(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
2020 年 3 月 12 日 (12.03.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/047786 A1

(51) 国际专利分类号:
G01L 1/18 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/104236

(22) 国际申请日: 2018 年 9 月 5 日 (05.09.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 李晖 (LI, Hui); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 谢振文 (XIE, Zhenwen); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 王磊 (WANG, Lei); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 深圳智趣知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN IPLUS INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市福田区梅林街道梅都社区梅林路 48 号理想公馆 2427, Guangdong 518000 (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,

(54) **Title:** FLEXIBLE PRESSURE SENSOR WITH STAGGERED MICROSTRUCTURE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) **发明名称**: 一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法

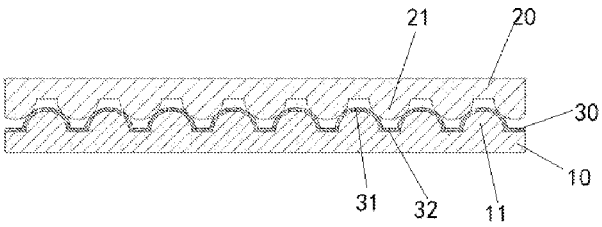

图 1

(57) **Abstract:** Disclosed are a flexible pressure sensor with a staggered microstructure and a manufacturing method therefor, applied to the technical field of sensor manufacturing and packaging. The flexible pressure sensor comprises a first flexible substrate, a second flexible substrate, and a carbon nanotube film, arranged between the first flexible substrate and the second flexible substrate; one sides of the first flexible substrate and the second flexible substrate, respectively, are provided with a plurality of spherical-crown-shaped or a first protrusion and a second protrusion having a spherical-zone shape and are disposed in a staggered manner, and the carbon nanotube film is attached to a side of the first flexible substrate having the first protrusion. The manufacturing method is used for manufacturing the flexible pressure sensor. According to the flexible pressure sensor with a staggered microstructure and the manufacturing method therefor, a staggered hemispherical internal structure and the high conductivity of carbon nanotubes improves the linear measurement range and sensitivity of the sensor, enables high stability, precision, accuracy and reliability, and shortens the response time.

(57) **摘要**: 本发明适用于传感器制作和封装技术领域，公开了一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法。柔性压力传感器包括第一、第二柔性基底，碳纳米管薄膜设置于第一、第二柔性基底之间；第一、第二柔性基底的一面分别设置有多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状且错位的第一、第二凸起部，碳纳米管薄膜贴覆于第一柔性基底具有第一凸起部的一面。制造方法用于制造上述柔性压力传感器。本发明所提供的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法，采用交错式的半球形内部结构，结合碳纳米管的高导电性，提高了传感器的线性测量范围以及灵敏度，稳定性、精度、准确度和可靠性高，且响应时间短。

WO 2020/047786 A1

[见续页]

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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国**(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, 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))。

一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于传感器制作和封装技术领域，尤其涉及一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法。

背景技术

[0002] 最近几年，随着经济和社会的快速发展，人们生活品质大大提高，促进了人们对健康问题的关注，人们期待将柔性电子传感技术用于可穿戴式电子皮肤并期望其可以像人的皮肤一样感受外界的温度、压力、形变或纹理等复杂信号，并且通过电子皮肤将外界刺激转化为可传输的电信号来输出甚至传达大脑的命令。传统的传感器大多基于金属和半导体材料, 其便携性、柔韧性和可穿戴特性差。由于柔性传感器生物相容性好，同时兼具可穿戴性、实时监测、非侵入式等一系列优点，柔性传感器的开发逐渐成为研究热点。研究人员采用多种不同的手段提高了柔性压力传感器的性能指标，如灵敏度、量程、重复性以及一致性等等，进一步扩展了柔性压力传感器的应用范围。

[0003] 近年来的制作柔性压力传感器的工艺主要有以下几种：

[0004] （1）将PDMS与交联剂混合，并将其涂覆在干净的硅片上，在90℃下退火一个小时，静置一段时间后，将固化的PDMS薄膜从硅片上剥离下来，并裁剪成1.5cmx1.5cm大小，在进行亲水性处理之后，采用化学沉淀法在PDMS基片表面上生成聚吡咯（PPy）膜，并通过使用真空蒸汽法使得PDMS基底与PPy膜之间的很好的粘附在一起。采用光蚀刻技术制作具有圆柱形阵列的硅薄片，并用磁控溅射的方法在圆柱阵列上镀一层100nm的金薄膜。最后将硅薄片与PDMS薄膜紧密贴合在一起，并在PPy膜的两端引出导线，完成传感器的制备。此传感器内部圆柱直径在6um到65um之间，灵敏度随着圆柱直径增大而增大，范围在0.03到17/kPa之间。在圆柱直径为20um时能测量2Pa的压力。

[0005] （2）分别将0.3mol/L的聚乙烯吡咯烷酮（PVP）,2mmol/L的NaCl溶液以及0.1mol/L的AgNO3溶液加入到乙二醇溶液中，并以200rpm的速度搅拌混合。之后将溶

液涂覆在带有聚四氟乙烯涂层的不锈钢高压锅中，加热到160℃并保持12个小时以确保银纳米线的生成。之后再室温下冷却一个小时，依次将银纳米线放入丙酮，乙醇以及去离子水溶液中进行离心处理。将得到的银纳米线加入到正丁基乙醇中。将PDMS溶液分别旋涂在有微结构和无微结构的玻璃上，放在65℃下加热两个小时。将固化的PDMS薄膜从玻璃上剥离，采用氧等离子处理使其表面具有亲水性。将PDMS薄膜放在加热板上加热到100℃，使用喷枪将银纳米线溶液分别喷涂在带有微结构和光滑的薄膜上，滞后将其置于120℃下退火4小时。然后采用层压的方法将两层带有银纳米线的薄膜夹着一层介电层，并从两侧引出导线完成传感器的制作。此方法制作的传感器具有1.1/kPa的灵敏度以及小于1秒的响应时间，可以测量1Pa左右的压力。

[0006] （3）用丙酮、异丙醇以及去离子水清洗1.2x1.2cm的硅片，将AZ1512光刻胶旋涂在清洗后硅片上，之后用氧等离子处理样品。将聚苯乙烯乳胶微球溶液滴涂在硅片上，堆叠出带有面心立方结构的聚苯乙烯珠子层。在聚苯乙烯珠子层溶液完全蒸发之后，将PDMS溶液旋涂在硅片上，然后在80℃下加热2.5小时。将样品浸入丙酮溶液中除去光刻胶层，使得PDMS薄膜从基底上脱离。再把PDMS薄膜浸在二甲基甲酰胺溶液中12小时，使得聚苯乙烯珠子完全溶解掉，从而制得具有多孔结构的PDMS薄膜。最后将带有多孔结构的PDMS薄膜夹在两层1cmx1.5cm的ITO/PET薄膜之间，完成传感器的制作。传感器的灵敏度最高可达0.63/kPa，最低可以测量2.42Pa的压力，并具有很高的稳定性。

[0007] （4）制作单壁碳纳米管（SWCNTs）溶液，将SWCNTs放进甲基吡咯烷酮中，浓缩到0.25mg/ml，然后以8000rpm速度离心30分钟，移除杂物。采用光蚀刻的方法制作具有金字塔凹槽的硅模具，将PDMS溶液涂抹在模具上，在150℃下处理15分钟，在PDMS固化后，将其与模具分离。为了将SWCNTs喷涂到PDMS薄膜上，先将PDMS薄膜加热到180℃，喷枪置于薄膜上方10cm,通过控制喷涂次数，控制其导电层的导电系数。最后将PET/ITO薄膜与PDMS薄膜紧紧贴合在一起，并在两块薄膜的两端引出导线，完成传感器的制作。这种方式制作的传感器可以测量7.3Pa的压力，十分的稳定，并且其透明度十分高。

[0008] 尽管上述的柔性传感器可以实现对外界压力的测量，可是还存在一些缺点。

[0009] 1. 基于圆柱形结构阵列的柔性压力传感器随着圆柱直径的增大，其测量的线性区间越小，限制了其应用大的范围。

[0010] 2. 采用喷涂金纳米线方式结合介电材料的柔性传感器的在施加大于500Pa的压力时，其灵敏度变得非常低并响应时间也在增加，只适合测量较小的压力。

[0011] 3. 基于多孔结构的柔性传感器虽然有较好的稳定性及较高的透明度，但是其灵敏度比较低，只有0.63/kPa，注定其应用不广。

[0012] 4. 基于喷涂单壁碳纳米管的柔性压力传感器，喷涂过程较难控制，容易出现碳纳米管分布不均等现象。

[0013] 综上，现有技术中的柔性压力传感器其测量范围、灵敏度和响应时间具有不足，测量效果欠佳。

发明概述

技术问题

[0014] 本发明旨在至少解决上述技术问题之一，提供了一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法，柔性压力传感器的测量效果佳。

问题的解决方案

技术解决方案

[0015] 本发明的技术方案是：一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，包括第一柔性基底、碳纳米管薄膜和第二柔性基底，所述碳纳米管薄膜设置于所述第一柔性基底和所述第二柔性基底之间，所述碳纳米管薄膜连接有引出电极；

[0016] 所述第一柔性基底的一面设置有第一微结构，所述第一微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第一凸起部，所述碳纳米管薄膜贴覆于所述第一柔性基底具有所述第一微结构的一面，所述第二柔性基底的一面设置有第二微结构，所述第二微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第二凸起部，所述第一凸起部与所述第二凸起部错位设置，且所述第二凸起部与所述碳纳米管薄膜相接触。

[0017] 可选地，所述第一凸起部呈半球状，且/或，所述第二凸起部呈半球状。

[0018] 可选地，可选地，所述第一柔性基底和第二柔性基底采用聚二甲基硅氧烷制成。

[0019] 可选地，贴覆于所述第一凸起部顶部处的所述碳纳米管薄膜与所述第二柔性基底的表面具有间隙。

[0020] 可选地，所述第二凸起部的顶部与所述碳纳米管薄膜具有间隙。

[0021] 可选地，所述第一凸起部的顶部朝向于两个相邻所述第二凸起部之间的平面；所述第二凸起部的顶部朝向于两个相邻所述第一凸起部之间的平面。

[0022] 本发明实施例还提供了一种柔性压力传感器的制造方法，用于制造上述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，包括以下步骤：

[0023] 制备一面具有第一微结构的第一柔性基底；

[0024] 制备一面具有第二微结构且呈半固化状的第二柔性基底；

[0025] 制备碳纳米管薄膜并将所述碳纳米管薄膜贴于所述第一柔性基底具有第一微结构的一面；

[0026] 将所述第二柔性基底具有第二微结构的一面朝向所述第一柔性基底贴有所述碳纳米管薄膜的一面，且使第一微结构中的第一凸起部与第二微结构中的第二凸起部错位，并将所述第一柔性基底和第二柔性基底贴合，使所述第二凸起部与所述碳纳米管薄膜相接触；

[0027] 于所述碳纳米管薄膜的两侧引出电极。

[0028] 可选地，制备所述第一柔性基底的步骤包括：

[0029] 采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构的硅晶片模具；

[0030] 以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具上并加热；

[0031] 混合溶液冷却固化形成所述第一柔性基底；

[0032] 将所述第一柔性基底自所述硅晶片模具上脱离。

[0033] 可选地，制备所述碳纳米管薄膜包括以下步骤：

[0034] 以3：1的比例混合氯化氢与过氧化氢溶液，在氯化氢与过氧化氢混合溶液中加入碳纳米管粉末，之后置于60℃下加热4小时，再加入到二甲基甲酰胺溶液中进行抽真空渗漏，得到一层附着在渗漏膜上的碳纳米管膜；

[0035] 将渗漏膜以斜插入去离子水中，在所述碳纳米管膜上分离下一层50nm厚的碳纳米管薄膜；

[0036] 风干在去离子水上取出的所述碳纳米管薄膜。

[0037] 可选地，制备所述第二柔性基底的步骤包括：

[0038] 采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构的硅晶片模具；

[0039] 以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具上并加热并冷却，将所述硅晶片模具上半固化状的PDMS薄膜分离得到第二柔性基底。

发明的有益效果

有益效果

[0040] 本发明所提供的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器及其制造方法，采用交错式的半球形内部结构，结合碳纳米管的高导电性，大大提高了传感器的线性测量范围以及灵敏度，简易的制作方法使得柔性传感器的制作更为稳定可靠，并且降低了制作成本，提高了制作的效率，高透明度和高灵敏度等特性使其应用范围更加广泛，且改善了柔性压力传感器的各项性能参数，如：测量范围，灵敏度和响应时间等，能够完全贴合三维复杂静/动态表面的同时完成接触压力的测量，且稳定性、精度、准确度和可靠性高，还具有响应时间短、适用范围广、使用寿命长等优点。

对附图的简要说明

附图说明

[0041] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0042] 图1是本发明实施例提供的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器的局部剖面示意图；

[0043] 图2是本发明实施例提供的一种柔性压力传感器的制造方法中硅晶片模具的剖面示意图；

[0044] 图3是本发明实施例提供的一种柔性压力传感器的制造方法中硅晶片模具的平面示意图；

[0045] 图4是本发明实施例提供的一种柔性压力传感器的制造方法中的流程参考示意示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

[0046] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。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。

[0047] 需要说明的是，术语“设置”、“连接”应做广义理解，例如，可以是直接设置、连接，也可以通过居中元部件、居中结构间接设置、连接。

[0048] 另外，本发明实施例中若有“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”“内”、“外”等指示的方位或位置关系的用语，其为基于附图所示的方位或位置关系或常规放置状态或使用状态，其仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的结构、特征、装置或元件必须具有特定的方位或位置关系、也不是必须以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。在本发明的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

[0049] 在具体实施方式中所描述的各个具体技术特征和各实施例，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合，例如通过不同的具体技术特征/实施例的组合可以形成不同的实施方式，为了避免不必要的重复，本发明中各个具体技术特征/实施例的各种可能的组合方式不再另行说明。

[0050] 如图1所示，本发明实施例提供的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，包括第一柔性基底10、第二柔性基底20和碳纳米管薄膜30，第一柔性基底10和第二柔性基底20可以采用相同的材料制成，其粘结封装性能佳，本实施例中，第一柔性基底10和第二柔性基底20均采用具有高透明度、柔性和拉伸性好以及生物相容性好等优点的聚二甲基硅氧烷（即：Polydimethylsiloxane，简称PDMS）作为柔性基底材料。所述碳纳米管薄膜30设置于所述第一柔性基底10和所述第二柔性基底20之间，所述碳纳米管薄膜30连接有引出电极（图中未示出），电极可以成对设置且分别设置于碳纳米管薄膜30的两侧；第一柔性基底10和所

述第二柔性基底20将碳纳米管薄膜30封装于第一柔性基底10和所述第二柔性基底20之间。碳纳米管又名巴基管，是一种径向尺寸为纳米量级，轴向尺寸为微米量级，管子两端封口或基本封口的一维量子材料。碳纳米管主要由呈六边形排列的碳原子构成数层到数十层的同轴圆管。层与层之间保持固定的距离。碳纳米管具有良好的力学性能，CNTs抗拉强度达到50～200GPa,是钢的100倍,密度却只有钢的1/6，至少比常规石墨纤维高一个数量级；它的弹性模量可达1TPa，与金刚石的弹性模量相当，约为钢的5倍。对于具有理想结构的单层壁的碳纳米管，其抗拉强度约800GPa。所述第一柔性基底10的一面设置有第一微结构，所述第一微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第一凸起部11，即第一凸起部11外表面的至少部分呈球冠状或呈球带状。所述碳纳米管薄膜30贴覆于所述第一柔性基底10具有所述第一微结构的一面，所述第二柔性基底20的一面设置有第二微结构，所述第二微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第二凸起部21，即第二凸起部21外表面的至少部分呈球冠状或呈球带状。各第一凸起部11、第二凸起部21可呈阵列状，例如沿长宽方向的阵列或沿径向、周向的阵列等，传感器的外形可呈多边形、圆形、异形等。碳纳米管薄膜30整体贴合于第一柔性基底10具有第一凸起部11的一面，碳纳米管薄膜30贴覆于第一柔性基底10具有第一凸起部11的一面，即碳纳米管薄膜30完全贴合于第一凸起部11的外表面，对应于非第一凸起部11区域处，碳纳米管薄膜30贴于第一柔性基底10的表面。即碳纳米管薄膜30包括贴合于第一凸起部11的第一贴合部分31和贴合于第一柔性基底10平面的第二贴合部分32。第一贴合部分31相应地呈球冠状或呈球带状，第二贴合部分32呈平面状。所述第一凸起部11与所述第二凸起部21错位设置，且所述第二凸起部21的侧面与所述碳纳米管薄膜30相接触。所述第一凸起部11与所述第二凸起部21错位设置，即第一凸起部11所对应的中轴线指向于第二柔性基底20中非第二凸起部21的区域，第二凸起部21所对应的中轴线指向于第一柔性基底10中非第一凸起部11的区域。第二凸起部21的侧面可与碳纳米管薄膜30的第一贴合部分31（球面或球带状）相切接触。本实施例中，以半球状的第一凸起部11和第二凸起部21为例，半球状的第一凸起部11和第二凸起部21，其易于成型且表面积大。当对传感器施加一定压力时，半球形

微结构阵列发生变形，改变内部薄膜（碳纳米管薄膜30）的接触面积，传感器的电阻发生变化，传感器的电阻与施加的压力有着一定的线性关系，通过测量电阻的变化就可以判断施加的压力，且第一凸起部11和第二凸起部21交错设置且均与碳纳米管薄膜30相接，何意方向且较小的变形量均可以使碳纳米管薄膜30的接触面积变化，从而实现了压力的测量功能，具有测量范围广、灵敏度高和响应时间短等优点，测量效果佳。

[0051] 具体应用中，第一凸起部11、第二凸起部21的形状和大小可以相同。第一凸起部11、第二凸起部21的形状和大小也可以不同，且碳纳米管薄膜30覆盖式贴合于第一凸起部11后与第二凸起部21的形状和大小相同。

[0052] 本实施例中，所述第一凸起部11呈半球状（即切面为直径面的球缺），且/或，所述第二凸起部21呈半球状（即切面为直径面的球缺）。当然，第一凸起部11、第二凸起部21的形状也可以呈其它结构，例如下端为圆柱形，上端为半球形（球冠状）等。使第一凸起部11、第二凸起部21具有更高的高度。

[0053] 本实施例中，所述第一柔性基底10和第二柔性基底20采用聚二甲基硅氧烷（PDMS）制成。

[0054] 具体地，贴覆于所述第一凸起部11顶部处的所述碳纳米管薄膜30与所述第二柔性基底20的表面（非第二凸起部21区域）具有间隙，使其具有一定的形变空间，利于进一步提高测量精度。

[0055] 具体地，所述第二凸起部21的顶部与所述碳纳米管薄膜30（第二凸起部21中轴线方向的碳纳米管薄膜30，即碳纳米管薄膜30贴于非第一凸起部11区域的第二贴合部分32）具有间隙，利于进一步提高测量精度。

[0056] 本实施例中，所述第一凸起部11的顶部朝向于两个相邻所述第二凸起部21之间的平面；所述第二凸起部21的顶部朝向于两个相邻所述第一凸起部11之间的平面，即除了边缘区域的第一凸起部11、第二凸起部21，相邻的第一凸起部11相对于相应的第二凸起部21的中轴线对称，相邻的第二凸起部21相对于相应的第一凸起部11的中轴线对称。

[0057] 具体应用中，柔性压力传感器两侧的电极可连接有电压测量模块，电压测量模块可连接有电源模块。

[0058] 本发明实施例所提供的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，采用交错式的半球形内部结构，结合碳纳米管的高导电性，大大提高了传感器的线性测量范围以及灵敏度，简易的制作方法使得柔性传感器的制作更为稳定可靠，并且降低了制作成本，提高了制作的效率，高透明度和高灵敏度等特性使其应用范围更加广泛，且改善了柔性压力传感器的各项性能参数，如：测量范围，灵敏度和响应时间等，能够完全贴合三维复杂静/动态表面的同时完成接触压力的测量，且稳定性、精度、准确度和可靠性高，还具有响应时间短、适用范围广、使用寿命长等优点。

[0059] 本发明还提供了一种柔性压力传感器的制造方法，用于制造上述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，参考图1至图4，包括以下步骤：

[0060] 制备一面具有第一微结构的第一柔性基底10；

[0061] 制备一面具有第二微结构且呈半固化状的第二柔性基底20；

[0062] 制备碳纳米管薄膜30并将所述碳纳米管薄膜30贴于所述第一柔性基底10具有第一微结构的一面；

[0063] 将所述第二柔性基底20具有第二微结构的一面朝向所述第一柔性基底10贴有所述碳纳米管薄膜30的一面，且使第一微结构中的第一凸起部11与第二微结构中的第二凸起部21错位，并将所述第一柔性基底10和第二柔性基底20贴合，使所述第二凸起部21与所述碳纳米管薄膜30相接触；

[0064] 于所述碳纳米管薄膜30的两侧引出电极。

[0065] 第一凸起部11和第二凸起部21可呈半球状。

[0066] 具体地，制备所述第一柔性基底10的步骤包括：

[0067] 采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构41的硅晶片模具40；

[0068] 以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具40上并加热；

[0069] 混合溶液冷却固化形成所述第一柔性基底10；

[0070] 将所述第一柔性基底10自所述硅晶片模具40上脱离。

[0071] 具体地，制备所述碳纳米管薄膜30包括以下步骤：

[0072] 以3：1的比例混合氯化氢与过氧化氢溶液，在氯化氢与过氧化氢混合溶液中加

入碳纳米管粉末，之后置于60℃下加热4小时，再加入到二甲基甲酰胺溶液中进行抽真空渗漏，得到一层附着在渗漏膜上的碳纳米管膜；

[0073] 将渗漏膜以斜插入去离子水中，在所述碳纳米管膜上分离下一层50nm厚的碳纳米管薄膜30；

[0074] 风干在去离子水上取出的所述碳纳米管薄膜30。

[0075] 具体地，制备所述第二柔性基底20的步骤包括：

[0076] 采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构的硅晶片模具；

[0077] 以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具上并加热并冷却，将所述硅晶片模具上半固化状的PDMS薄膜分离得到第二柔性基底20。

[0078] 具体应用中，详细的制备过程可以参考如下，流程图可如图4所示：

[0079] 第一步：采用光蚀刻技术制作出具有半球形凹槽结构的硅晶片模具。

[0080] 第二步：以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷（PDMS）与交联剂混合且搅拌15分钟得到混合溶液，然后将混合溶液旋涂在具有半球形凹槽结构的硅晶片模具上并在90℃下加热50分钟。

[0081] 第三步：将上述得到的混合溶液在室温下冷却，固化之后，从硅片上将具有半球形微结构的PDMS薄膜分离出来，得到第一柔性基底10。

[0082] 第四步：以3：1的比例（体积比）混合氯化氢与过氧化氢溶液，在混合溶液中加入3至8克（例如5克）碳纳米管粉末，之后置于50℃至 75℃(例如60℃)下加热1至6（例如4小时）小时。

[0083] 第五部：将处理后的碳纳米管加入到二甲基甲酰胺溶液中抽真空渗漏，最后得到一层附着在渗漏膜上的碳纳米管薄膜30。

[0084] 第六步：将渗漏膜以45度倾角斜插入去离子水中，在200-300微米厚的碳纳米管薄膜上分离下一层10 nm至70 nm（例如50纳米）厚的碳纳米管薄膜。

[0085] 第七步：用氮气流风干在去离子水上取出的碳纳米管薄膜。

[0086] 第八步：将碳纳米管薄膜与具有半球形微结构的PDMS薄膜（第一柔性基底10）贴合，并在200-210℃下加热20至60分钟（例如35分钟）。

[0087] 第九步：采用第二步制作好的混合溶液（PDMS溶液）涂覆在具有半球形凹槽

结构的模具（硅晶片模具）上，在90℃下加热半个小时，之后将溶液温度置于室温下冷却，将硅片上的半固化的PDMS薄膜分离出来，即得到半固化状的第二柔性基底20。

[0088] 第十步：将带有碳纳米管薄膜的第一柔性基底10与半固化的第二柔性基底20粘合，90℃下加热30分钟，进行紧密的粘合（如图1）。

[0089] 第十一步：在中间层的碳纳米薄膜（碳纳米管薄膜）两侧引出电极，完成柔性压力传感器的制作。

[0090] 本发明实施例所提供的一种柔性压力传感器的制造方法，先制备具有半球形凹槽结构的硅晶片模具，将PDMS溶液倒入硅晶片模具中，制作出具有半球形微结构的PDMS基底，然后制备碳纳米管薄膜，并将带有碳纳米管的薄膜与带半球形结构的PDMS薄膜贴合上，同样的方法制作一层半固化的半球形微结构PDMS薄膜，将半固化的PDMS薄膜和带有碳纳米管薄膜的PDMS薄膜紧紧贴合上，在碳纳米管薄膜两侧引出电极，完成柔性传感器的制备过程。制得的柔性传感器，解决了现有技术中的柔性传感器在灵敏度不高、测量范围小、滞后现象较大以及容易受到外部环境噪声的干扰等问题，且为了解决传感器的穿戴舒适性问题，本发明实施例中，采用具有高透明度、柔性和拉伸性好以及生物相容性好等优点的聚二甲基硅氧烷（PDMS）作为柔性基底材料，为了改善柔性传感器的灵敏度和测量范围，采用导电系数高、透明度好以及比表面积大的碳纳米管作为传感单元并结合半球形的微结构，改善了柔性传感器内部的结构设计以及简化了制备工艺，可以应用于机器人、可穿戴电子设备、人机交互、智能蒙皮等领域，能够完全贴合三维复杂静/动态表面的同时完成接触压力的测量，且响应时间短，稳定性、精度、准确度和可靠性高，应用效果佳。

[0091] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换或改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

[权利要求 1] 一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，包括第一柔性基底、碳纳米管薄膜和第二柔性基底，所述碳纳米管薄膜设置于所述第一柔性基底和所述第二柔性基底之间，所述碳纳米管薄膜连接有引出电极；

所述第一柔性基底的一面设置有第一微结构，所述第一微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第一凸起部，所述碳纳米管薄膜贴覆于所述第一柔性基底具有所述第一微结构的一面，所述第二柔性基底的一面设置有第二微结构，所述第二微结构包括多个呈球冠凸起状或呈球带凸起状的第二凸起部，所述第一凸起部与所述第二凸起部错位设置，且所述第二凸起部与所述碳纳米管薄膜相接触。

[权利要求 2] 如权利要求1所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，所述第一凸起部呈半球状，且/或，所述第二凸起部呈半球状。

[权利要求 3] 如权利要求1所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，所述第一柔性基底和第二柔性基底采用聚二甲基硅氧烷制成。

[权利要求 4] 如权利要求1至3中任一项所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，贴覆于所述第一凸起部顶部处的所述碳纳米管薄膜与所述第二柔性基底的表面具有间隙。

[权利要求 5] 如权利要求1所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，所述第二凸起部的顶部与所述碳纳米管薄膜具有间隙。

6. 如权利要求1所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，其特征在于，所述第一凸起部的顶部朝向于两个相邻所述第二凸起部之间的平面；所述第二凸起部的顶部朝向于两个相邻所述第一凸起部之间的平面。

[权利要求 7] 一种柔性压力传感器的制造方法，其特征在于，用于制造如权利要求1至6中任一项所述的一种具有交错式微结构的柔性压力传感器，包括

以下步骤：

制备一面具有第一微结构的第一柔性基底；

制备一面具有第二微结构且呈半固化状的第二柔性基底；

制备碳纳米管薄膜并将所述碳纳米管薄膜贴于所述第一柔性基底具有第一微结构的一面；

将所述第二柔性基底具有第二微结构的一面朝向所述第一柔性基底贴有所述碳纳米管薄膜的一面，且使第一微结构中的第一凸起部与第二微结构中的第二凸起部错位，并将所述第一柔性基底和第二柔性基底贴合，使所述第二凸起部与所述碳纳米管薄膜相接触；

于所述碳纳米管薄膜的两侧引出电极。

[权利要求 8] 如权利要求7所述的一种柔性压力传感器的制造方法，其特征在于，

制备所述第一柔性基底的步骤包括：

采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构的硅晶片模具；

以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具上并加热；

混合溶液冷却固化形成所述第一柔性基底；

将所述第一柔性基底自所述硅晶片模具上脱离。

[权利要求 9] 如权利要求7所述的一种柔性压力传感器的制造方法，其特征在于，

制备所述碳纳米管薄膜包括以下步骤：

以3：1的比例混合氯化氢与过氧化氢溶液，在氯化氢与过氧化氢混合溶液中加入碳纳米管粉末，之后置于60℃下加热4小时，再加入到二甲基甲酰胺溶液中进行抽真空渗漏，得到一层附着在渗漏膜上的碳纳米管膜；

将渗漏膜以斜插入去离子水中，在所述碳纳米管膜上分离下一层50nm厚的碳纳米管薄膜；

风干在去离子水上取出的所述碳纳米管薄膜。

[权利要求 10] 如权利要求7所述的一种柔性压力传感器的制造方法，其特征在于，

制备所述第二柔性基底的步骤包括：

采用光蚀刻技术制作出具有多个半球形凹槽结构的硅晶片模具；

以10:1的重量比将聚二甲基硅氧烷与交联剂混合且搅拌得到混合溶液，然后将所述混合溶液旋涂于所述硅晶片模具上并加热并冷却，将所述硅晶片模具上半固化状的PDMS薄膜分离得到第二柔性基底。

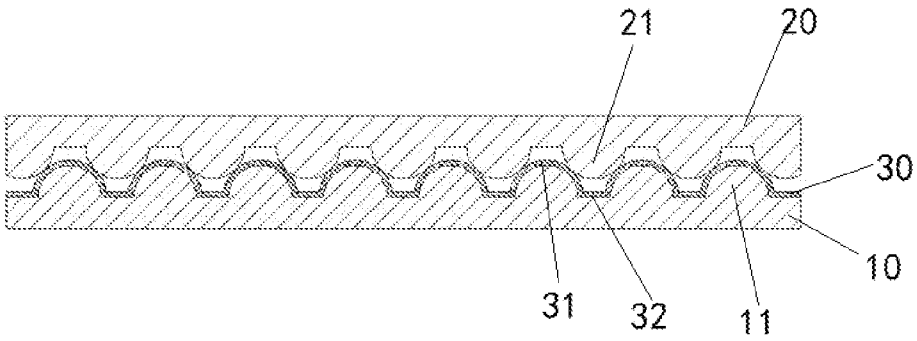

图 1

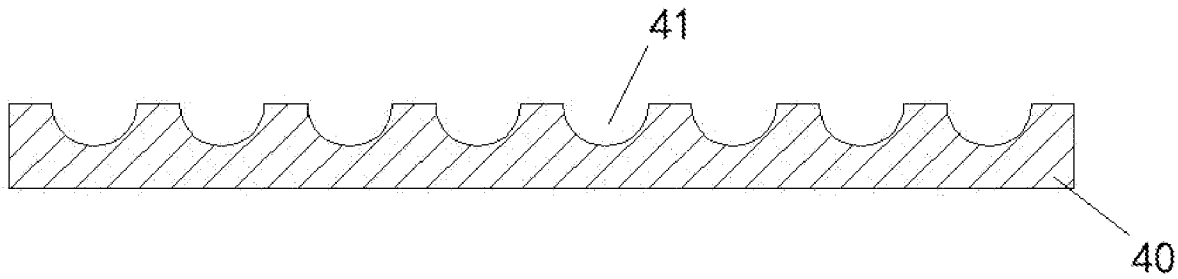

图 2

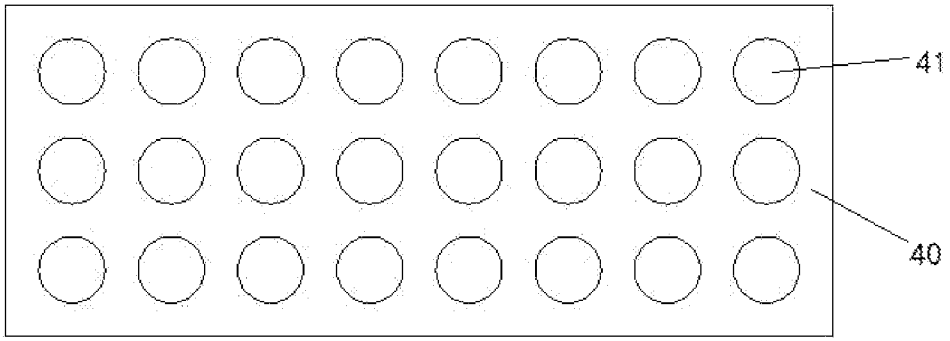
41
40

图 3

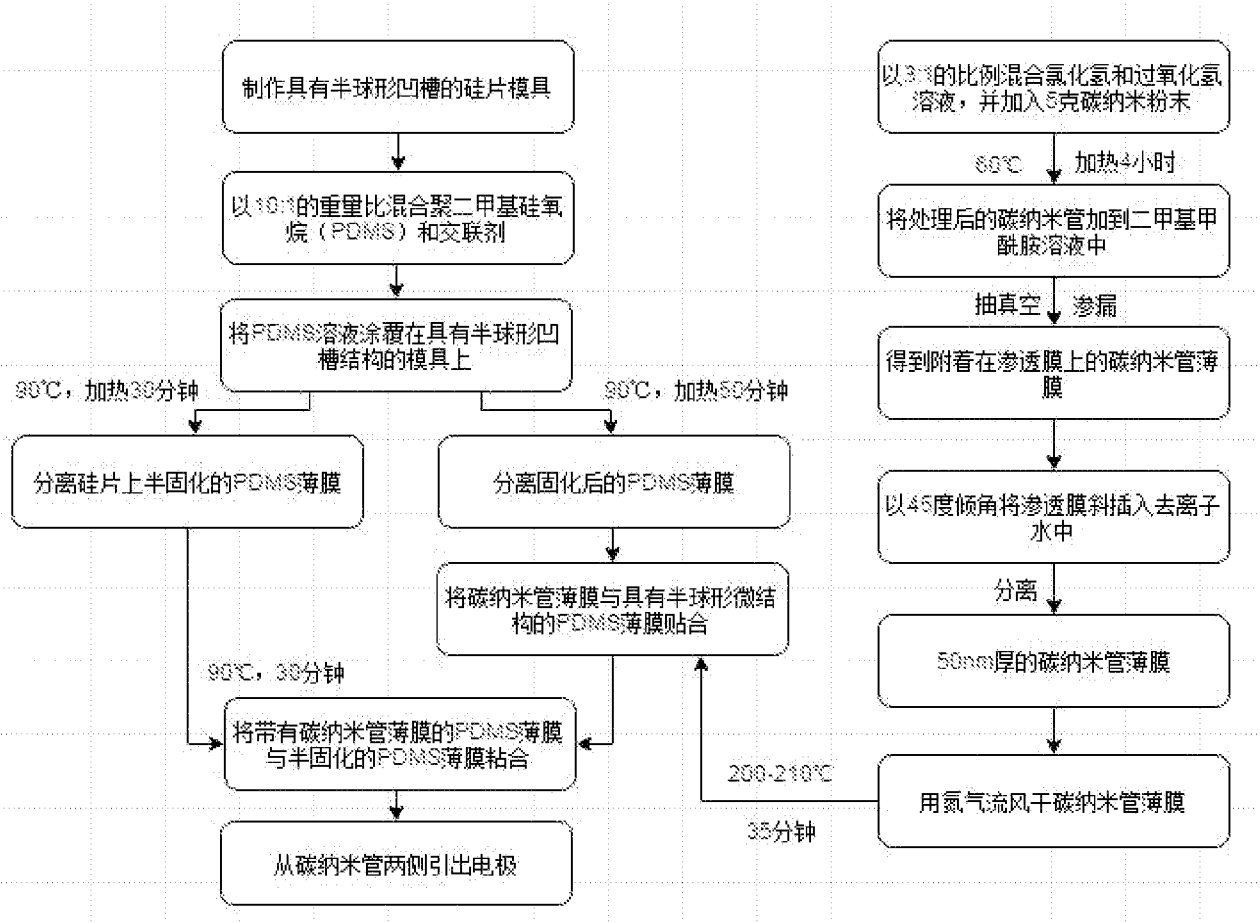
制作具有半球形凹槽的硅片模具
以10:1的重量比混合聚二甲基硅氧烷（PDMS）和交联剂
将PDMS溶液涂覆在具有半球形凹槽结构的模具上
90℃，加热30分钟
90℃，加热50分钟
分离硅片上半固化的PDMS薄膜
分离固化后的PDMS薄膜
将碳纳米管薄膜与具有半球形微结构的PDMS薄膜贴合
90℃，30分钟
将带有碳纳米管薄膜的PDMS薄膜与半固化的PDMS薄膜粘合
从碳纳米管两侧引出电极
以3:1的比例混合氯化氢和过氧化氢溶液，并加入5克碳纳米粉末
60℃
加热4小时
将处理后的碳纳米管加到二甲基甲酰胺溶液中
抽真空
渗漏
得到附着在渗透膜上的碳纳米管薄膜
以45度倾角将渗透膜斜插入去离子水中
分离
50nm厚的碳纳米管薄膜
200-210℃
35分钟
用氮气流风干碳纳米管薄膜

图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/104236

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L 1/18(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01L

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)

CNABS; CNTXT; VEN; WOTXT; EPTXT; USTXT; CNKI; IEEE: 压阻, 传感器, 三明治, 微结构, 圆, 错位, 啮合, 碳纳米管, piezoresistance, sensor?, micor+, engag+, CNT, PDMS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 108225625 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 29 June 2018 (2018-06-29) description, paragraphs [0038]-[0056], and figures 1-4	1-10
Y	Jonghwa PARK et al. "Tactile-direction-sensitive and Stretchable Electronic Skins Based on Human-skin-inspired Interlocked Microstructures" *ACS NANO,* Vol. 8, No. 12, 12 November 2014 (2014-11-12), ISSN: 1936-0851, page 12021, right column, paragraph 1 to page 12022, right column, paragraph 2, and figures 1 and 2	1-10
A	CN 106370327 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 01 February 2017 (2017-02-01) entire document	1-10
A	CN 106197774 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 07 December 2016 (2016-12-07) entire document	1-10

☐ 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
30 November 2018	**12 December 2018**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/104236

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 108225625 A	29 June 2018	None	
CN 106370327 A	01 February 2017	None	
CN 106197774 A	07 December 2016	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2018/104236

A. 主题的分类

G01L 1/18(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)

G01L

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））

CNABS;CNTXT;VEN;WOTXT;EPTXT;USTXT;CNKI;IEEE:压阻，传感器，三明治，微结构，圆，错位，啮合，碳纳米管，piezoresistance，sensor?，micor+，engag+，CNT，PDMS

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
Y	CN 108225625 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2018年 6月 29日 (2018-06-29) 说明书第[0038]-[0056]段，附图1-4	1-10
Y	Jonghwa PARK 等. "Tactile-direction-sensitive and stretchable electronic skins based on human-skin-inspired interlocked microstructures" ACS NANO, 第8卷，第12期，2014年 11月 12日 (2014-11-12), ISSN：1936-0851, 12021页右栏第1段-12022页右栏第2段，附图1和2	1-10
A	CN 106370327 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2017年 2月 1日 (2017-02-01) 全文	1-10
A	CN 106197774 A (上海交通大学) 2016年 12月 7日 (2016-12-07) 全文	1-10

☐ 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
2018年 11月 30日	2018年 12月 12日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(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 颜彦 电话号码 86-（0512）-88997267

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/104236

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 108225625 A	2018年 6月 29日	无	
CN 106370327 A	2017年 2月 1日	无	
CN 106197774 A	2016年 12月 7日	无	