(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2021 年 7 月 1 日 (01.07.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/129372 A1

(51) 国际专利分类号:
G01B 7/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/134373

(22) 国际申请日: 2020 年 12 月 8 日 (08.12.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201911384633.6 2019年12月28日 (28.12.2019) CN

(71) 申请人: 浙江大学(**ZHEJIANG UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: **张鹤(ZHANG, He)**; 中国浙江省杭州市余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **姚璘杰(YAO, Linjie)**; 中国浙江省杭州市余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **王莉(WANG, Li)**; 中国浙江省杭州市余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **吕朝锋(LV, Chaofeng)**; 中国浙江省杭州市余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (**HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.**); 中国浙江省杭州市玉古路147号黄鸿年科技综合大楼215室 / 贾玉霞, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): 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, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (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,

(54) **Title:** TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR-BASED SELF-DRIVEN DISPLACEMENT SENSOR

(54) **发明名称:** 一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器

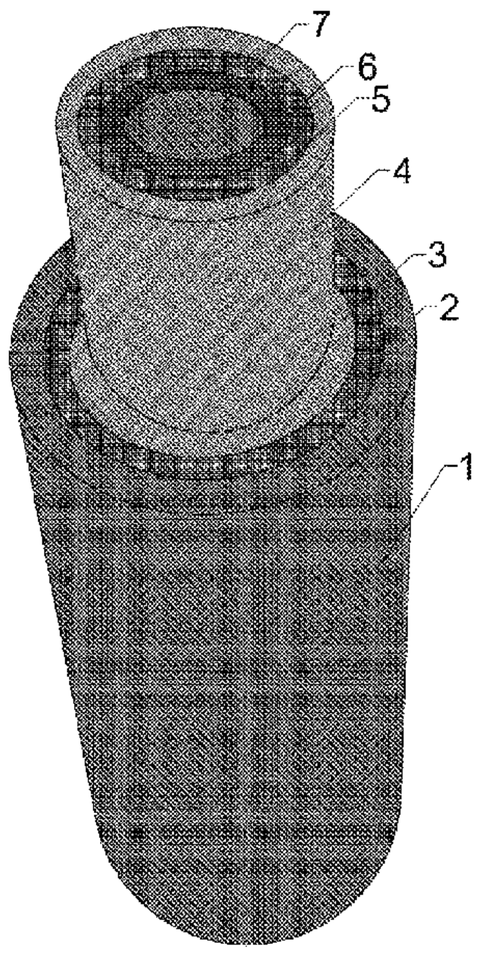


图 1

(57) **Abstract:** A triboelectric nanogenerator-based self-driven displacement sensor, comprising a cylindrical inner column and a barrel having a cylindrical cavity. One end of the inner column is fixedly connected to a component to be measured, and the other end is inserted into the cavity of the barrel. The inner column produces an axial relative displacement to the barrel along with the displacement of said component. An inner dielectric material layer (4) and an outer dielectric material layer (3) rub each other to generate an electrical signal. The triboelectric nanogenerator-based self-driven displacement sensor has the advantages of a simple structure, a wide application range, high measurement accuracy, no need for an additional power supply, low cost, easy processing, and convenient operation.

(57) **摘要**: 一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器，包括一圆柱形内柱与一带有圆柱形空腔的圆筒，内柱一端固定连接在待测构件上，另一端插入到圆筒的空腔中，内柱随待测构件的位移与圆筒产生轴向相对位移，内介电材料层（4）和外介电材料层（3）摩擦，从而产生电信号。基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器具有结构简单、应用范围广、测量精度高、无需额外提供电源、成本低廉、易加工和操作简便的优点。

[见续页]

WO 2021/129372 A1

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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器

技术领域

本发明涉及用于结构动位移监测的自供能传感设备，尤其是一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器。

背景技术

在风荷载、地震荷载和交通荷载等外荷载作用下，土木工程结构会产生振动和位移，超过一定限值将影响结构的正常使用，甚至造成结构的破坏，所以必须要通过加强对建筑物结构振动的位移监测，来确保其安全性和可行性。目前的位移监测多数是利用应变测试完成的，结构的应变测试是工程人员进行结构优化设计，了解结构受力状态以及保证结构安全的一个很重要的环节。在现今的土木工程行业中，应变测量仪器广泛地应用于桥梁、铁路、大坝以及各种建筑设施的应变测量。目前常用的应变测量仪器主要有千分表应变计、电阻应变计、振弦式传感器，等等。其中，如采用千分表应变计，由于标注长度以及安装的限制，在实际应用中受限较大；如采用电阻应变计，具有非线性，输出信号微弱，抗干扰能力较差，受环境影响较大，且其只能测构件表面一个点沿某个方向的应变而不能进行全域性测量；如采用振弦式传感器，则对传感器材料及加工工艺要求较高，且测量精度较低。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提出一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器，能够用于结构振动位移的测量，并且无需额外提供能源，能够将待测结构的机械能转化为电能并以电信号的形式输出，以该电信号计算出结构的位移大小，同时还具备成本低廉、精度高、应用范围广、易加工和操作简便等特点。具体技术方案如下：

提供一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器，该位移传感器包括一圆柱形内柱与一带有圆柱形空腔的圆筒，所述内柱一端固定连接在待测构件上，另一端插入到所述圆筒的空腔中；所述圆筒固定于稳定的固定端；所述内柱由内到外分别由内刚性基板、内电极层和内介电材料层构成，所述圆筒由内到外分别由外介电材料层、外电极层和外刚性基板构成，所述内介电材料层与外介电材料层贴合，内介电材料层的极性与外介电材料层的极性相反；所述的内柱随待测构件的位移与所述圆筒产生轴向相对位移，所述内介电材料层和外介电材料层摩擦，从而产生电信号。

进一步地，内柱的内刚性基板与内电极层之间设置弹性材料层，使得内柱插入所述的

圆筒时内介电材料层与外介电材料层贴合。

进一步地，圆筒的外刚性基板与外电极层之间设置弹性材料层，使得内柱插入所述的圆筒时内介电材料层与外介电材料层贴合。

进一步地，还包括测量电路，测量电路包括电线与电信号测量装置，电信号测量装置测量两个导电层之间的电势差，并通过电势差大小计算位移大小。

本发明的有益效果是：

（1）本发明可以将结构振动的机械能转化为电能，达到自供能的效果，根据其力电转换特性将构件发生微小位移时的力学规律转化为电信号，根据装置的位移-输出关系即可得到结构的位移。

（2）本发明将位移传感器设计为柱形，圆形的接触面方便地给两层介电材料层均匀地加上附加压力，使其接触更紧密，避免了摩擦结构中接触不良的问题；另一方面可以在有限的设备体积下获得尽量大的摩擦接触面积，电信号输出更为明显。

（3）相比其他应变测量装置来说，一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器结构简单、应用范围广、测量精度高、无需额外提供电源、成本低廉。

附图说明

图 1 是本发明的结构示意图。

图 2 是图 1 所示一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器在待测构件上的安装示意图。

图 3 是图 2 所示待测构件向上位移的位移传感计运动状态图。

图 4 是图 2 所示待测构件向下位移的位移传感计运动状态图。

图中标号：外刚性基板 1、外电极层 2、外介电材料层 3、内介电材料层 4、内电极层 5、弹性材料层 6 和内刚性基板 7。

具体实施方式

下面根据附图和优选实施例详细描述本发明，本发明的目的和效果将变得更加明白。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

如图 1 所示，本发明的位移传感器包括一圆柱形内柱与一带有圆柱形空腔的圆筒，所述内柱一端固定连接在待测构件上，另一端插入到所述圆筒的空腔中；所述圆筒固定于稳定的固定端；所述内柱由内到外分别由内刚性基板 7、内电极层 5 和内介电材料层 4 构成，所述圆筒由内到外分别由外介电材料层 3、外电极层 2 和外刚性基板 1 构成，所述内介电材料层 4 与外介电材料层 3 贴合，内介电材料层 4 的极性与外介电材料层 3 的极性相反；所述的内柱随待测构件的位移与所述圆筒产生轴向相对位移，所述内介电材料层 4 和外介电

材料层 3 摩擦，从而产生电信号。

作为其中一种实施方式，为了使内介电材料层 4 与外介电材料层 3 贴合贴合紧密，在内柱的内刚性基板 7 与内电极层 5 之间设置弹性材料层 6，如图 1 所示。该弹性材料层 6 也可以设置在圆筒的外刚性基板 7 与外电极层 2 之间。

本发明的位移传感器还包括测量电路，测量电路包括电线与电信号测量装置，电信号测量装置测量两个导电层之间的电势差，并通过电势差大小计算位移大小。

本发明的位移传感器与待测构件的安装如图 2 所示。内柱与外圆筒分别固定在待测构件和固定端上，固定方式包括但不限于胶黏剂。图 2 展示了位移传感器安装之后的初始状态，内柱嵌入圆筒的圆柱形空腔中，弹性材料层 6 受到挤压从而给予内柱与圆筒一定的均匀附加压力，使内介电材料层 4 和外介电材料层 3 保持紧密接触。结构发生振动后，带动内柱沿轴向向上（图 3）和向下（图 4）位移，内介电材料层 4 与外介电材料层 3 发生摩擦，从而产生电荷转移，在两个电极层之间产生电势差，电信号测量装置可以测得电势差的大小，通过测量电势差的大小，求得结构位移。该电信号测量装置及相关的连接导线可集成在外基板上。

本发明的一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器实现位移测量的原理如下：

在一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器中，两种介电材料的厚度分别为 d_1 和 d_2，两者的相对介电常数分别为 ε_{r1} 和 ε_{r2}。$x(t)$代表内柱和圆筒之间的相对位移。当位移传感器工作时，$x(t)$从 0 到最大变化。当两个涂有介电材料的电极板无相对位移（即 $x(t)=0$），电极板充电，两个电极板的表面获得相反的静电荷，具有相等的电荷密度 σ（接触摩擦产生的电荷密度）。并且当两电极板产生相对位移时，电荷经外加电路产生电流。当负载电阻给定为 R 时，电荷量 Q 的表达式为：

$$R\frac{dQ(t)}{dt}=-\frac{d_0Q(t)}{w\varepsilon_0(l-x(t))} \tag{1}$$

其中，$d_0=d_1/\varepsilon_{r1}+d_2/\varepsilon_{r2}$，为介电材料的等效厚度，$l$ 为 $x(t)=0$ 时内柱和圆筒接触的长度，w 为内柱的外周周长，ε_0 为真空介电常数。

电压可表示为：

$$V(t)=-\frac{d_0Q(t)}{w\varepsilon_0}+\frac{d_0\sigma x(t)}{\varepsilon_0(l-x(t))} \tag{2}$$

联立（1）（2）两式，可以得到电压 $V(t)$ 与 $x(t)$在某时刻 t 存在映射关系 $x(t)\rightarrow V(t)$，即某时刻 t，通过测量电压 $V(t)$，能够得出此刻的位移量 $x(t)$从而通过测量电路将位移大小表

达为电信号。

本领域普通技术人员可以理解，以上所述仅为发明的优选实例而已，并不用于限制发明，尽管参照前述实例对发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，其依然可以对前述各实例记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在发明的精神和原则之内，所做的修改、等同替换等均应包含在发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种基于摩擦纳米发电机的自驱动位移传感器，其特征在于，该位移传感器包括一圆柱形内柱与一带有圆柱形空腔的圆筒，所述内柱一端固定连接在待测构件上，另一端插入到所述圆筒的空腔中；所述圆筒固定于稳定的固定端；所述内柱由内到外分别由内刚性基板、内电极层和内介电材料层构成，所述圆筒由内到外分别由外介电材料层、外电极层和外刚性基板构成，所述的内柱的内刚性基板与内电极层之间设置弹性材料层，使得所述的内柱插入所述的圆筒时所述内介电材料层与外介电材料层贴合；所述内介电材料层与外介电材料层贴合，内介电材料层的极性与外介电材料层的极性相反；所述的圆筒的外刚性基板与外电极层之间设置弹性材料层，使得所述的内柱插入所述的圆筒时所述内介电材料层与外介电材料层贴合；

所述的内柱随待测构件的位移与所述圆筒产生轴向相对位移，所述内介电材料层和外介电材料层摩擦，从而产生电信号；

该位移传感器还包括测量电路，测量电路包括电线与电信号测量装置，电信号测量装置测量两个导电层之间的电势差，并通过电势差大小计算位移大小；

当负载电阻给定为 R 时，电荷量 Q 的表达式为：

$$R\frac{dQ(t)}{dt}=-\frac{d_0Q(t)}{w\varepsilon_0(l-x(t))} \tag{1}$$

其中，d_0 为介电材料的等效厚度，$d_0=d_1/\varepsilon_{r1}+d_2/\varepsilon_{r2}$，$d_1$ 和 d_2 分别为内介电材料层、外介电材料层的厚度；ε_{r1} 和 ε_{r2} 分别为内介电材料层、外介电材料层的相对介电常数，$x(t)$代表内柱和圆筒之间的相对位移；l 为 $x(t)=0$ 时内柱和圆筒接触的长度，w 为内柱的外周周长，ε_0 为真空介电常数；

电压表示为：

$$V(t)=-\frac{d_0Q(t)}{w\varepsilon_0}+\frac{d_0\sigma x(t)}{\varepsilon_0(l-x(t))} \tag{2}$$

联立（1）（2）两式，得到电压 $V(t)$ 与 $x(t)$在某时刻 t 存在映射关系 $x(t)\rightarrow V(t)$，即某时刻 t，通过测量电压 $V(t)$，能够得出此刻的位移量 $x(t)$，从而通过测量电路将位移大小表达为电信号。

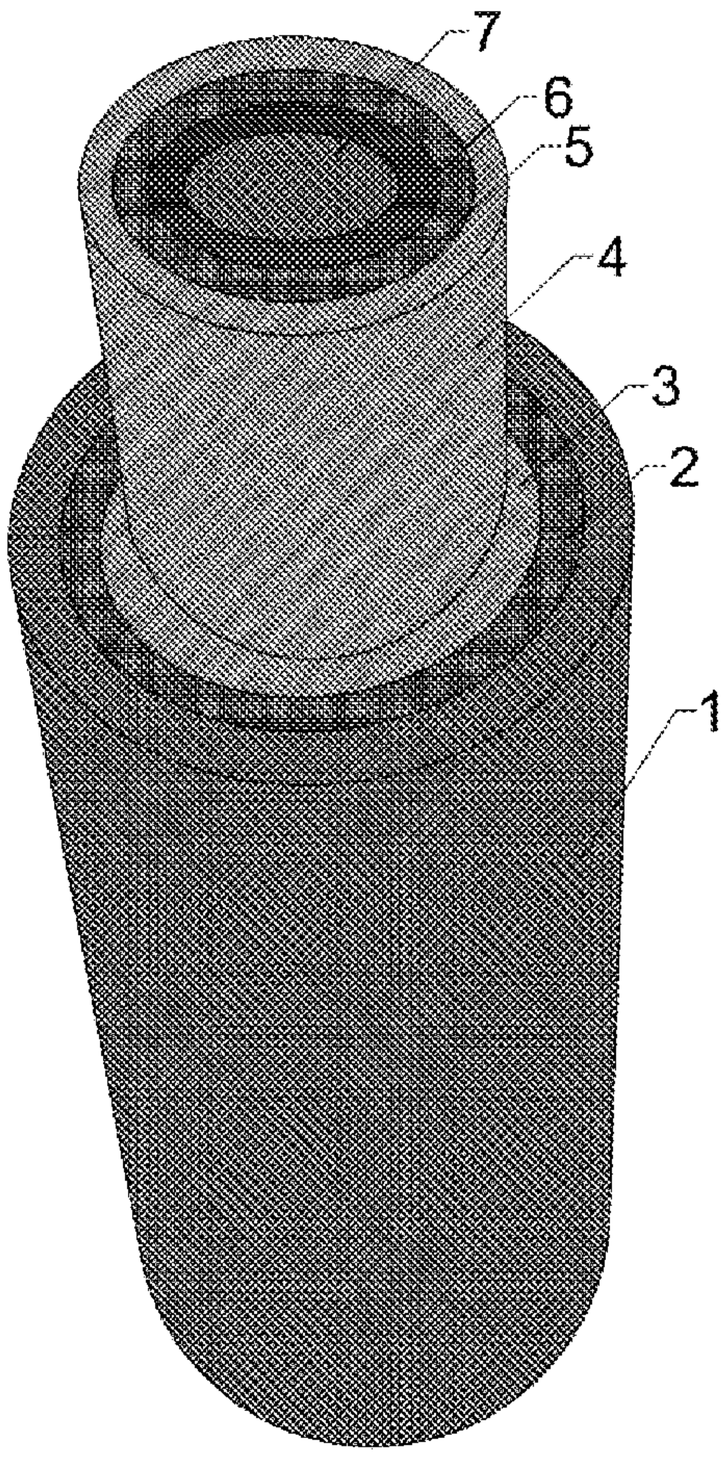


图 1

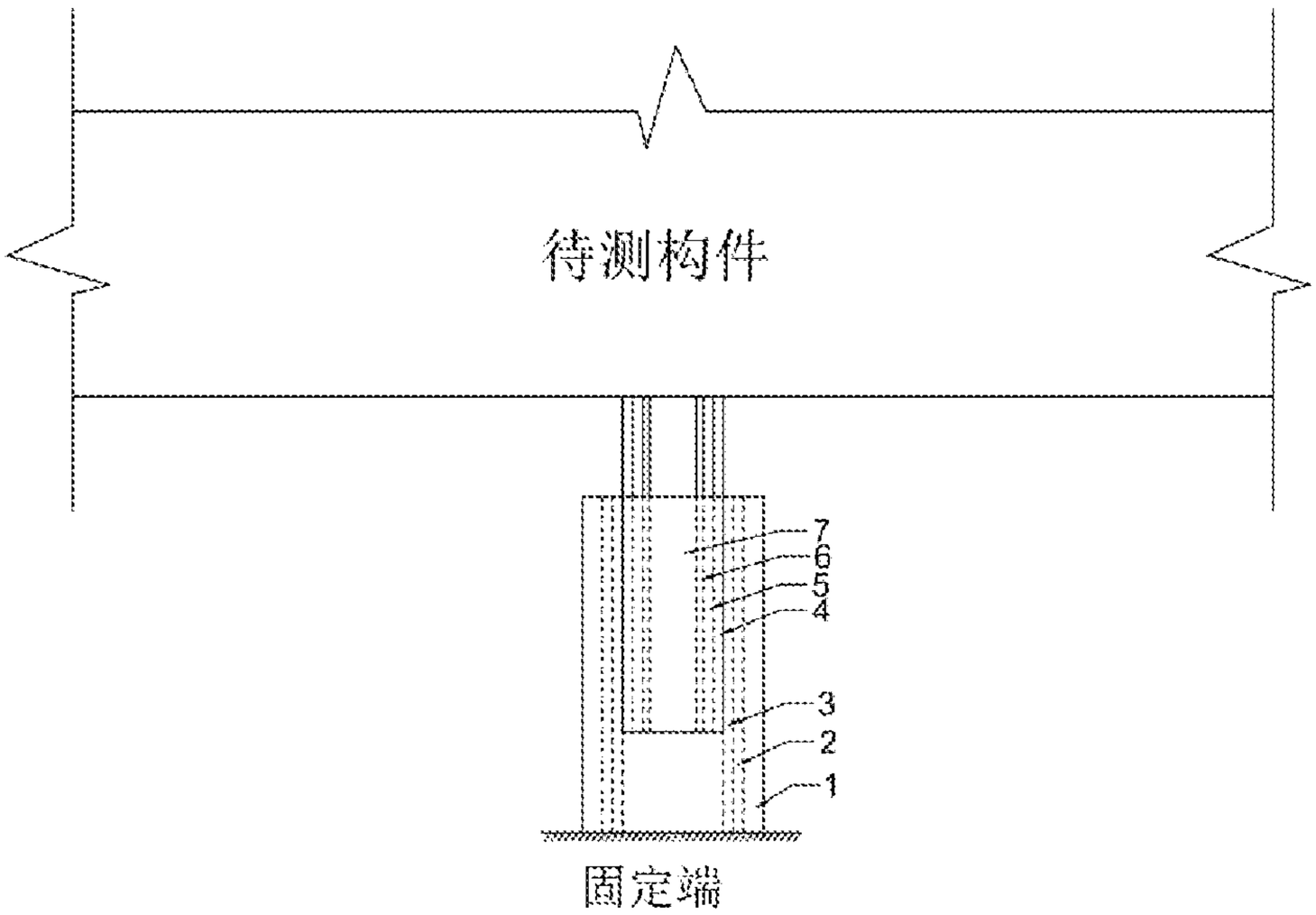


图 2

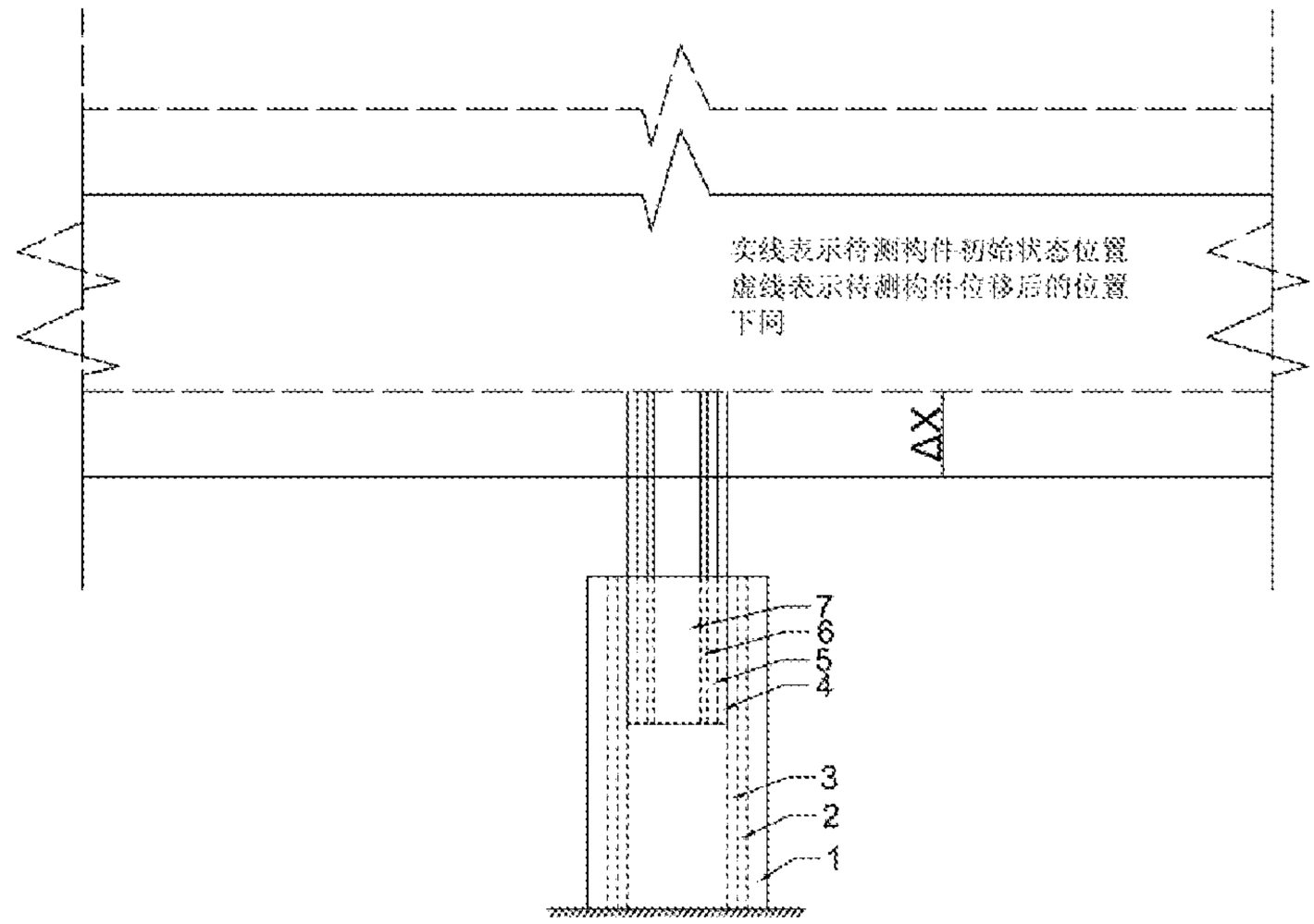


图 3

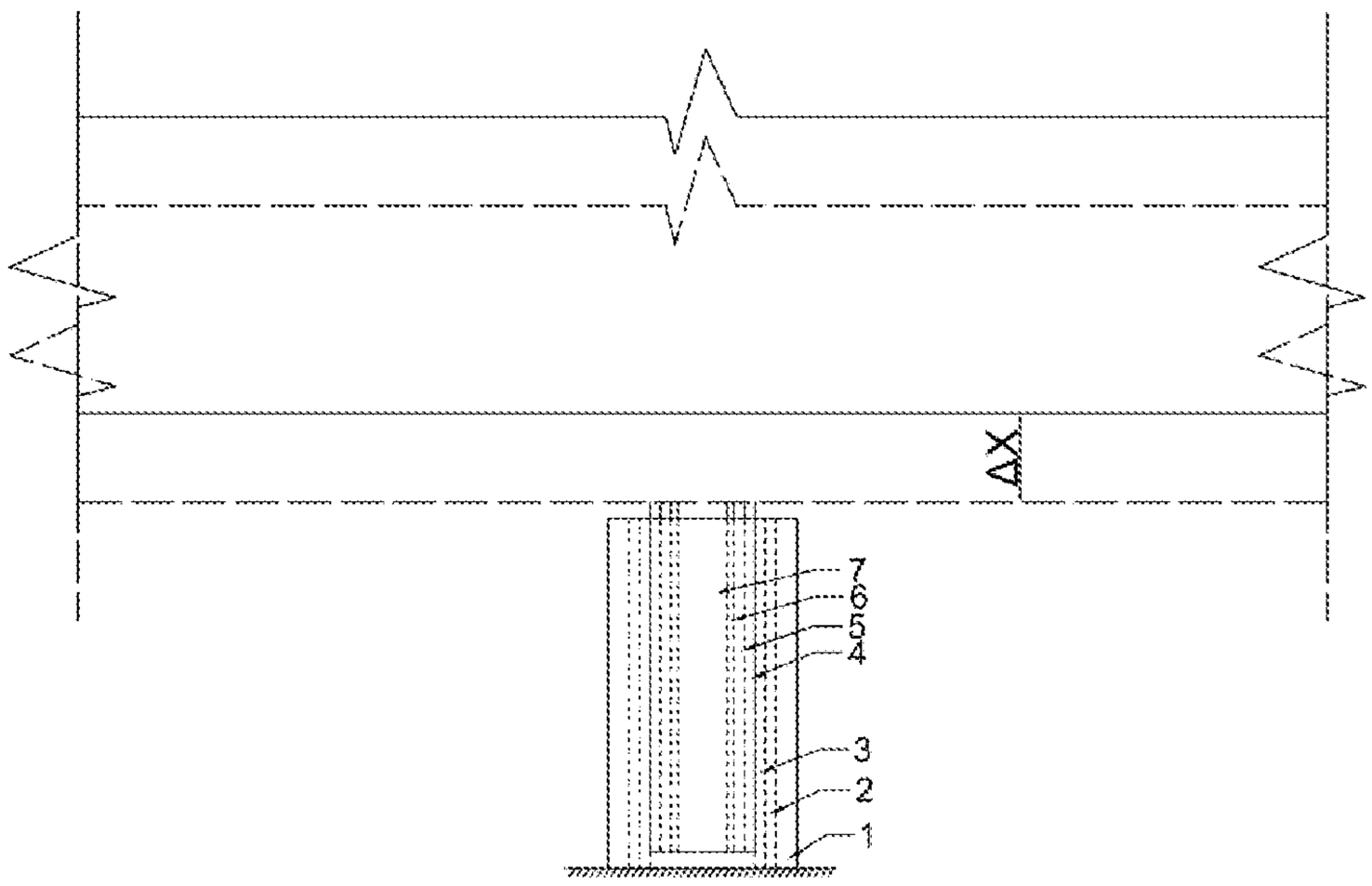


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/134373

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 7/02(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)

G01B 7/-

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

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

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 浙江大学, 张鹤, 姚璘杰, 王莉, 吕朝锋, 摩擦, 纳米, 发电, 位移, 传感器, 介电, 圆柱, 圆筒; friction, nano, power, generator, displacement, position, sensor, dielectric, column, cylinder

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111059995 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 24 April 2020 (2020-04-24) description, paragraphs [0018]-[0028], and figures 1-4	1
Y	CN 107576810 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 12 January 2018 (2018-01-12) description, paragraphs [0003], [0018]-[0035], figures 1-5	1
Y	CN 106787931 A (FUDAN UNIVERSITY) 31 May 2017 (2017-05-31) description, paragraphs [0008]-[0023], and figures 1-3	1
A	CN 107525948 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 29 December 2017 (2017-12-29) entire document	1
A	CN 110572072 A (BEIJING INSTITUTE OF NANOENERGY AND NANOSYSTEMS) 13 December 2019 (2019-12-13) entire document	1
A	CN 104779831 A (NEWNAGY (TANGSHAN) LLC.) 15 July 2015 (2015-07-15) entire document	1
A	JP 2017125730 A (SOKEN INC. et al.) 20 July 2017 (2017-07-20) entire document	1

☐ 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
26 January 2021	**26 February 2021**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/134373

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111059995	A	24 April 2020	None			
CN	107576810	A	12 January 2018	CN	207457264	U	05 June 2018
CN	106787931	A	31 May 2017	CN	106787931	B	15 October 2019
CN	107525948	A	29 December 2017	CN	207380078	U	18 May 2018
CN	110572072	A	13 December 2019	None			
CN	104779831	A	15 July 2015	CN	104779831	B	06 June 2017
JP	2017125730	A	20 July 2017	None			

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/134373

A. 主题的分类

G01B 7/02(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01B 7/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT，CNKI，EPODOC，WPI:浙江大学，张鹤，姚璘杰，王莉，吕朝锋，摩擦，纳米，发电，位移，传感器，介电，圆柱，圆筒；friction，nano，power，generator，displacement，position，sensor，dielectric，column，cylinder

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111059995 A (浙江大学) 2020年 4月 24日 (2020-04-24) 说明书第[0018]-[0028]段、附图1-4	1
Y	CN 107576810 A (浙江大学) 2018年 1月 12日 (2018-01-12) 说明书第[0003]，[0018]-[0035]段、附图1-5	1
Y	CN 106787931 A (复旦大学) 2017年 5月 31日 (2017-05-31) 说明书第[0008]-[0023]段、附图1-3	1
A	CN 107525948 A (浙江大学) 2017年 12月 29日 (2017-12-29) 全文	1
A	CN 110572072 A (北京纳米能源与系统研究所) 2019年 12月 13日 (2019-12-13) 全文	1
A	CN 104779831 A (纳米新能源唐山有限责任公司) 2015年 7月 15日 (2015-07-15) 全文	1
A	JP 2017125730 A (SOKEN INC. 等) 2017年 7月 20日 (2017-07-20) 全文	1

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 1月 26日	2021年 2月 26日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 杨敏 电话号码 86-(10)-53962436

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/134373

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	111059995	A	2020年 4月 24日		无		
CN	107576810	A	2018年 1月 12日	CN	207457264	U	2018年 6月 5日
CN	106787931	A	2017年 5月 31日	CN	106787931	B	2019年 10月 15日
CN	107525948	A	2017年 12月 29日	CN	207380078	U	2018年 5月 18日
CN	110572072	A	2019年 12月 13日		无		
CN	104779831	A	2015年 7月 15日	CN	104779831	B	2017年 6月 6日
JP	2017125730	A	2017年 7月 20日		无		