

(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 9 月 24 日 (24.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/186665 A1

(51) 国际专利分类号:
H02N 3/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/095690

(22) 国际申请日: 2019 年 7 月 12 日 (12.07.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910208877.2 2019 年 3 月 19 日 (19.03.2019) CN

(71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(72) 发明人: 繆向水(MIAO, Xiangshui); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。何毓辉(HE, Yuhui); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。黄卓(HUANG, Zhuo); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。张艳(ZHANG, Yan); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。张盼(ZHANG, Pan); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340 室, Hubei 430074 (CN)。

(54) **Title:** SALT CONCENTRATION GRADIENT-DRIVEN NANO-SCALE FLUIDIC POWER GENERATION DEVICE, AND MANUFACTURING METHOD AND APPLICATION THEREOF

(54) 发明名称: 一种盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置及其制备与应用

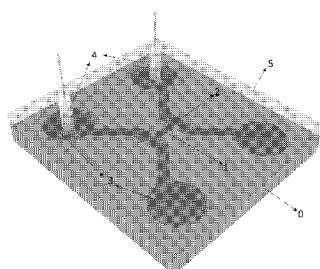


图 1

(57) **Abstract:** A salt concentration gradient-driven nano-scale fluidic power generation device, and a manufacturing method and application thereof. The nano-scale fluidic power generation device comprises a nano-channel (1), and a first liquid channel (2) and a second liquid channel (2) respectively located at two ends of the nano-channel (1) and communicated with the nano-channel (1), wherein the first liquid channel (2) is used to accommodate a first liquid, the second liquid channel (2) is used to accommodate a second liquid, and the nano-channel (1) is used to convert chemical potential energy into electrical energy by means of a salt concentration difference between the first liquid and the second liquid, and to output the electrical energy in cooperation with a first electrode (4) and a second electrode (4). A specific energy conversion principle, in which chemical potential energy is converted into electrical energy by means of a salt concentration difference, is employed to achieve improvements in a critical nano-channel (1) in a nano-scale fluidic power generation device and other structures cooperating with the nano-channel (1), thereby achieving power generation driven by a salt concentration gradient, and especially achieving power generation by means of salt concentrations of seawater and fresh water.

(57) **摘要:** 一种盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置及其制备与应用, 该纳流体发电装置包括纳米沟道 (1), 以及分别位于该纳米沟道 (1) 两端、且与该纳米沟道 (1) 相连通的第一液体沟道 (2) 与第二液体沟道 (2); 其中, 第一液体沟道 (2) 用于容纳第一液体; 第二液体沟道 (2) 用于容纳第二液体; 纳米沟道 (1) 用于利用第一液体与第二液体两者之间的盐浓度差异将化学势能转化为电能, 并通过第一电极 (4) 与第二电极 (4) 配合输出电能。基于将盐浓度差异的化学势能转化为电能的具体能量转换原理, 通过对纳流体发电装置内关键的纳米沟道 (1) 以及与该纳米沟道 (1) 配合作用的其他结构进行改进, 可实现利用盐浓度梯度驱动发电, 尤其可利用海水-淡水盐浓度实现发电。

(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, 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))。

一种盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置及其制备与应用

【技术领域】

本发明属于纳流控发电机领域，更具体地，涉及一种盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置及其制备与应用，例如海水-淡水盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置，具体通过微纳工艺制备出纳米级深度、宽度、长度的沟道，并通过在储液池施加盐浓度进行发电。

【背景技术】

纳米沟道是指至少有一维尺寸在纳米级的微小沟道，其在纳流体研究领域具有许多优势。由于与流体接触后的固液反应，纳米沟道壁面会带电（以 SiO_2 为例：带负电），而纳米沟道的尺寸在纳米级，由于表面效应导致的离子选择性强，因而可以用以收集浓度差中的化学势能转化成电能。由于纳米沟道的制备是平面刻蚀，具备大规模制备的条件，且与 CMOS 兼容，外部电路并接容易，可广泛应用于微纳设备自供电，如纳米机电系统、微型传感器、可穿戴柔性电子设备等等。这类新兴的纳米尺度器件与设备通常是在极低的工作电压与极低的功耗下工作，与之匹配的就要求纳米尺度的发电装置-纳流体发电装置。

目前纳流体发电装置主要存在着下面的缺陷：1. 利用有机薄膜刻蚀的纳米孔可以得到高达 $2.6 \times 10^3 \text{W/m}^2$ 的功率密度，但是处在电解质中薄膜有膨胀和收缩的问题，影响器件稳定性。2. 基于标准的半导体制造工艺制备的与 CMOS 兼容的纳米沟道发电装置的输出功率密度仅有 7.7W/m^2 。

【发明内容】

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明的目的在于提供一种盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置及其制备与应用，基于将盐浓度差异的化学势能转化为电能的具体能量转换原理，通过对纳流体发电装置内关键的

纳米沟道（尤其是纳米沟道的具体形貌等）以及与该纳米沟道配合作用的其他结构（如第一液体沟道与第二液体沟道）进行改进，可实现利用盐浓度梯度驱动发电，尤其可利用海水-淡水盐浓度实现发电；并且，本发明还通过对制备方法所对应的整体工艺流程设计进行改进，并对器件参数（如纳米沟道的深度、宽度、长度，尤其是纳米沟道的深度、长度）进行优选控制，可实现高精度控制的纳米沟道等结构以及发电的高性能，工艺手段对装置样本的损伤小、污染小、制备效率高。

为实现上述目的，按照本发明的一个方面，提供了一种纳流体发电装置，其特征在于，包括纳米沟道、以及分别位于该纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道，所述纳米沟道、所述第一液体沟道与所述第二液体沟道均位于基底上，所述第一液体沟道与所述第二液体沟道两者通过该纳米沟道相连通；其中，

所述第一液体沟道用于容纳第一液体，并且与第一电极相连；

所述第二液体沟道用于容纳第二液体，并且与第二电极相连；

所述纳米沟道用于利用所述第一液体与所述第二液体两者之间的盐浓度差异将化学势能转化为电能，并通过所述第一电极与所述第二电极配合输出电能。

作为本发明的进一步优选，所述纳米沟道的深度为 1-100nm，宽度为 1-400nm，长度为 400-1000nm；优选的，所述深度为 1-40nm。

作为本发明的进一步优选，所述第一液体沟道具体包括第一微米沟道，以及通过该第一微米沟道相连的至少 2 个储液池；所述第一微米沟道的深度为 1-100um，宽度为 1-100um，长度为 1-3mm；

所述第二液体沟道具体包括第二微米沟道，以及通过该第二微米沟道相连的至少 2 个储液池；所述第二微米沟道的深度为 1-100um，宽度为 1-100um，长度为 1-3mm。

作为本发明的进一步优选，所述第一电极为 1 个，这个第一电极设置

在与所述第一微米沟道相连的一个储液池内；

所述第二电极为 1 个，这个第二电极设置在与所述第二微米沟道相连的一个储液池内。

作为本发明的进一步优选，所述储液池共计 4 个，分别位于所述基底上表面的四个角。

作为本发明的进一步优选，所述基底为 SiO_2 基底或者 Al_2O_3 基底。

按照本发明的另一方面，本发明提供了制备上述纳流体发电装置的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

(1) 在 SiO_2 基底上利用微纳电子工艺加工得到纳米沟道，该微纳电子工艺具体包括电子束曝光、显影、等离子体刻蚀、以及后显影；并且，在加工得到的纳米沟道的两端还分别留有至少 2 毫米的待加工区域，用于制备第一液体沟道与第二液体沟道；

(2) 利用紫外光刻机进行套刻制备分别位于纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道，具体操作为：旋涂负性光刻胶，然后在紫外光刻机中对纳米沟道进行对准，套刻曝光，接着使用对应显影液进行显影，等离子体刻蚀，以及后显影，从而完成纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道的制备以及配准；

(3) 对加工好纳米沟道、第一液体沟道与第二液体沟道的 SiO_2 基底进行 PDMS 封装，PDMS 通过氧等离子体处理与 SiO_2 基底键合。

作为本发明的进一步优选，所述步骤 (3) 中，具体是将在与储液池相对应的位置设置有小孔的 PDMS 板，通过氧等离子体处理激活，然后在显微镜下将该 PDMS 板对准密封在具有纳米通道、第一液体沟道与第二液体沟道的硅基底上，键合后完成纳流体芯片制备；键合后，PDMS 板上的小孔与硅基底上的储液池在硅基底表面所在平面上的投影相重合；

优选的，所述 PDMS 板的厚度为 $500\ \mu\text{m}$ ，小孔的直径为 2 mm。

作为本发明的进一步优选，所述制备方法还包括步骤：

(4) 向纳流体芯片的第一液体沟道和第二液体沟道内分别注入第一液体和第二液体，所述第一液体与所述第二液体两者之间具有盐浓度差异，并将第一电极与第一液体沟道相连，第二电极与第二液体沟道相连；

优选的，所述第一液体为海水，所述第二液体为淡水。

按照本发明的又一方面，本发明提供了上述纳流体发电装置的应用方法，其特征在于，该方法具体是向纳流体发电装置的第一液体沟道和第二液体沟道内分别注入第一液体和第二液体，纳米沟道利用所述第一液体与所述第二液体两者之间具有的盐浓度差异，将化学势能转化为电能，该电能通过第一电极与第二电极配合输出。

作为本发明的进一步优选，所述第一液体为海水，所述第二液体为淡水。

通过本发明所构思的以上技术方案，与现有技术相比，本发明制备的纳流体发电装置，使用标准微电子以及电子束曝光等工艺制备得到纳米沟道，接着再套刻制备纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道的制备以及配准腔室，制得装置的发电功率密度提高了两个量级。由于设计加工出宽度、深度和长度任意一项为纳米级的纳米沟道（尤其是深度为纳米级的纳米沟道；本发明中的纳米沟道其定义，与现有技术一致，只要有一个维度的尺寸在纳米级即可），该纳米沟道优选与带有储液池、微米沟道的第一/第二液体沟道相连。通过在沟道入口和出口的储液池注入不同浓度的盐溶液，由于化学势能可驱动沟道内离子运动，而由于纳米沟道的表面电荷导致更多的异性离子沟道形成净电流以及沟道两端的电压，进而可以利用净电流以及电压对外输出电能。

本发明通过将纳米沟道的形状参数优选控制为深度 1-100nm，宽度 1-400nm，长度为 400-1000nm（尤其是将深度控制为 1-100nm，更优选的控制为 1-40nm），能够取得更佳发电效果。并且，这一特定优选形状参数的纳米沟道，尤其适用于浓度之比大于等于 1000/1 的第一/第二液体。利用

该沟道本发明尤其可以实现对海水-淡水进行能量转化及特性测试。

并且，本发明还通过优选设计深度不同于纳米沟道的微米沟道，利用微米沟道连通储液池，能够防止 PDMS 在纳米沟道的塌陷。为了构建稳定的、防塌陷的纳米沟道器件（PDMS 软体材料，容易塌陷从而堵住纳米沟道），本发明设计了第一微米沟道和第二微米沟道（第一微米沟道和第二微米沟道可以分别位于纳米沟道两侧），并优选将第一微米沟道、第二微米沟道控制为深度为 1-100 μm ，宽度为 1-100 μm ，长度为 1-3mm，微米沟道所占面积小，旁边的基底可以支撑整体 PDMS 不塌陷，且微米沟道对纳米沟道的离子输运性能影响很小，非常适用。

近年来基于扫描电子显微镜（Scanning Electron Microscope, SEM）的电子束曝光（Electron Beam Lithography, EBL）技术成为纳米加工的有力工具。根据德布罗意的物质波理论，电子是一种波长极短的波。这样，电子束曝光的精度可以达到纳米量级，从而为制作纳米结构提供了很有用的工具。利用 EBL 的高精密度可以在样本上加工出多种形式的纳米凹槽、沟道等纳米结构。本发明还通过对制备方法所对应的整体工艺流程设计进行改进，与器件参数的改进进一步综合作用，可实现高精度控制的纳米沟道等结构以及发电的高性能，工艺手段对装置样本的损伤小、污染小、制备效率高。

具体说来，本发明具有以下有益效果：

- 1) 本发明中由盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置，其能量尤其可以来源于海水-淡水的化学势能差，是清洁、可再生的能源。
- 2) 通过在已优化长度的纳米沟道两端的储液池注入不同浓度的盐溶液，可以实现最高 705W/m² 的输出功率密度（当两端为 1M/1mM KCl 溶液时），这对微纳器件的供电来说意义重大。
- 3) 本纳流体装置与 CMOS 工艺兼容，外接电路简单，便于大规模集成。

【附图说明】

图 1 是本发明的纳流体发电装置的结构图。

图 2 中, a 是微纳工艺加工的微米沟道、纳米沟道的 SEM 扫描图, b 是纳米沟道部分的 SEM 扫描图。

图 3 是使用半导体测试仪 B1500A 测试本发明的发电性能的电流-电压特性图。

图 4 针对所制备的器件的发电性能测试图, 纳米沟道两边储液池的盐浓度比与 (a) 开路电压、(b) 短路电流、(b) 输出功率密度 (输出功率/纳米沟道横截面) 的关系图。该器件中纳米沟道长度为 715 nm, 宽度为 350 nm, 深度为 40 nm。高浓度端为 1Mol/L 的 KCl 溶液, 低浓度端依次从 10^{-4} Mol/L 调整到 1Mol/L 的 KCl 溶液。

图中各附图标记的含义如下: 0 为硅片, 1 为纳米沟道, 2 为微米沟道, 3 为储液池, 4 为 Ag/AgCl 参比电极, 5 为聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 板。

【具体实施方式】

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。此外, 下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

实施例 1

本发明中纳流体发电装置, 左右两端设置储液池, 左右两个储液池连有微米沟道连通, 所述两个微米沟道之间设置纳米沟道, 利用微纳电子工艺加工出连通微米沟道的纳米沟道。

该装置尤其是一种可利用海水-淡水盐浓度梯度驱动的纳流体发电装置。在装置的左边储液池施加海水, 右边储液池施加淡水, 由于纳米沟道的离子选择性, 更多的阳离子通过沟道产生电流。通过储液池的电极可检测装置的发电电压、电流。该纳流体发电装置可广泛应用于各类微纳装置

的供电。

该纳流体发电装置可以采用包括以下步骤的加工方法：

1) 纳米沟道的制备：如图 1 所示，设计加工出纳流体发电装置的纳米沟道 1，纳米沟道是在硅片 0 上由微纳电子工艺（Micro-nano electronic technology）加工完成，包括电子束曝光、显影、ICP 刻蚀，后显影，制备出深度为 1-40nm，宽度为 1-400nm，长度为 400-1000nm 的 SiO_2 沟道（市售商业硅片的上表面存在 SiO_2 层，当然也可以直接采用纯 SiO_2 基底替代硅片；以硅片为代表的 SiO_2 基底能够与 CMOS 工艺兼容，便于后续制备工艺处理）。所述纳米沟道两端留有 2 毫米待加工区域，用于制备微米沟道以及储液池；

单个储液池的形状参数可以采用如下设置：直径为 2mm 深度为 1mm 的圆柱；

2) 微米沟道与储液池的制备：利用紫外光刻机（MJB4）进行套刻制备纳米沟道两端的微米沟道 2 以及储液池 3 加工，具体操作为：旋涂负性光刻胶，然后用 MJB4 紫外光刻机中对纳米沟道进行对准，套刻曝光，接着使用专用显影液进行显影，完成纳米沟道两端的微米沟道的制备以及配准；装置四角的储液池的制备；

3) 装置的封装与注液：制备了一个带有 4 个直径为 2 mm 孔的 500 μm 厚的聚二甲基硅氧烷（PDMS）板 5，然后在显微镜下将 PDMS 对准密封在纳米通道芯片上（孔与储液池对准连接），完成纳流体芯片制备。然后向位于纳米沟道两端的两个孔分别注入海水与淡水，另外两个孔插入 Ag / AgCl 电极 4 向外输出电能（插入电极的两个孔中也可以分别对应注入有海水或淡水，便于测量、并减少噪声）。利用带有 4 个直径为 2 mm 孔的 500 μm 厚的聚二甲基硅氧烷（PDMS）板对 SiO_2 基底进行封装，可以降低电流测量过程中的噪声。

通过在装置的向位于纳米沟道两端的两个孔施加海水与淡水形成浓度差，更多的阳离子由于沟道的离子选择性通过纳米沟道时，产生净电流与

电压，向另外两个孔插入 Ag / AgCl 电极向外输出电能。

该纳流体发电装置的发电性能的测试方法：向位于纳米沟道两端的一个孔注入不同浓度的 KCl 溶液形成浓度差，同时在另外两个孔的电极上施加一个小电压并测量电流信号。当电流为零时，电极施加的电压为发电装置的发电电压，电极施加的电压为零时，测得的电流为发电装置的发电电流。电流-电压特性测试结果如图 3 所示。实际发电功率如图 4 所示，横坐标表示纳米沟道两边储液池的盐浓度比，纵坐标是输出功率密度（输出功率/纳米沟道横截面）。

除图 1 所示的储液池四角设置外（图 1 所示为在纳米沟道两侧采用微米沟道连通储液池），储液池的设置位置也可以灵活调整，例如，一个角两个、另一个角两个。除上述实施例中所描述的具体设置外，电极的数量也可以增加，例如与同一微米沟道相连的电极可以是多个，储液池的数量也可以相应增加；储液池的数量也可以单独增加，例如在微米沟道中间再增设储液池等。另外，除了不同溶液的 KCl 溶液、海水-淡水外，本发明也适用于其他具有盐浓度差异的溶液，如其他具有浓度差异的强酸强碱盐溶液等。另外，除了上述实施例中所采用的硅衬底（对应 SiO₂ 基底）外，本发明还可以采用氧化铝基底；本发明所采用的等离子体刻蚀，具体可以是感应耦合等离子体刻蚀（Inductively Coupled Plasma Etch, ICPE）。

本领域的技术人员容易理解，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、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种纳流体发电装置，其特征在于，包括纳米沟道、以及分别位于该纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道，所述纳米沟道、所述第一液体沟道与所述第二液体沟道均位于基底上，所述第一液体沟道与所述第二液体沟道两者通过该纳米沟道相连通；其中，

所述第一液体沟道用于容纳第一液体，并且与第一电极相连；

所述第二液体沟道用于容纳第二液体，并且与第二电极相连；

所述纳米沟道用于利用所述第一液体与所述第二液体两者之间的盐浓度差异将化学势能转化为电能，并通过所述第一电极与所述第二电极配合输出电能。

2、如权利要求1所述纳流体发电装置，其特征在于，所述纳米沟道的深度为1-100nm，宽度为1-400nm，长度为400-1000nm；优选的，所述深度为1-40nm。

3、如权利要求1所述纳流体发电装置，其特征在于，所述第一液体沟道具体包括第一微米沟道，以及通过该第一微米沟道相连的至少2个储液池；所述第一微米沟道的深度为1-100um，宽度为1-100um，长度为1-3mm；

所述第二液体沟道具体包括第二微米沟道，以及通过该第二微米沟道相连的至少2个储液池；所述第二微米沟道深度为1-100um，宽度为1-100um，长度为1-3mm。

4、如权利要求3所述纳流体发电装置，其特征在于，所述第一电极为1个，这个第一电极设置在与所述第一微米沟道相连的一个储液池内；

所述第二电极为1个，这个第二电极设置在与所述第二微米沟道相连的一个储液池内；

优选的，所述储液池共计4个，分别位于所述基底上表面的四个角。

5、如权利要求1所述纳流体发电装置，其特征在于，所述基底为SiO₂

基底或氧化铝基底。

6、制备如权利要求 1—5 任意一项所述纳流体发电装置的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

(1) 在 SiO_2 基底上利用微纳电子工艺加工得到纳米沟道，该微纳电子工艺具体包括电子束曝光、显影、等离子体刻蚀、以及后显影；并且，在加工得到的纳米沟道的两端还分别留有至少 2 毫米的待加工区域，用于制备第一液体沟道与第二液体沟道；

(2) 利用紫外光刻机进行套刻制备分别位于纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道，具体操作为：旋涂负性光刻胶，然后在紫外光刻机中对纳米沟道进行对准，套刻曝光，接着使用对应显影液进行显影，等离子体刻蚀，以及后显影，从而完成纳米沟道两端的第一液体沟道与第二液体沟道的制备以及配准；

(3) 对加工好纳米沟道、第一液体沟道与第二液体沟道的 SiO_2 基底进行 PDMS 封装，PDMS 通过氧等离子体处理与 SiO_2 基底键合。

7、如权利要求 6 所述制备方法，其特征在于，所述步骤 (3) 中，具体是将在与储液池相对应的位置设置有小孔的 PDMS 板，通过氧等离子体处理激活，然后在显微镜下将该 PDMS 板对准密封在具有纳米通道、第一液体沟道与第二液体沟道的硅基底上，键合后完成纳流体芯片制备；键合后，PDMS 板上的小孔与硅基底上的储液池在硅基底表面所在平面上的投影相重合；更优选的，所述 PDMS 板的厚度为 $500\ \mu\text{m}$ ，小孔的直径为 2 mm。

8、如权利要求 6 所述制备方法，其特征在于，所述制备方法还包括步骤：

(4) 向纳流体芯片的第一液体沟道和第二液体沟道内分别注入第一液体和第二液体，所述第一液体与所述第二液体两者之间具有盐浓度差异，并将第一电极与第一液体沟道相连，第二电极与第二液体沟道相连；

优选的，所述第一液体为海水，所述第二液体为淡水。

9、如权利要求 1—5 任意一项所述纳流体发电装置的应用方法，其特征在于，该方法具体是向纳流体发电装置的第一液体沟道和第二液体沟道内分别注入第一液体和第二液体，纳米沟道利用所述第一液体与所述第二液体两者之间具有的盐浓度差异，将化学势能转化为电能，该电能通过第一电极与第二电极配合输出。

10、如权利要求 9 所述应用方法，其特征在于，所述第一液体为海水，所述第二液体为淡水。

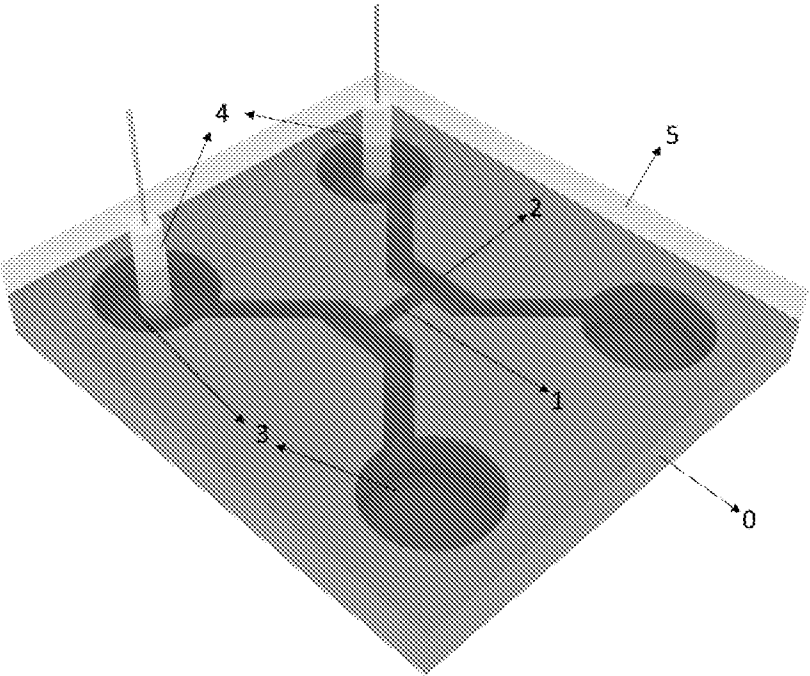


图 1

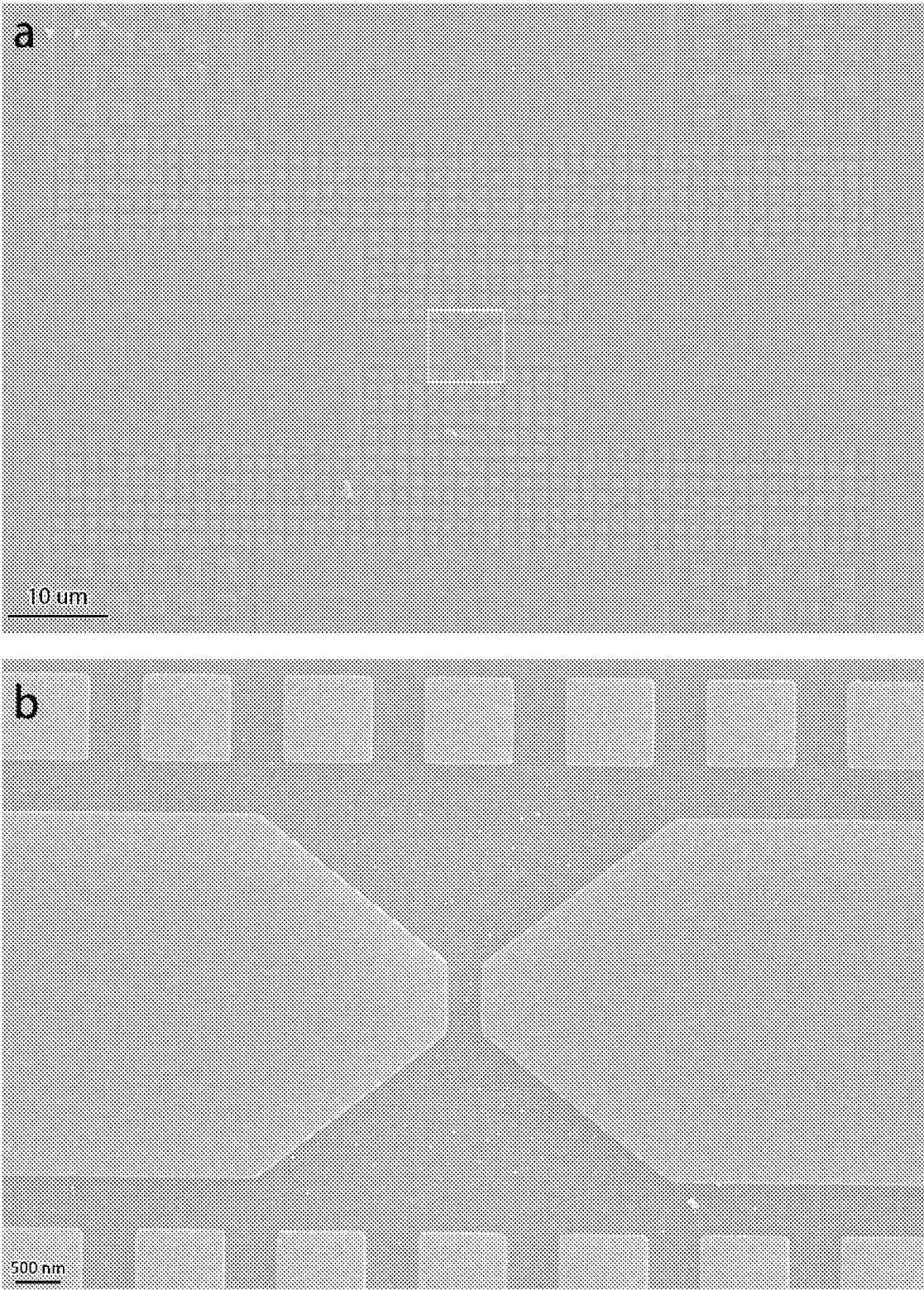


图 2

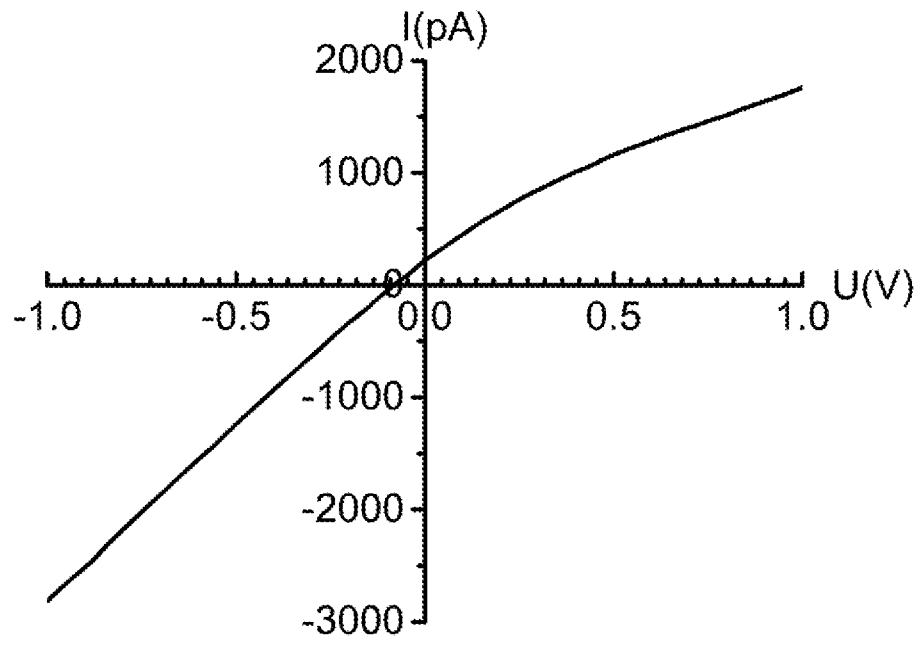


图 3

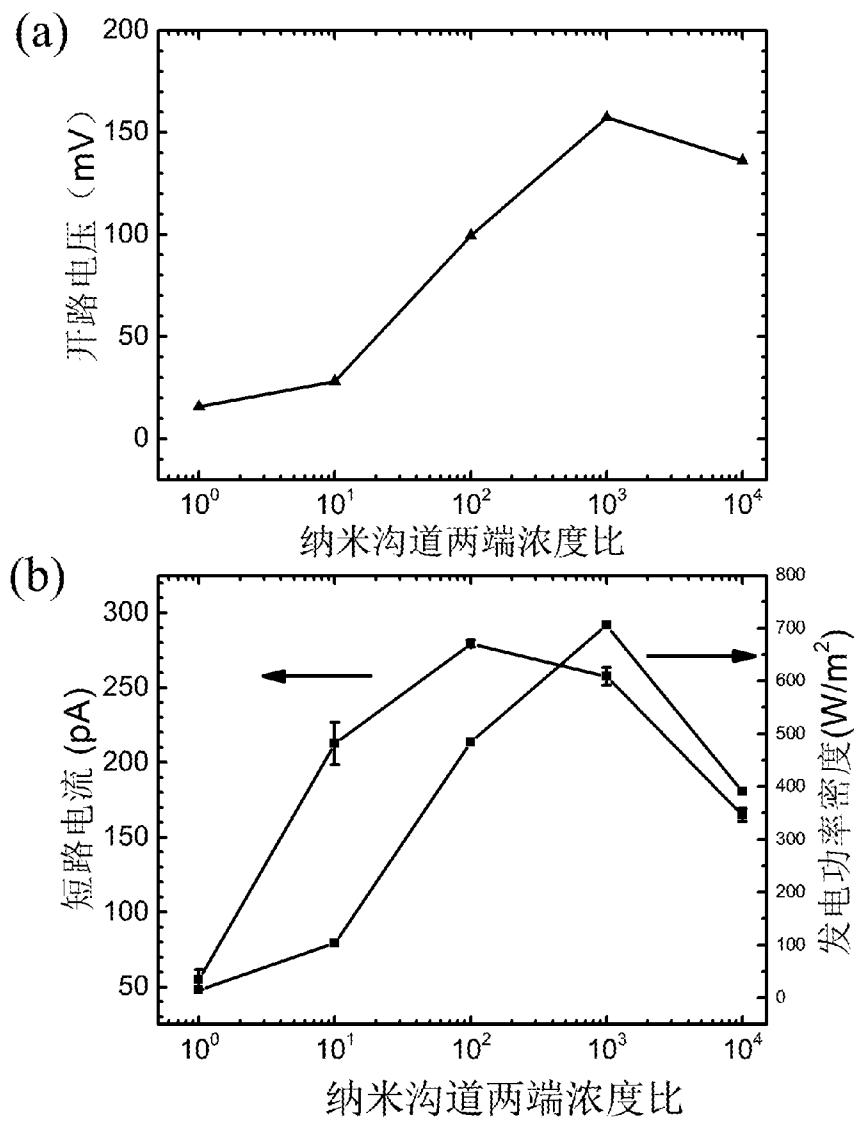


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/095690

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N 3/00(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02N

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)

EPODOC, WPI, CNKI, CNPAT, IEEE: 纳流, 沟道, 槽, 发电, 电能, 能量, 封装, 浓度, nanofluidic, channel, groove, trench, power, energy, package, concentration, PDMS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KIM, Dong-Kwon et al. "Power Generation from Concentration Gradient by Reverse Electrodialysis in Ion-selective Nanochannels" <i>Microfluid Nanofluid</i> , Vol. 9, No. 6, 04 June 2010 (2010-06-04), ISSN: 1613-4982, pp. 1215-1224	1, 3, 4, 9, 10
Y	KIM, Dong-Kwon et al. "Power Generation from Concentration Gradient by Reverse Electrodialysis in Ion-selective Nanochannels" <i>Microfluid Nanofluid</i> , Vol. 9, No. 6, 04 June 2010 (2010-06-04), ISSN: 1613-4982, pp. 1215-1224	2, 5-8
Y	CAO, Liuxuan et al. "Anomalous Channel-Length Dependence in Nanofluidic Osmotic Energy Conversion" <i>Advanced Functional Materials</i> , Vol. 27, No. 9, 03 March 2017 (2017-03-03), ISSN: 1616-3028, page 1604302	2
Y	CN 101635532 A (PEKING UNIVERSITY) 27 January 2010 (2010-01-27) description, pages 1-5, and figures 2 and 3	5-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 2019

Date of mailing of the international search report

18 December 2019

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

International application No.

PCT/CN2019/095690**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109995271 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 July 2019 (2019-07-09) description, paragraphs [0004]-[0051], and figures 1-4	1-10
A	US 2009242406 A1 (HAN, Jongyoon et al.) 01 October 2009 (2009-10-01) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/095690

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	101635532	A	27 January 2010	CN	101635532	B	20 April 2011
CN	109995271	A	09 July 2019	None			
US	2009242406	A1	01 October 2009	US	8440063	B2	14 May 2013
				US	9360403	B2	07 June 2016
				US	2013256134	A1	03 October 2013
				WO	2009120642	A1	01 October 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/095690

A. 主题的分类 H02N 3/00 (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) H02N 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)) EPDOC, WPI, CNKI, CNPAT, IEEE: 纳流, 沟道, 槽, 发电, 电能, 能量, 封装, 浓度, nanofluidic, channel, groove, trench, power, energy, package, concentration, PDMS														
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页</td> <td>1, 3-4, 9-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页</td> <td>2, 5-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CAO, Liuxuan 等. "Anomalous Channel-Length Dependence in Nanofluidic Osmotic Energy Conversion" ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, 第27卷, 第9期, 2017年 3月 3日 (2017 - 03 - 03), ISSN: 1616-3028, 第1604302页</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页	1, 3-4, 9-10	Y	KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页	2, 5-8	Y	CAO, Liuxuan 等. "Anomalous Channel-Length Dependence in Nanofluidic Osmotic Energy Conversion" ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, 第27卷, 第9期, 2017年 3月 3日 (2017 - 03 - 03), ISSN: 1616-3028, 第1604302页	2
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求												
X	KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页	1, 3-4, 9-10												
Y	KIM, Dong-Kwon 等. "Power generation from concentration gradient by reverse electrodialysis in ion-selective nanochannels" MICROFLUID NANOFLUID, 第9卷, 第6期, 2010年 6月 4日 (2010 - 06 - 04), ISSN: 1613-4982, 第1215-1224页	2, 5-8												
Y	CAO, Liuxuan 等. "Anomalous Channel-Length Dependence in Nanofluidic Osmotic Energy Conversion" ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS, 第27卷, 第9期, 2017年 3月 3日 (2017 - 03 - 03), ISSN: 1616-3028, 第1604302页	2												
☒ 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 "D" 申请人在国际申请中引证的文件 "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 2019年 11月 26日		国际检索报告邮寄日期 2019年 12月 18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		授权官员 赵致民 电话号码 86-(10)-53961446												

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 101635532 A (北京大学) 2010年 1月 27日 (2010 - 01 - 27) 说明书第1-5页, 图2-3	5-8
PX	CN 109995271 A (华中科技大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09) 说明书第0004-0051段, 图1-4	1-10
A	US 2009242406 A1 (HAN, Jongyoon 等) 2009年 10月 1日 (2009 - 10 - 01) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/095690

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	101635532	A	2010年 1月 27日	CN	101635532 B	2011年 4月 20日
CN	109995271	A	2019年 7月 9日	无		
US	2009242406	A1	2009年 10月 1日	US	8440063 B2	2013年 5月 14日
				US	9360403 B2	2016年 6月 7日
				US	2013256134 A1	2013年 10月 3日
				WO	2009120642 A1	2009年 10月 1日