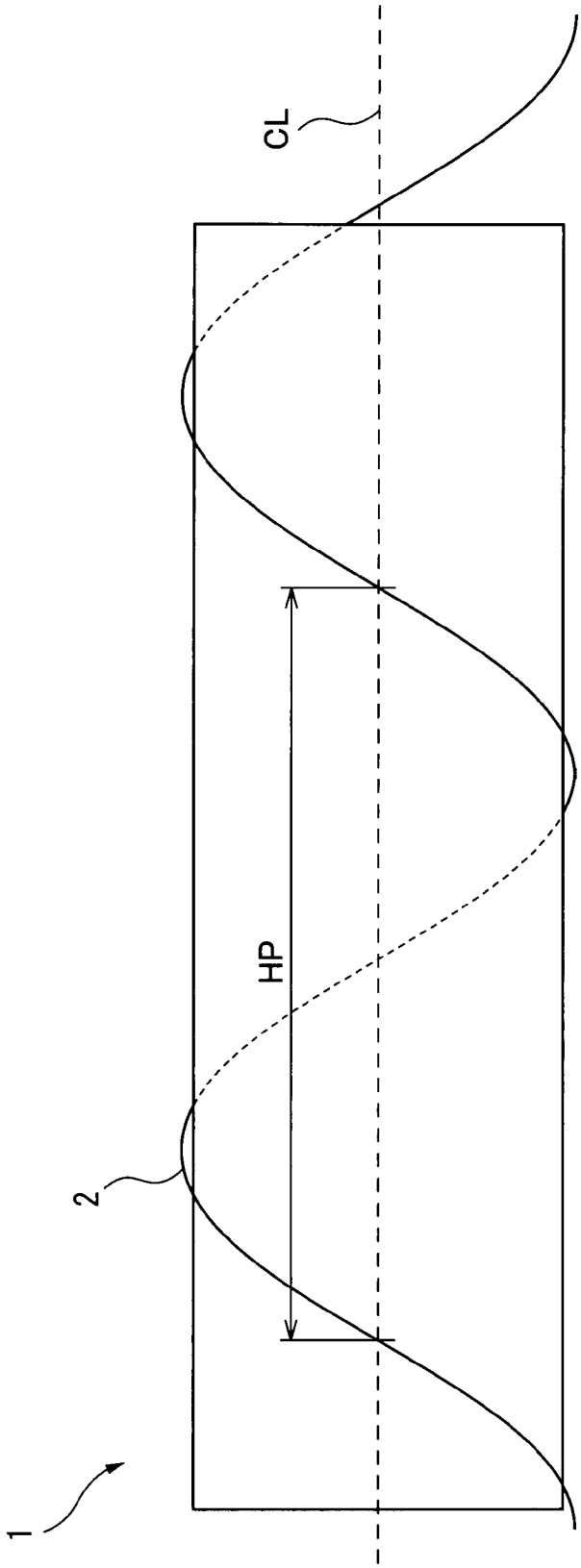
[図2]

図2



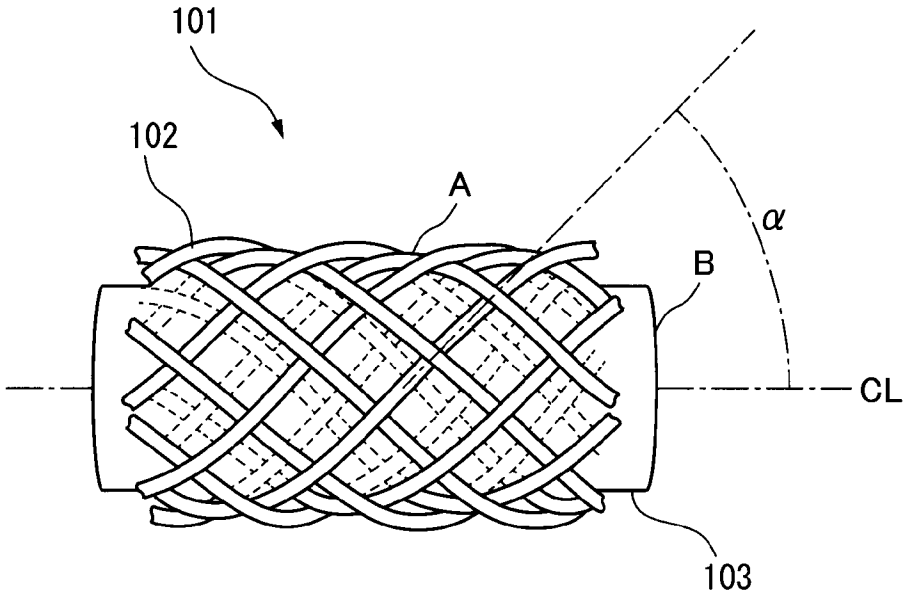
[図3]

図3



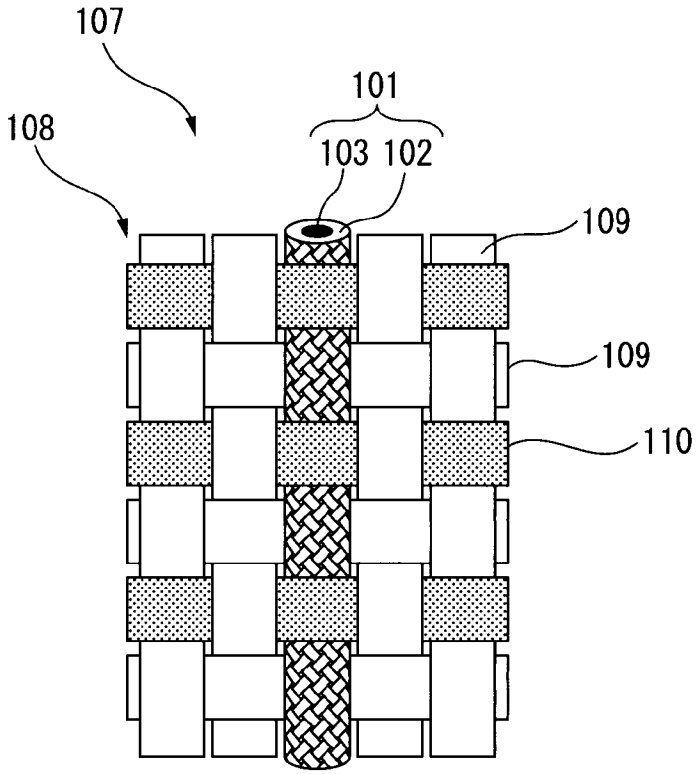
[図4]

図4



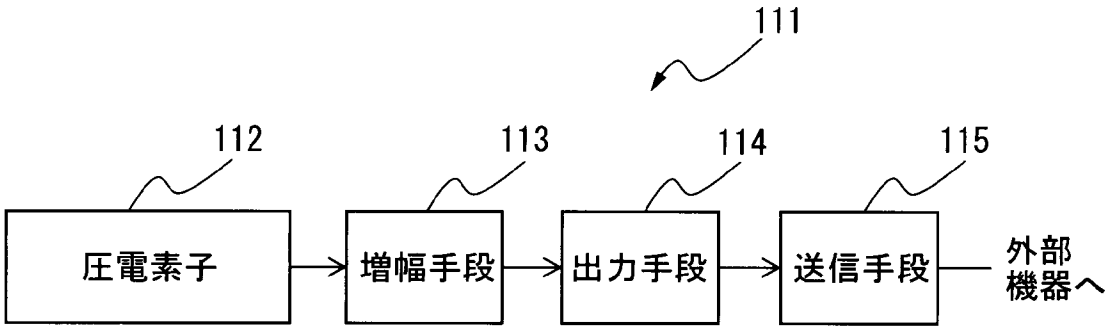
[図5]

図5



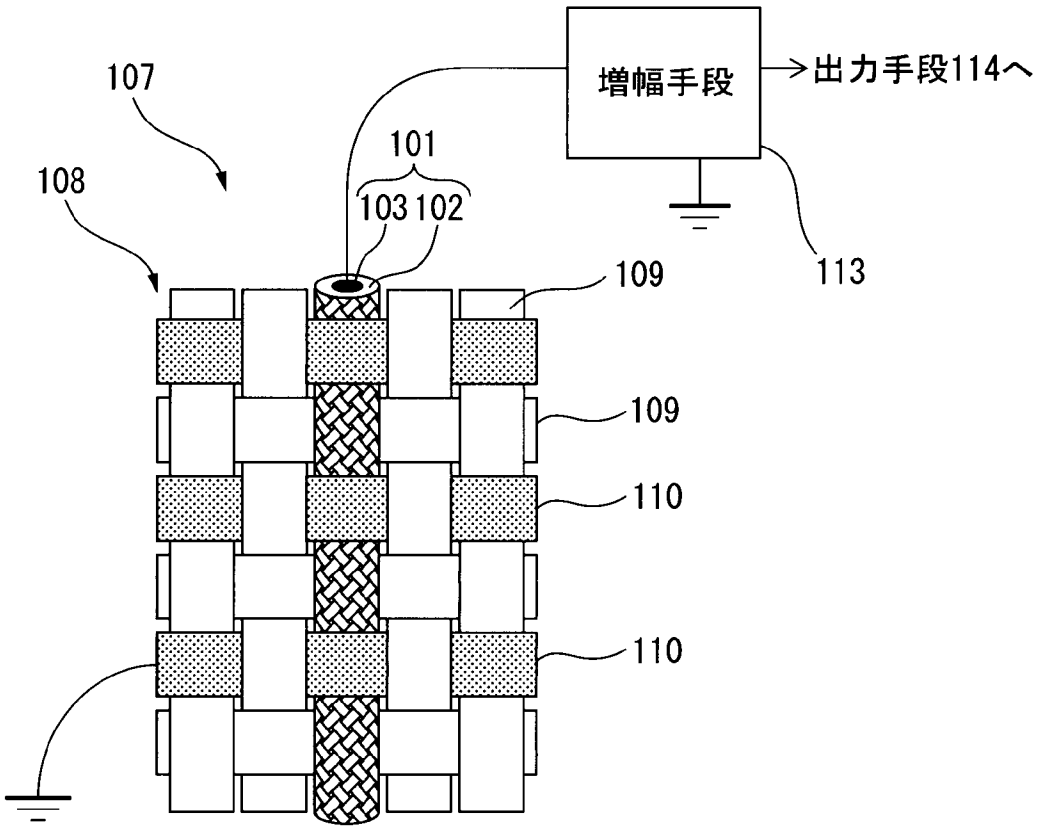
[図6]

図6


111
112
113
114
115
圧電素子
増幅手段
出力手段
送信手段
外部
機器へ

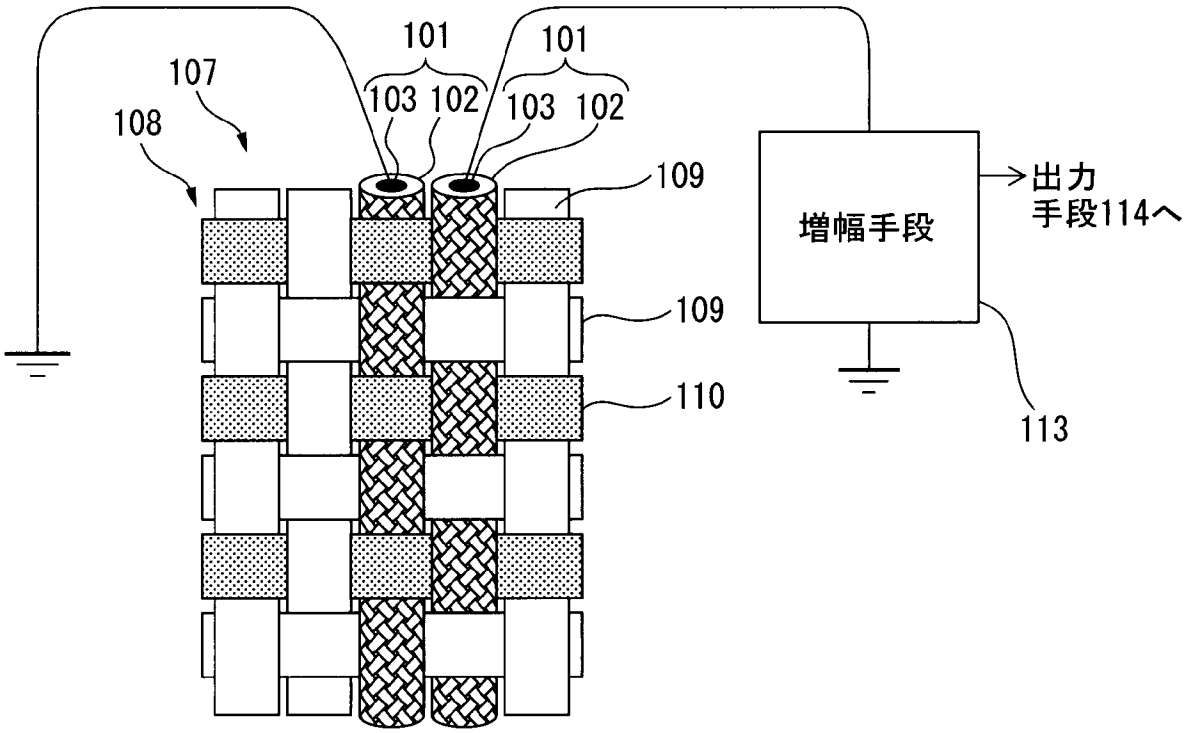
[図7]

図7


増幅手段
出力手段114へ
107
101
108
103
102
109
113
109
110
110

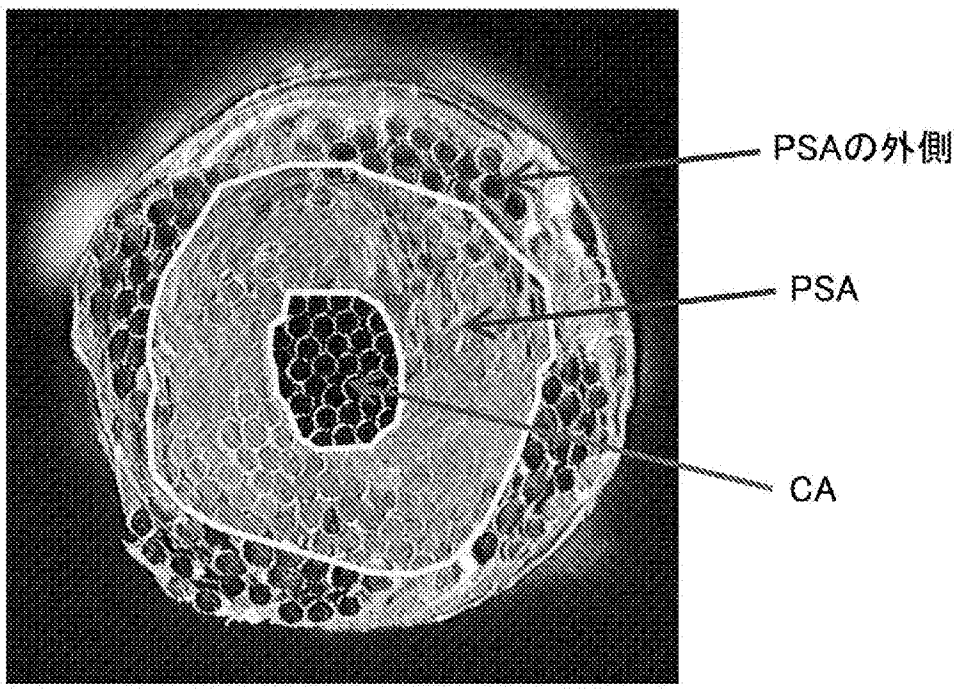
[図8]

図8



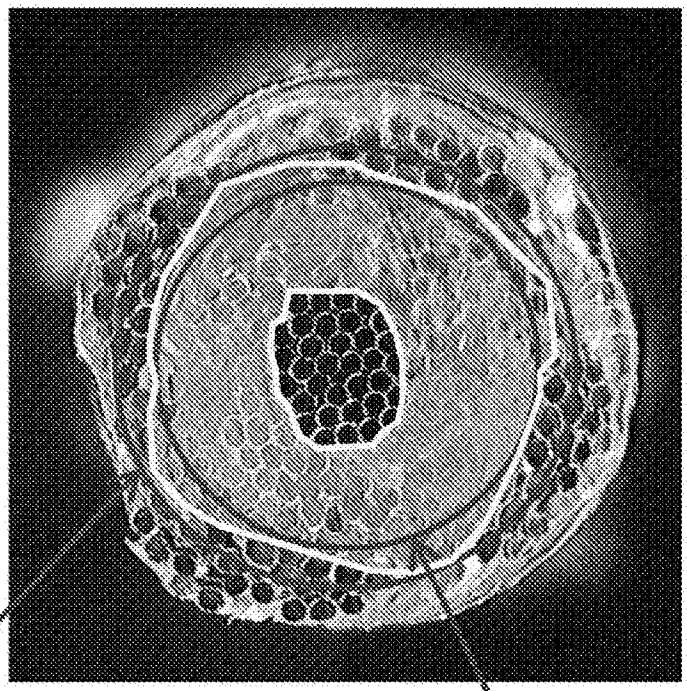
[図9A]

図9A



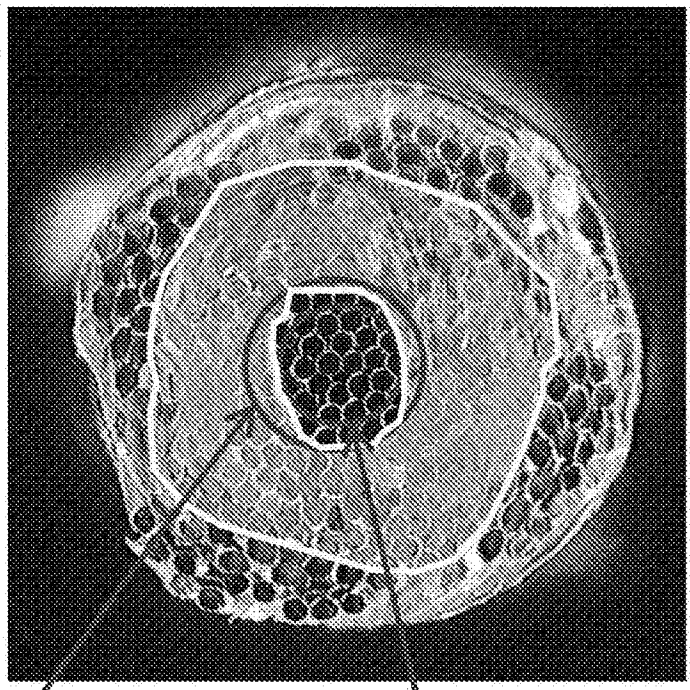
[図9B]

図9B



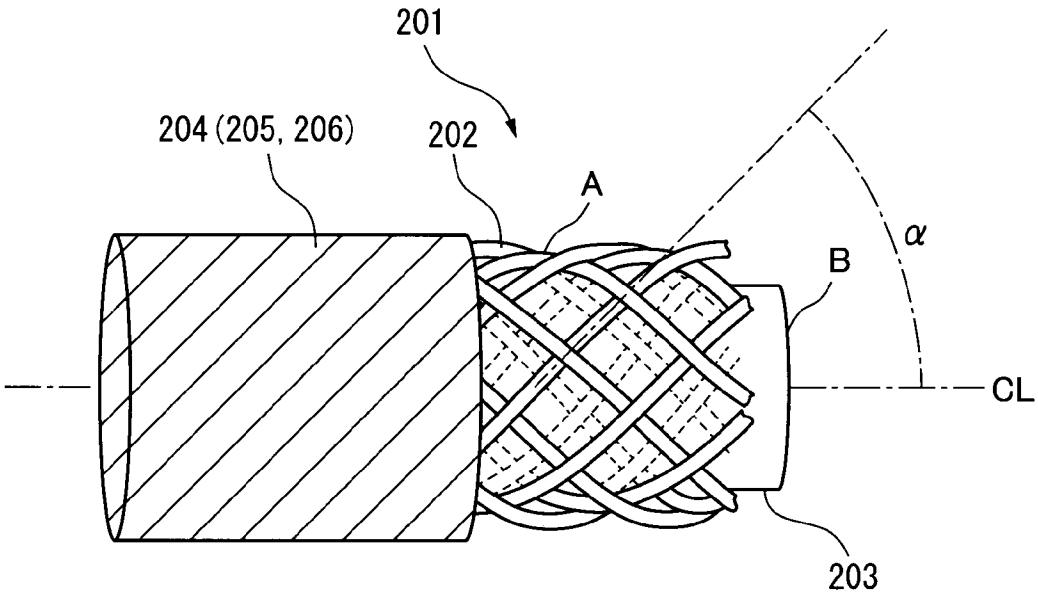
[図9C]

図9C



[図10]

図10



[図11]

図11-1

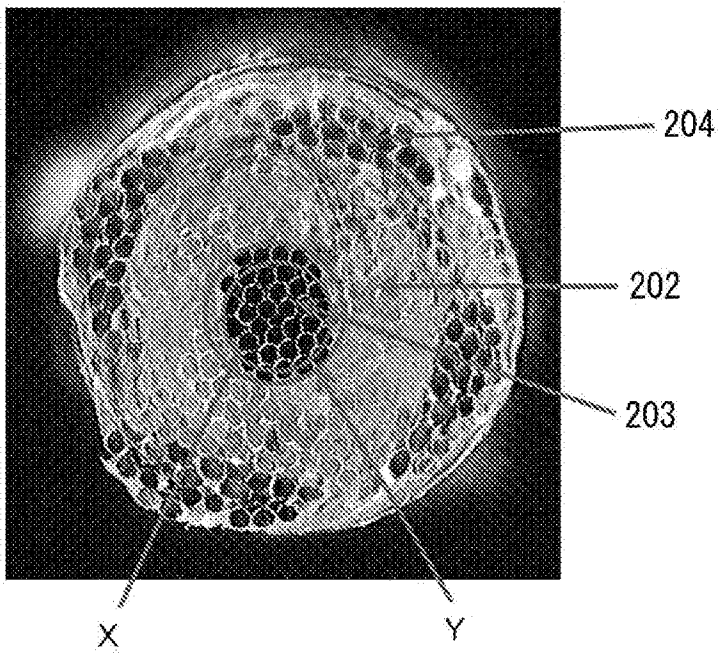
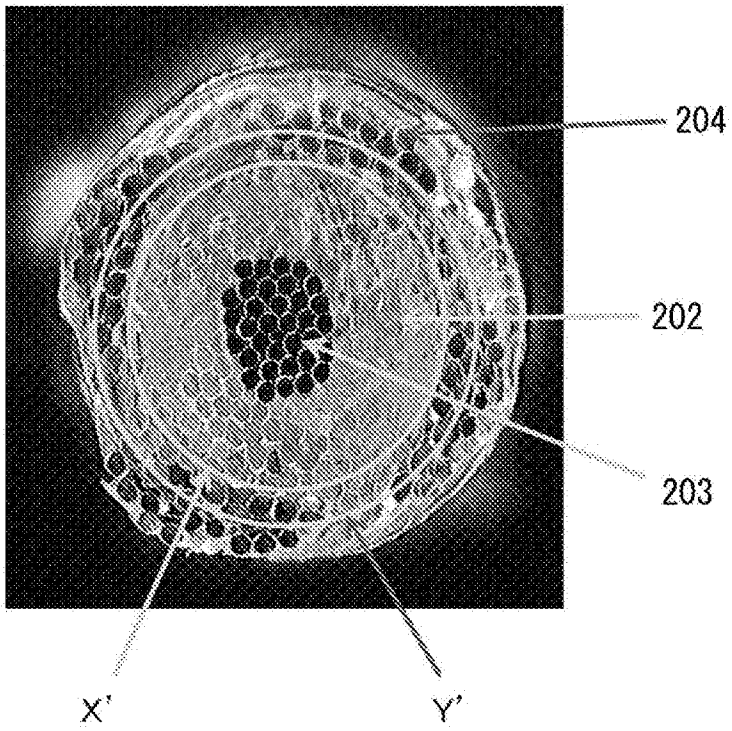
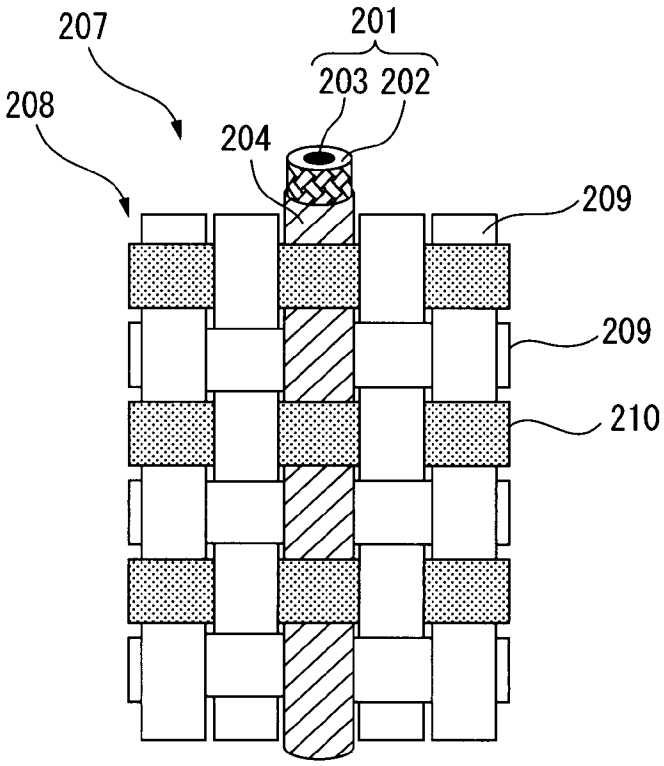


図11-2



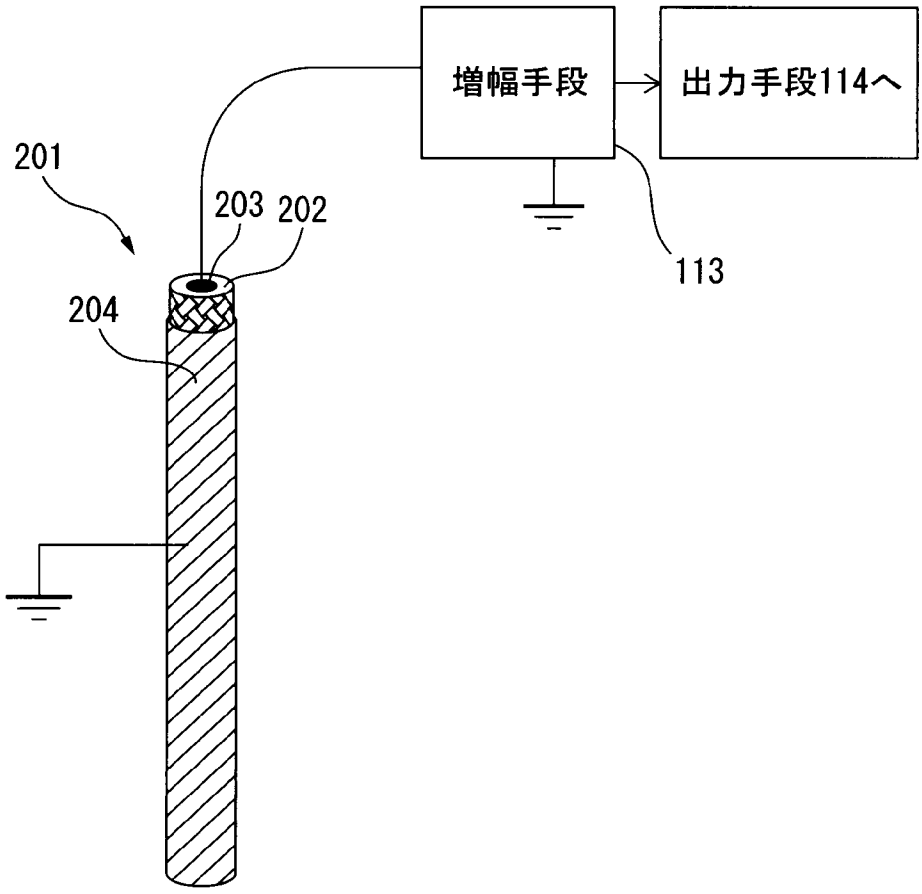
[図12]

図12



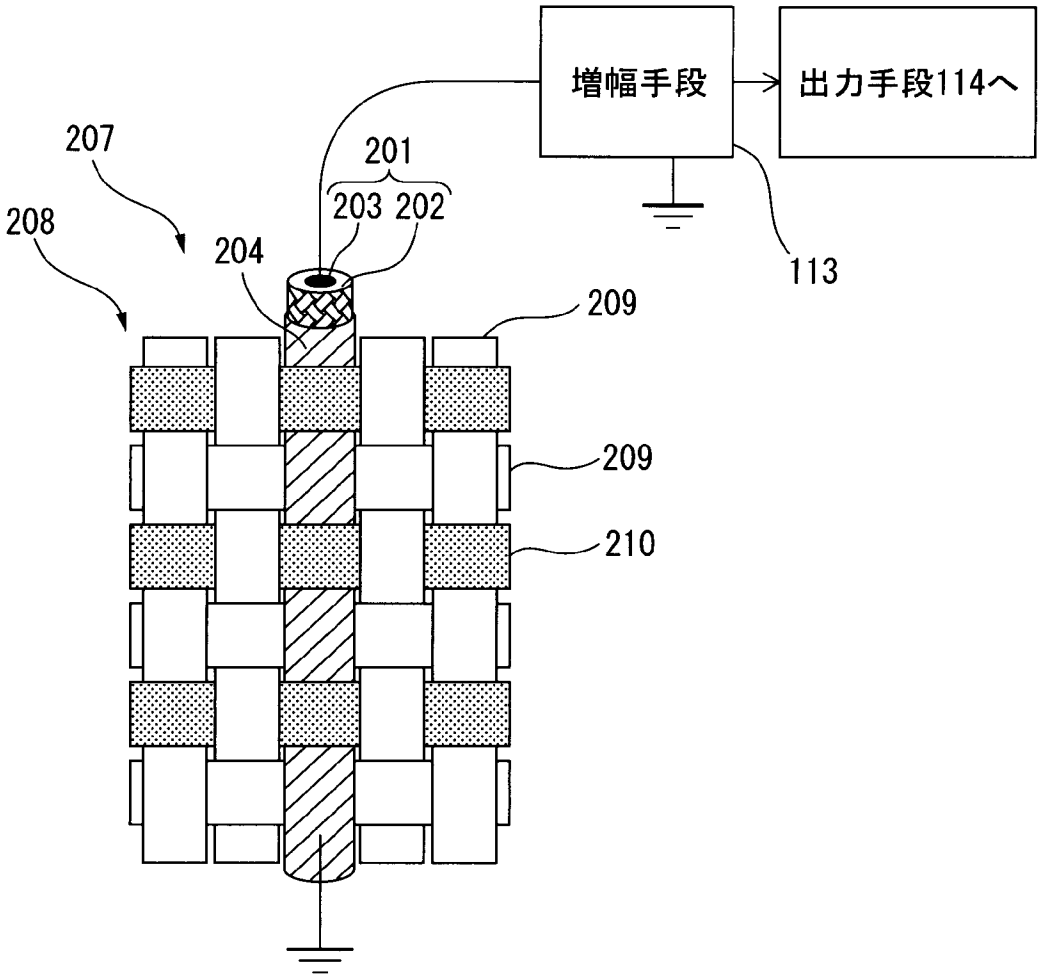
[図13]

図13



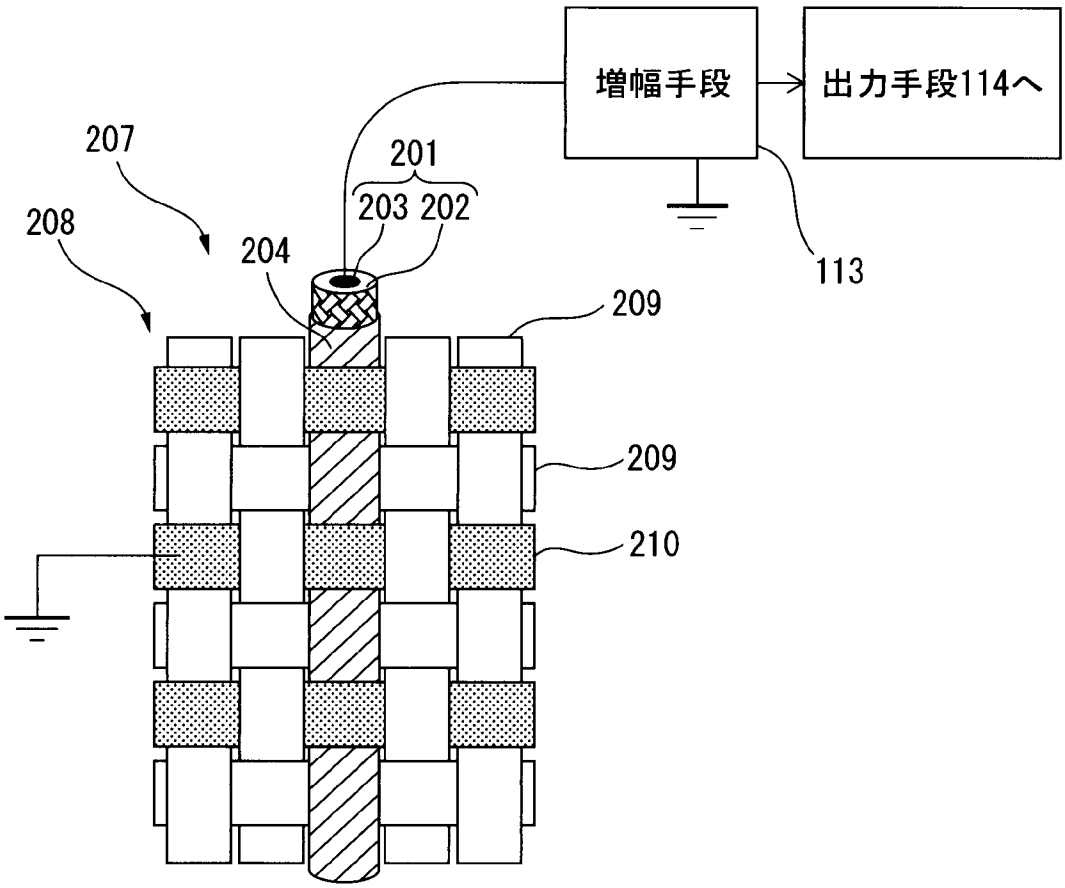
[図14]

図14



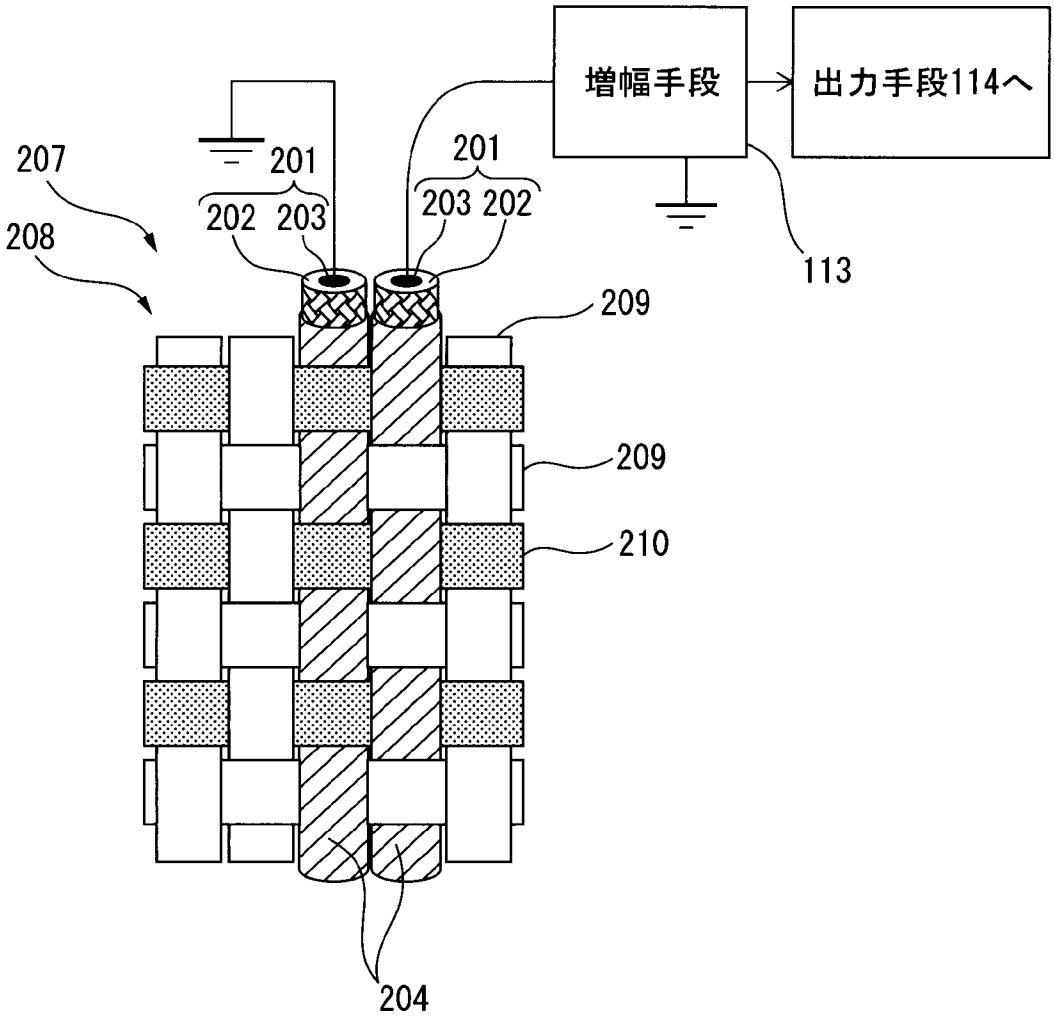
[図15]

図15



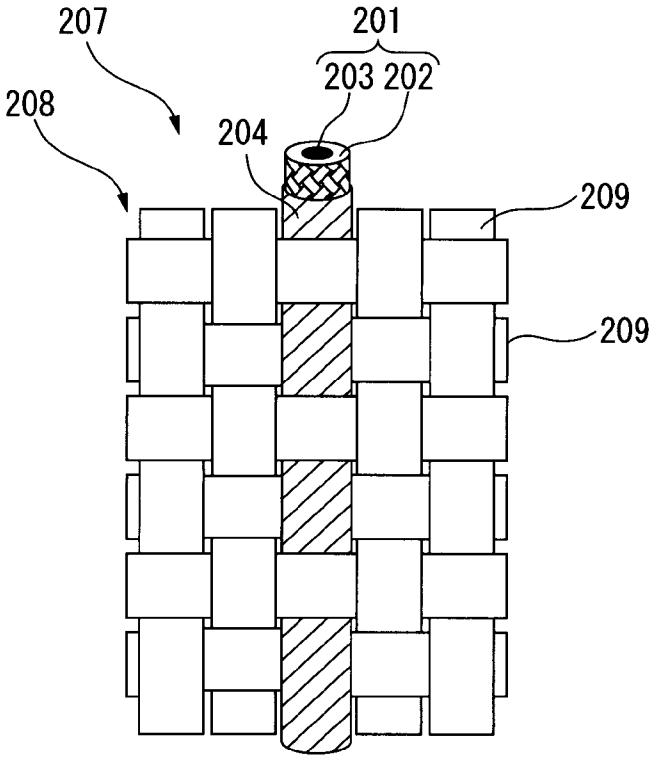
[図16]

図16


増幅手段
出力手段114へ
207
208
201
202 203
201
203 202
113
209
209
210
204

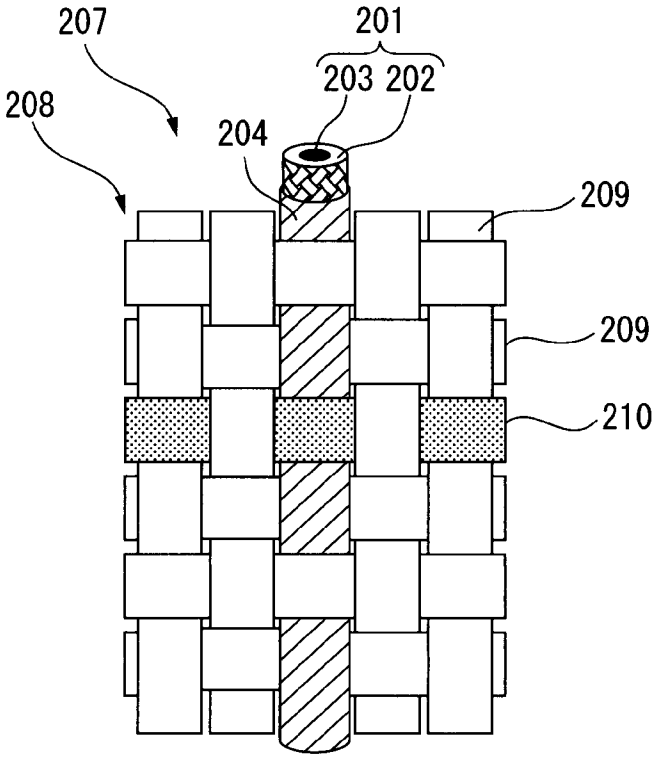
[図17]

図17



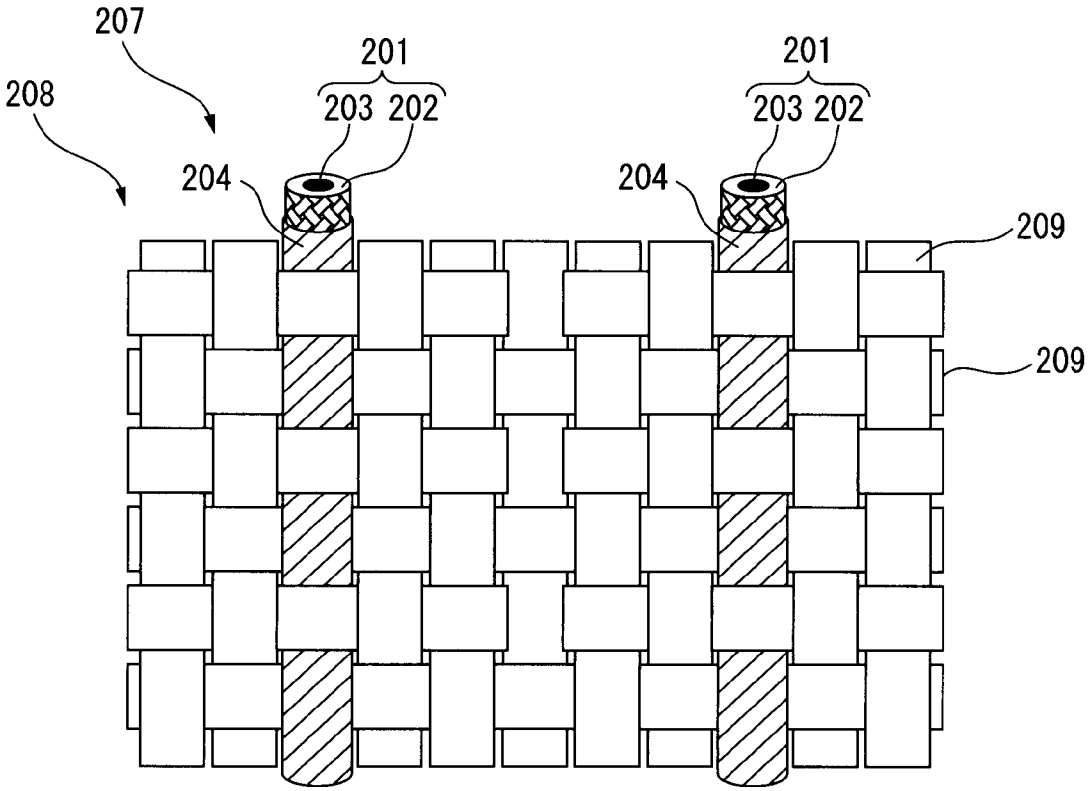
[図18]

図18



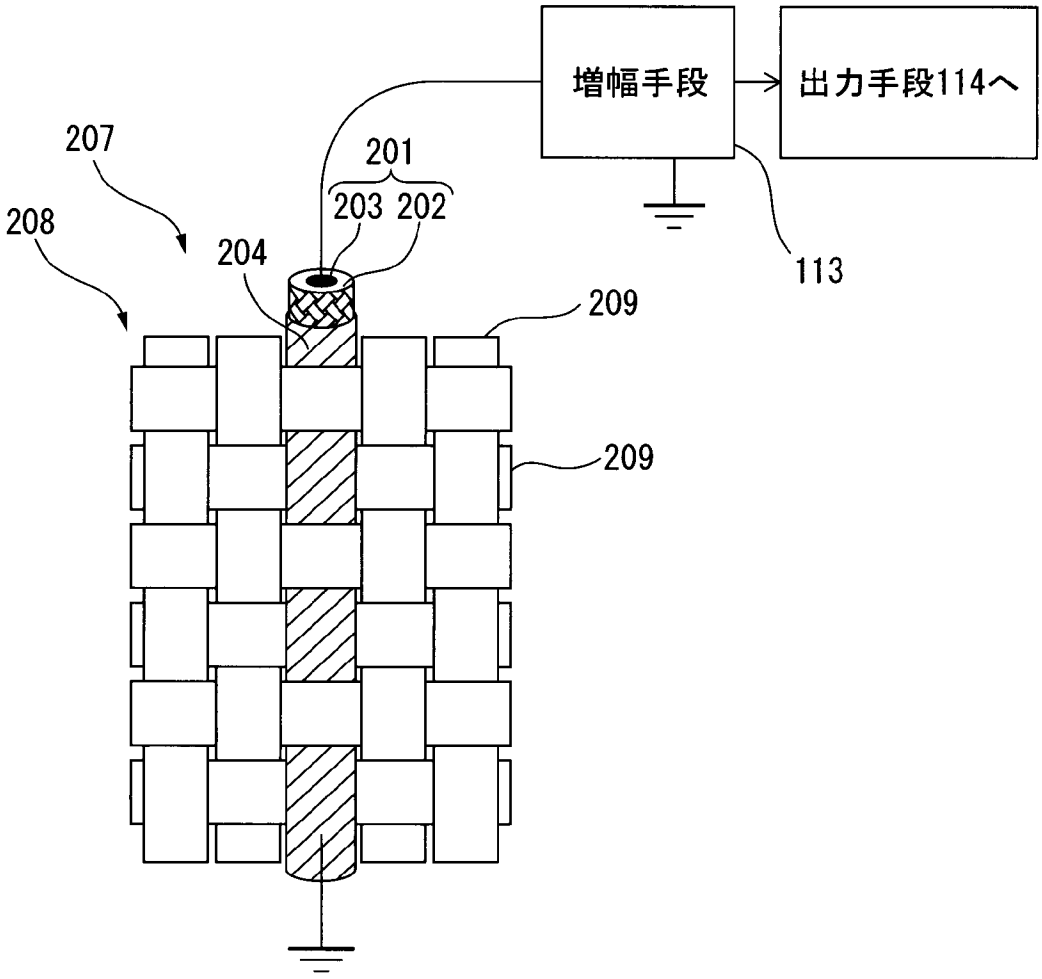
[図19]

図19



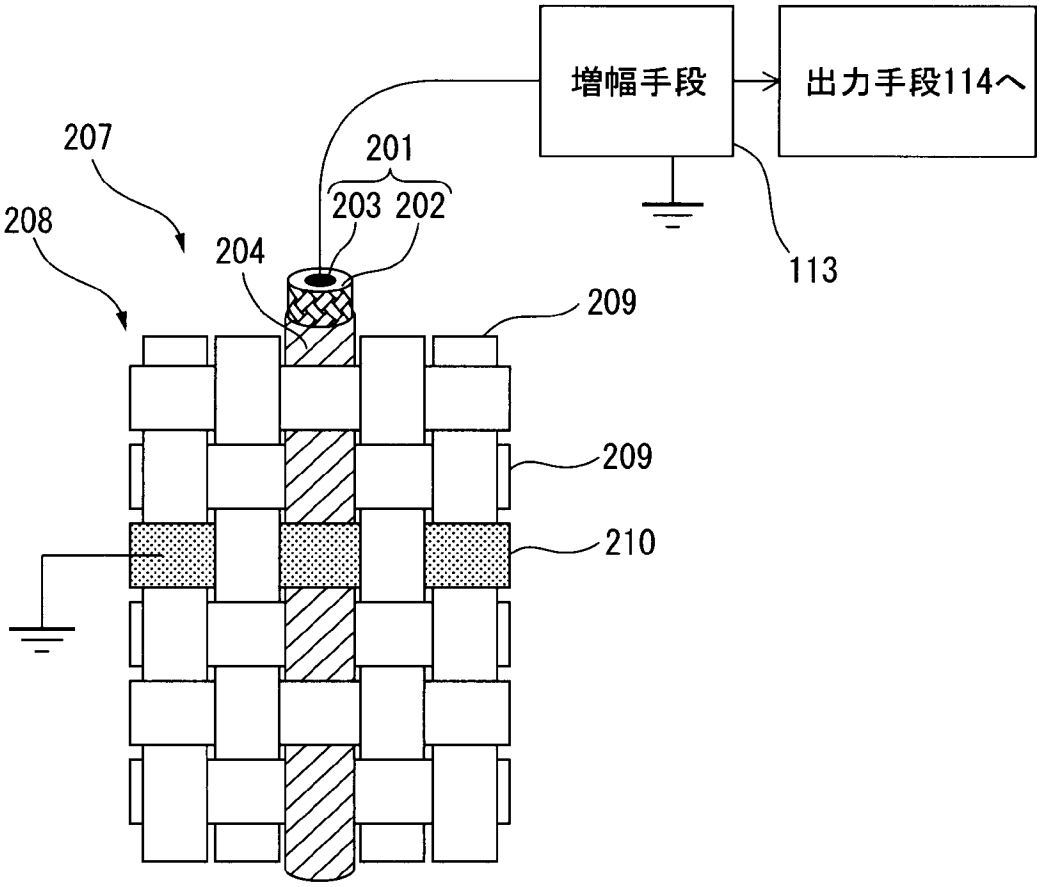
[図20]

図20



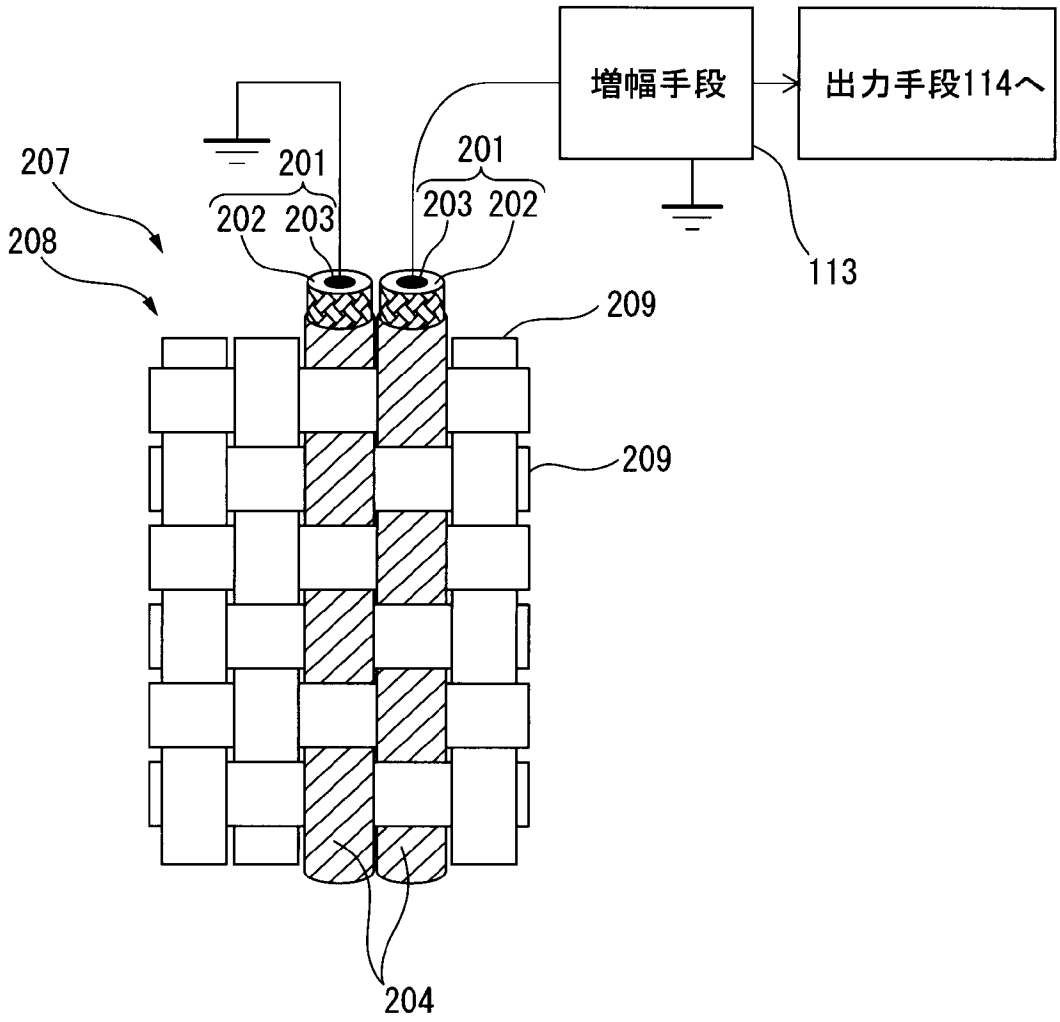
[図21]

図21



[図22]

図22



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/038984

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H01L41/087(2006.01)i, D02G3/04(2006.01)i, D02G3/38(2006.01)i, G01L1/16(2006.01)i, G06F3/041(2006.01)i, H01L41/04(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i, H01L41/193(2006.01)i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. H01L41/087, D02G3/04, D02G3/38, G01L1/16, G06F3/041, H01L41/04, H01L41/047, H01L41/113, H01L41/193

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2014/058077 A1 (TEIJIN LTD.) 17 April 2014, page 13, lines 11-22, page 15, lines 1-11, page 15, line 28 to page 16, line 8, page 17, lines 23-27, page 18, lines 25, 26, page 28, lines 11-14, 16-20, page 31, lines 23, 24, fig. 1-14 & US 2015/0280102 A1, paragraphs [0089]-[0095], [0101], [0102], [0106], [0107], [0116], [0121], [0179]-[0181], [0199], fig. 1-14 & EP 2908357 A1	1-3, 5-20 4, 21-31

☒ 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	Date of mailing of the international search report
09 January 2018	16 January 2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/038984

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/104196 A1 (MITSUI CHEMICALS, INC.) 16 September 2010, paragraphs [0029], [0032], [0053], fig. 1-14 & US 2012/0025674 A1, paragraphs [0055], [0063], [0064], [0095], fig. 1-14 & EP 2408034 A1	1-3, 5-20
Y	JP 2002-102186 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 09 April 2002, paragraphs [0024]-[0026], fig. 1-10 (Family: none)	19, 20
P, A	WO 2017/111108 A1 (MITSUI CHEMICALS, INC.) 29 June 2017, paragraphs [0012]-[0068], [0150]-[0161], fig. 1-26 (Family: none)	1-31

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３８９８４

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L41/087(2006.01)i, D02G3/04(2006.01)i, D02G3/38(2006.01)i, G01L1/16(2006.01)i, G06F3/041(2006.01)i, H01L41/04(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i, H01L41/193(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.　H01L41/087, D02G3/04, D02G3/38, G01L1/16, G06F3/041, H01L41/04, H01L41/047, H01L41/113, H01L41/193

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

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

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2014/058077 A1 (帝人株式会社) 2014.04.17, 13頁11-22行目,15頁1-11行目,15頁28行目-16頁8行目,	1-3,5-20
A	17頁23-27行目,18頁25,26行目,28頁11-14行目, 28頁16-20行目,31頁23,24行目,図1-14 & US 2015/0280102 A1,段落0089-0095,0101,0102,0106,0107,0116, 0121,0179-0181,0199,図1-14 & EP 2908357 A1	4,21-31

☑　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	国際調査報告の発送日
０９．０１．２０１８	１６．０１．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　５Ｆ　９４５８
小山　満
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５１６

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2010/104196 A1（三井化学株式会社）2010.09.16, 段落 0029,0032,0053,図 1-14 & US 2012/0025674 A1,段落 0055,0063,0064,0095,図 1-14 & EP 2408034 A1	1-3,5-20
Y	JP 2002-102186 A（松下電器産業株式会社）2002.04.09, 段落 0024-0026,図 1-10（ファミリーなし）	19,20
P, A	WO 2017/111108 A1（三井化学株式会社）2017.06.29, 段落 0012-0068,0150-0161,図 1-26（ファミリーなし）	1-31