(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
2018 年 11 月 22 日 (22.11.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/210239 A1

(51) 国际专利分类号:
B01D 71/00 (2006.01) *B01J 4/00* (2006.01)
B01D 53/22 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/086892

(22) 国际申请日: 2018 年 5 月 15 日 (15.05.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710342533.1 2017年5月16日 (16.05.2017) CN

(71) 申请人: 厦门大学 (XIAMEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。

(72) 发明人: 侯旭 (HOU, Xu); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 盛智芝 (SHENG, Zhizhi); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 黄立志 (HUANG, Lizhi); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 闵伶俐 (MIN, Lingli); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 王苗 (WANG, Miao); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 朱颖琳 (ZHU, Yinglin); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。 吴锋 (WU, Feng); 中国福建省厦门市思明区思明南路422号, Fujian 361000 (CN)。

(74) 代理人: 厦门市首创君合专利事务所有限公司 (SHOUCHUANG JUNHE PATENT AGENT

(54) **Title:** FUNCTIONAL FLUID GATE CONTROL SYSTEM

(54) **发明名称**: 一种功能流体门控系统

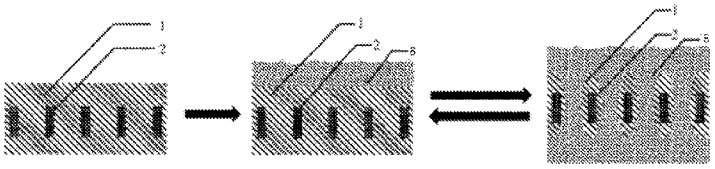

图 1

(57) **Abstract:** A functional fluid gate control system, comprising a porous membrane (2) and a functional fluid (1). The functional fluid (1) at least partially infiltrates the porous membrane (2), and the porous membrane (2) and the functional fluid (1) work in concert to form a fluid gate control channel. The functional fluid (1) and/or the porous membrane (2) generate a physical change or a chemical change by responding to at least one stimulus to change the intensity of pressure of the fluid gate control channel, thereby controlling a fluid (8) to be transported, which is immiscible with the functional fluid (1), to pass through the fluid gate control channel, implementing controllable material transportation and multi-component separation. The stimulus in the present invention has a wide range of sources, and the stimulate responsiveness of the functional fluid (1) and the porous membrane (2) can be randomly combined, so as to adapt to complex external conditions controlled by multiple stimuli and achieve intelligent controllability.

(57) **摘要**: 一种功能流体门控系统，包括多孔膜（2）和功能流体（1），功能流体（1）至少部分浸润所述多孔膜（2）且两者配合形成流体门控通道，功能流体（1）和/或多孔膜（2）通过对至少一种刺激响应而发生物理变化或化学变化以改变所述流体门控通道的压强，从而控制与功能流体（1）不互溶的待运输流体（8）通过所述流体门控通道，实现物质的可控运输和多组分分离。本发明的刺激来源广泛，且功能流体（1）和多孔膜（2）的刺激响应性可以随机自由组合，以适应由多种刺激控制的复杂外界条件和实现智能可控。

WO 2018/210239 A1

[见续页]

CO., LTD. XIAMEN); 中国福建省厦门市思明区软件园二期望海路23号之三606室, Fujian 361012 (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, 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))。

一种功能流体门控系统

技术领域

本发明涉及一种功能流体门控系统，属于功能材料和器件领域。

背景技术

自然界的生物体中存在各种各样的多尺度孔道，能进行物质输运而不发生堵塞，为生命活动的正常运行发挥着独特的作用。比如，纳米尺度的水通道和离子通道能够选择性地输运分子和离子；肺气囊中对压力梯度有响应的微米尺度的小孔，通过填充液体实现物质运输的开关。这些微/纳尺度孔道的结构和功能，为设计人工的高效物质分离、输运系统提供了新的设计思路和物理化学方法。

流体门控系统将传统的微纳米尺度固体/气体和固体/液体体系的科学问题转移到了固体液体/气体和固体液体/液体体系。门控流体的加入使得物质的输运传递和分离能够在液液界面进行，克服了以往传统多孔薄膜进行物质分离时液固接触而导致分离膜易被污染的问题。压力驱动的流体门控体系是通过毛细力稳定在微孔膜中的流体能够可逆地将小孔密封在闭合状态，基于每一种运输物质都有一个门控压力阈值的原理，通过施压改变运输物质的压强使其达到通过门控的阈值压力，流体迅速重新配置，形成孔内壁上由流体开启的小孔来实现高效动态地分离气液和气-水-油三相混合物，同时使微孔膜具有优异的抗污染性能。

然而，目前单一依靠压力驱动实现物质分离的流体门控体系在实际生活中的应用受到了极大的限制。复杂的外部环境中调控基于多孔膜的液体门控体系中的物质分离输运问题，将为推进流体门控体系在实际生活中的应用起到重要作用。

发明内容

本发明的目的在于提供一种功能流体门控系统，基于细胞膜核膜的动态抗污原理，将功能流体和多孔膜有机结合在一起，功能流体和/或多孔膜对刺激响应而形成一种智能响应性门控，能高效地将多相物质进行智能分离和调控，用于物质分离、多相物质输运、传感器、能源转换器件等领域。

本发明的技术方案为：

一种功能流体门控系统，包括多孔膜和功能流体，功能流体至少部分浸润所述多孔膜且两者配合形成流体门控通道，功能流体和/或多孔膜通过对至少一种刺激响应而发生物理变化或化学变化以改变所述流体门控通道的压强，从而控制待运输流体通过所述流体门控通道，其中所述待运输流体和所述功能流体不互溶。

可选的，还包括作用于所述功能流体和/或多孔膜的外场，所述外场的变化形成所述刺激。

可选的，所述外场包括光、磁、声、电、温度、应力中的至少一种。

可选的，所述功能流体的亲疏水性、粘度或形态随所述外场的变化而改变。

可选的，所述多孔膜的孔径、化学结构或与所述功能流体的浸润性随所述外场的变化而改变。

可选的，所述功能流体和/或多孔膜对化学刺激响应。

可选的，所述化学刺激包括离子或生物分子浓度变化。

可选的，还包括一主体，所述主体具有一腔体，所述腔体具有分别位于所述功能流体门控通道两侧的物质输运进口和物质分离出口；待运输流体由物质输运进口进入所述腔体之内，并由物质分离出口输出。

可选的，所述腔体还包括物质输运出口，所述物质输运出口与所述物质输运进口位于所述多孔膜的同一侧；具有至少两个组份的混合流体由物质输运进口进入所述腔体之内，其中所述待运输流体之外的组份由所述物质输运出口输出以实现物质分离。

可选的，所述主体包括密封材料和夹持装置，所述夹持装置包括上夹持件和下夹持件，所述密封材料配合于上夹持件和下夹持件之间形成所述腔体。

所述多孔膜包括金属膜，陶瓷膜，高分子膜，复合膜，以及修饰有对所述刺激响应的功能性基团的金属膜、陶瓷膜、高分子膜、复合膜等。

本发明的有益效果是：

1. 本发明的功能流体门控系统，通过选择和搭配功能流体和多孔膜形成对某种刺激响应的流体门控，在刺激作用下功能流体和/或多孔膜发生物理变化或化学变化而改变流体门控通道的压强以匹配目标物质通过的阈值压强，进而形成孔内壁上由功能流体开启的通道，从而控制目标物质通过流体门控通道，实现物质的可控运输和多组分分离，为液体除气、气液分离、油水分离、污水处理等提供了新的设计理念。刺激来源包括物理性外场和化学刺激，且功能流体和多孔膜的刺激响应性可以随机自由组合，以适应由多种刺激控制的复杂外界条件和实现智能可控。

2. 本发明由功能流体和/或多孔膜对外界条件刺激响应，通过对外界条件的控制实现物质的可控运输和多相分离，该刺激可以是非接触性的能量变化，且无需改变待运输流体的状态，简化了系统结构和控制条件。

3. 功能流体和多孔膜来源广泛，刺激来源亦广泛，组合灵活，选择自由，适于实际应用。

以下结合附图及实施例对本发明作进一步详细说明；但本发明的一种功能流体门控系统不局限于实施例。

附图说明

图 1 是本发明的原理示意图；

图 2 是本发明实施例的功能流体门控系统结构示意图；

图 3 是本发明实施例的功能流体门控系统受外场作用的示意图；

图 4 是实施例 2 的基于磁响应功能流体的功能流体门控系统的结构以及性能示意图，其中 a 为 PTFE 多孔膜和注入磁流变液的多孔膜的实物照片以及扫描电镜照片，b 为作用机理示意图，c 和 d 分别为磁流变液门控在静态施加磁场和动态施加磁场下的影响；

图 5 是实施例 11 的电响应多孔膜的作用机理示意图；

图 6 是实施例 13 的基于应力响应多孔膜的功能流体门控系统的压强测试图。

具体实施方式

参考图 1，本发明的功能流体门控系统，包括功能流体 1 和多孔膜 2。功能流体 1 至少部分浸润所述多孔膜 2 且两者配合形成流体门控通道。功能流体 1 将多孔膜 2 的网孔封闭在闭合状态，工作时，对功能流体 1 和/或多孔膜 2 施加刺激，功能流体 1 和/或多孔膜 2 通过对刺激响应而发生物理变化或化学变化以改变所述流体门控通道的压强，通过改变刺激的强度使流体门控通道的压强达到匹配待运输流体 8 通过的压强阈值时，形成多孔膜 2 的孔内壁上由功能流体 1 开启的小孔，从而控制待运输流体 8 通过流体门控通道。参考图 2，作为一种实施方式，功能流体门控系统还包括一主体，主体具有一腔体，功能流体 1 和多孔膜 2 设于腔体之内。具体的，主体包括密封材料 3 和夹持装置 4，所述夹持装置 4 包括上夹持件 41 和下夹持件 42，所述密封材料 3 配合于上夹持件 41 和下夹持件 42 之间形成所述腔体，此外，腔体亦可以由其他方式实

现。腔体具有分别位于流体门控通道两侧的物质输运进口 5 和物质分离出口 6，以及与物质输运进口 5 位于多孔膜 2 同一侧的物质输运出口 7。待运输流体 8 由物质输运进口 5 进入腔体，并由物质分离出口 6 输出，通过施加刺激可实现可控运输。当待运输流体混合于混合流体之内时，即具有多组分的混合流体进入物质输运进口 5，达到其中一种组分的压强阈值时，该组分从物质分离出口 6 输出，该组分之外的其他组份由所述物质输运出口 7 输出，可实现物质分离。

本发明所述刺激，可以是物理刺激或化学刺激。参考图 3，其中物理刺激是作用于功能流体 1 和/或多孔膜 2 的外场 9，外场 9 可以是例如光、磁、声、电、温度、应力等，通过外场发生装置实现，或者自然变化下实现，并不对此进行限定。

实施例 1

选择一种具有光响应的功能流体 1，包括但不限于偶氮苯类、二苯乙烯类、螺吡喃类、离子液体类等对光敏感的液体。以一种含有螺吡喃的聚甲基丙烯酸酯基嵌段共聚物为例，该流体在光的诱导下可以发生构型转变从而在两亲物和双亲水头基嵌段共聚物间转换。紫外光照射下，螺吡喃构型转变成亲水的青花素构型，可见光照射下又回到疏水的螺吡喃构型。将光响应的功能流体 1 注入多孔膜 2(如铜网)中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气和另外一种与功能流体 1 不互溶的液体，或者是不同流体的（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加紫外光或者可见光，调节其波长和频率来调节该功能流体门控的压强，以达到物质分离的目的。

实施例 2

将磁流变液或磁流体作为功能流体 1 注入多孔膜 2 中，按照图 2 所示密封起来，在从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加磁场（由永磁铁或电磁铁提供磁场源），通过调节磁场的大小以及方向来调节磁流变液门控或磁流体门控的压强。由于气和水（不同流体）通过该功能流体门控的压强阈值不同，因此通过改变磁场的强度可以改变流体的粘度或微观结构，从而可以调节物质通过该功能流体门控的压强，达到物质分离的目的。为进一步解释，参考图 4，其中 a 为 PTFE 多孔膜和注入磁流变液的多孔膜的实物照片以及扫描电镜照片，b 为原理示意图，图中密封夹具即为所述主体，c 和 d 分别为磁流变液门控在静态施加磁场和动态施加磁场下的影响。以永磁铁作为磁场源，施加一定大小的磁场能使气体和液体通过磁流变液门控的临界压强升高。多层膜叠加的时候，磁场对

门控也起到类似的作用。通过分别施加恒定的压强以达到气体和液体的临界压强，就能先后将气体从分离出口、将液体从物质输运出口分离出来。

实施例 3

将对声波或超声波敏感的非牛顿流体如玉米淀粉溶液、SiO_2悬浮液、铜基润滑油、含蜡原油、高分子溶液等作为功能流体 1 注入多孔膜 2(如铜网)中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气和另外一种与功能流体 1 不互溶的液体，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加声波或超声波 9，调节其功率或频率来调节该功能流体门控的压强，以达到物质分离的目的。

实施例 4

将具有电响应的功能流体 1 注入多孔膜 2 中，该具有电响应的流体包括但不限于电流变液、离子液体、液态金属等，按照图 2 所示进行密封，从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加电场 9 来改变电流变液的粘度或液态金属的形态，使得待输运分离组分通过该功能流体门控的压强发生变化，来满足分离各种物质的临界压强。

实施例 5

将石蜡作为功能流体 1 溶解在铜网中形成具有石蜡的门控，按照图 2 所示进行密封，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，将该体系放置在温控系统中，通过改变温度，调节石蜡的流体状态，在不同的温度时，气和水（或不同流体）通过门控的临界压强都不同，选择一个温度使得气和水（或不同流体）的临界压强差值最大，对物质进行分离。

实施例 6

将具有应力响应的功能流体 1，包括但不限于非牛顿流体如玉米淀粉溶液、SiO_2悬浮液、铜基润滑油、含蜡原油、高分子溶液等注入多孔膜 2 中，多孔膜包括但不限于金属膜、高分子膜、陶瓷膜或复合材料膜，按照图 2 所示进行密封，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，施加非接触的振动源 9，包括非接触式振动、声波、超声波等，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变振动的强度或频率改变功能流体门控的压强，达到物质分离的目的。

实施例 7

将具有以下响应，包括但不限于pH、离子或生物分子响应的功能流体 1 注入多孔膜 2 中，包括但不限于PTFE、PVDF、PP、尼龙等多孔膜，按照图 2 所示装置密封起来，以pH响应为例，以三乙醇胺为功能流体 1（包括但不限于三乙醇胺、$Ca(OH)_2$溶液、叔胺型双子表面活性剂Cm-A-Cm(m=8,10,12,14)等），从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变功能流体 1 的pH，来加入来调节功能流体门控的压强，达到物质分离的目的。

实施例 8

选择一种具有光响应的多孔膜材料 2，该多孔膜材料包括但不限于具有偶氮苯衍生物修饰的金属-有机骨架化合物多孔膜、液晶高分子聚合物修饰的多孔膜等。以偶氮苯衍生物修饰的金属-有机骨架化合物多孔膜为例，将一种润滑油作为功能流体 1，包括但不限于含氟润滑油、机油、硅油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 装置进行密封，从物质输运进口 5 通入H_2和CO_2的混合气体，通过调节光源，比如调节紫外/可见光的循环照射，可以改变偶氮苯基团顺式和反式的比例，从而调节多孔膜对不同气体的渗透性和分离系数。

实施例 9

选择一种具有磁响应的多孔膜材料 2，该多孔膜材料包括但不限于 Ni 网、Fe 网、Co 网或它们的合金材料或者镶嵌有磁性颗粒的高分子多孔膜。将一种润滑油作为功能流体 1，如含氟润滑油、机油、硅油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 装置进行密封，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加磁场，磁性多孔膜 2 的孔径会随着磁场强度或者方向的改变发生连续可调的变化，从而改变功能流体门控的压强，实现物质的分离。

实施例 10

选择一种具有声响应的多孔膜材料 2，包括但不限于含有纳米金颗粒/PAH/PSS 复合多孔膜，将一种润滑油作为功能流体 1，如含氟润滑油、机油、硅油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 装置进行密封，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加声波或超声波，多孔膜 2 的孔径会随着声波或超声波的功率或频率的改变发生连续可调的变化，从而改变功能流体门控的压强，实现物质的分离。

实施例 11

如图 5，选择一种具有电响应的多孔膜材料 3，该多孔膜材料包括但不限于 Ni 网、Fe 网、Co 网或它们的合金材料,、导电聚合物复合薄膜等。将一种流体 2 注入多孔膜材料 3 中，该流体包括但不限于含氟润滑油、机油、硅油等。通过电源输出装置 4 与电路 5 对系统施加电场，流体 2 在多孔膜 3 上的浸润性会随着外加电场的改变发生连续可调的变化，使得待输运流体 1 通过该功能流体门控时的压强发生改变，从而实现物质的可控输运和多组分的分离输运，该功能流体 2 为与待运输流体 1 不互溶的流体，待运输流体 1 可以是单组份也可以是多组分流体。

实施例 12

选择一种具有温度响应的多孔膜 2，包括但不限于具有聚异丙基丙烯酰胺（PNIPA）修饰的 PTFE、PVDF、PP、尼龙等多孔膜，将一种功能流体 1，包括但不限于含氟润滑油、机油、硅油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 装置进行密封，从物质输运进口 5 通入气和水的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变温度，多孔膜 2 的孔径会随着温度发生连续可调的变化，从而改变功能流体门控的压强，实现物质的分离。

实施例 13

选择一种具有应力响应性质的弹性体膜， 包括但不限于硅酮树脂、Ecoflex®、VHB 等，利用激光刻蚀或反向复型的方法制备多孔膜 2，将一种润滑油作为功能流体 1 如硅油、液体石蜡油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 装置进行密封，注意密封所用材料（密封材料 3 和夹持装置 4）均须采用弹性体材料（如硅胶板、柔性胶等），从物质输运进口 5 通入水和气的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加在装置的拉力改变弹性体膜中孔道的尺寸和形貌，从而改变功能流体门控的压强（测试结果如图 6 所示），从而实现物质的分离。

实施例 14

将具有以下响应，包括但不限于 pH 响应的聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、聚丙烯酸(PAA)、聚(N-异丙基丙烯酰胺)、聚 4-乙烯基吡啶聚丙烯酸正丁酯-b-聚甲基丙烯酸(2-N,N-二乙胺基)乙酯(PnBA-b-PDEAEMA)，离子 响应性或生物分子响应的功能性分子通过等离子体接枝的方法修饰在多孔材料上形成多孔膜 2，包括但不限于 PTFE、PVDF、PP、尼龙等多孔膜表面或孔道内部，将功能流体 1，包括但不限于含氟润滑油、机油、硅油等注入多孔膜 2 中，按照图 2 所示装置密封起来，在从物质输运进口 5 通入气体和液体

（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变 pH 值、离子浓度或改变生物分子的浓度来改变多孔膜的选择性，从而改变功能流体门控的压强，达到物质分离的目的。

实施例 15

选择一种具有光响应的功能流体 1 以及一种具有光响应的多孔膜 2。功能流体 1 包括但不限于偶氮苯类、二苯乙烯类、螺吡喃类、离子液体类等对光敏感的液体。多孔膜 2 包括但不限于偶氮苯衍生物修饰的金属-有机骨架化合物多孔膜、液晶高分子聚合物修饰的多孔膜等。以一种含有螺吡喃的聚甲基丙烯酸酯基嵌段共聚物液体在线性液晶高分子分子膜中为例，该功能流体 1 在光的诱导下可以发生构型转变从而在两亲物和双亲水头基嵌段共聚物间转换，该多孔膜 2 在光的诱导下可发生构型转变而形成非对称形变。将光响应的功能流体 1 注入偶氮苯基团修饰的金属-有机骨架化合物多孔膜中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加紫外光或者可见光，调节其波长和频率来调节该功能流体门控的压强，以达到物质分离的目的。

实施例 16

选择一种具有磁响应的功能流体 1 和具有磁响应的多孔膜 2。磁响应的流体包括但不限于磁流变液和磁流体，磁响应的多孔材料包括但不限于 Ni 网、Fe 网、Co 网或它们的合金材料或者镶嵌有磁性颗粒的高分子多孔膜。将磁响应的功能流体 1 注入磁响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加磁场，调节磁场的强度或方向，来调节功能流体门控的压强，实现物质分离。

实施例 17

选择一种具有声响应的功能流体 1 和具有声响应的多孔膜 2。声响应的流体包括但不限于对声波传递敏感的非牛顿流体，声响应的多孔膜包括但不限于含有纳米金颗粒/PAH/PSS 复合多孔膜。将声响应的功能流体 1 注入声响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加声波或超声波，调节声场的强度或方向，来调节功能流体门控的压强，实现物质分离。

实施例 18

选择一种具有电响应的功能流体 1 和具有电响应的多孔膜 2。电响应的流体包括但不限于电流变液或液态金属，电响应的多孔膜包括但不限于 Ni 网、Fe 网、Co 网或它们的合金材料、导电聚合物复合薄膜等。将电响应的功能流体 1 注入电响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过施加电场非接触式地作用于功能流体和多孔膜或者直接接触功能流体和多孔膜，调节电场的强度，来调节功能流体门控的压强，实现物质分离。

实施例 19

选择一种具有温度响应的功能流体 1 和具有温度响应的多孔膜 2。温度响应的流体包括但不限于石蜡，温度响应的多孔膜包括但不限于具有聚异丙基丙烯酰胺(PNIPA)修饰的 PTFE、PVDF、PP、尼龙等多孔膜。将温度响应的功能流体 1 注入温度响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变温度，使功能流体和多孔膜同时产生温度响应，来调节功能流体门控的压强，实现物质分离。

实施例 20

选择一种具有应力响应的功能流体 1 和具有应力响应的多孔膜 2。应力响应的流体包括但不限于非牛顿流体如玉米淀粉溶液、SiO_2悬浮液、铜基润滑油、含蜡原油、高分子溶液等，应力响应的多孔膜包括但不限于硅酮树脂、Ecoflex®、VHB等。将应力响应的功能流体 1 注入应力响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过同时施加非接触式振动源和拉伸应力作用于多孔膜，使功能流体和多孔膜同时产生应力响应，来调节功能流体门控的压强，实现物质分离。

实施例 21

选择一种具有化学响应的功能流体 1 和具有化学响应的多孔膜 2。化学响应的流体包括但不限于pH、离子或生物分子响应的功能流体，如三乙醇胺、$Ca(OH)_2$溶液、叔胺型双子表面活性剂Cm-A-Cm(m=8,10,12,14)等，化学响应的多孔膜包括但不限于通过等离子体接枝的方法修饰具有pH、离子或生物分子响应的功能性分子的多孔膜，如聚

乙烯吡咯烷酮（PVP）、聚丙烯酸（PAA）、聚(N-异丙基丙烯酰胺)、聚 4-乙烯基吡啶聚丙烯酸正丁酯-b-聚甲基丙烯酸(2-N,N-二乙胺基)乙酯(PnBA-b-PDEAEMA)等功能性分子。将化学响应的功能流体 1 注入化学响应的多孔膜 2 中，按照图 2 的装置进行密封。在从物质输运进口 5 通入气体和液体（与功能流体 1 不互溶）的混合物，或者是不同流体（与功能流体 1 不互溶的流体）混合物，通过改变pH值、离子浓度或改变生物分子的浓度来改变功能流体和多孔膜的选择性，达到物质分离的目的。

上述实施例仅用来进一步说明本发明的一种功能流体门控系统，但本发明并不局限于实施例，凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均落入本发明技术方案的保护范围内。

权利要求书

1. 一种功能流体门控系统，其特征在于：包括多孔膜和功能流体，功能流体至少部分浸润所述多孔膜且两者配合形成流体门控通道，功能流体和/或多孔膜通过对至少一种刺激响应而发生物理变化或化学变化以改变所述流体门控通道的压强，从而控制待运输流体通过所述流体门控通道，其中所述待运输流体和所述功能流体不互溶。

2. 根据权利要求 1 所述的功能流体门控系统，其特征在于：还包括作用于所述功能流体和/或多孔膜的外场，所述外场的变化形成所述刺激。

3. 根据权利要求 2 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述外场包括光、磁、声、电、温度、应力中的至少一种。

4. 根据权利要求 2 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述功能流体的亲疏水性、粘度或形态随所述外场的变化而改变。

5. 根据权利要求 2 或 4 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述多孔膜的孔径、化学结构或与所述功能流体的浸润性随所述外场的变化而改变。

6. 根据权利要求 1 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述功能流体和/或多孔膜对化学刺激响应。

7. 根据权利要求 6 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述化学刺激包括离子或生物分子浓度变化。

8. 根据权利要求 1 所述的功能流体门控系统，其特征在于：还包括一主体，所述主体具有一腔体，所述多孔膜和功能流体设于所述的腔体内，所述腔体具有分别位于所述流体门控通道两侧的物质输运进口和物质分离出口；待运输流体由物质输运进口进入所述腔体之内，并由物质分离出口输出。

9. 根据权利要求 8 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述腔体还包括物质输运出口，所述物质输运出口与所述物质输运进口位于所述多孔膜的同一侧；具有至少两个组份的混合流体由物质输运进口进入所述腔体之内，其中所述待运输流体之外的组份由所述物质输运出口输出以实现物质分离。

10. 根据权利要求 8 所述的功能流体门控系统，其特征在于：所述主体包括密封材料和夹持装置，所述夹持装置包括上夹持件和下夹持件，所述密封材料配合于上夹持件和下夹持件之间形成所述腔体。

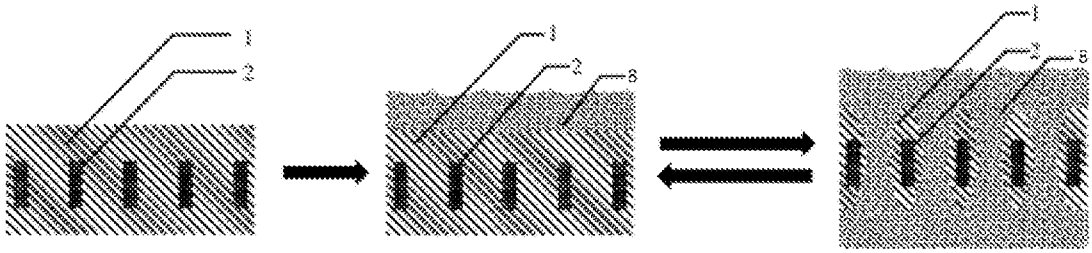

图 1

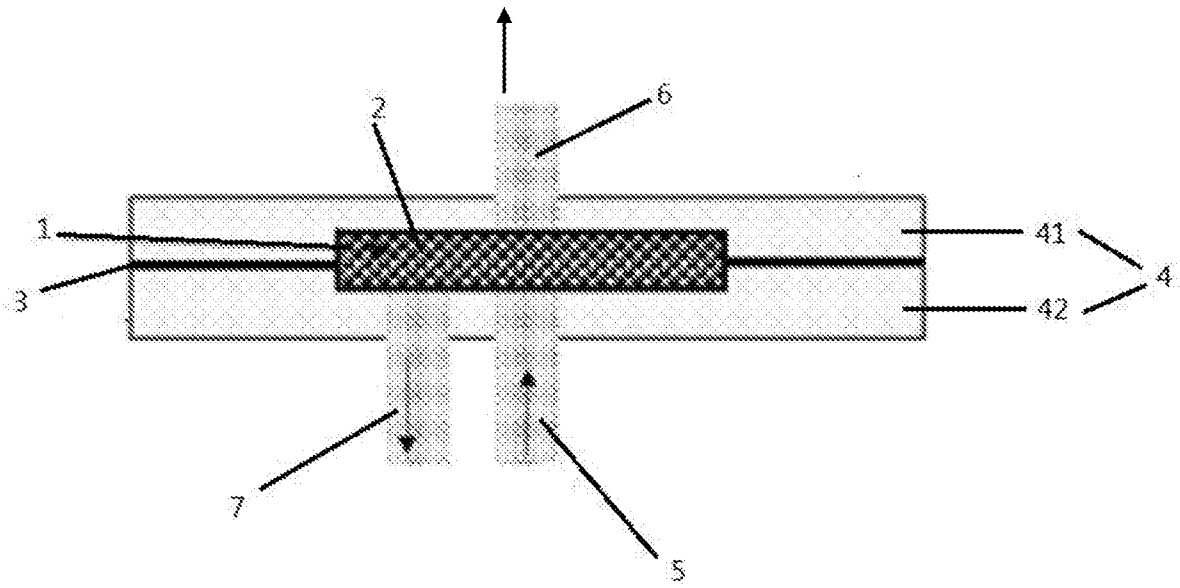

图 2

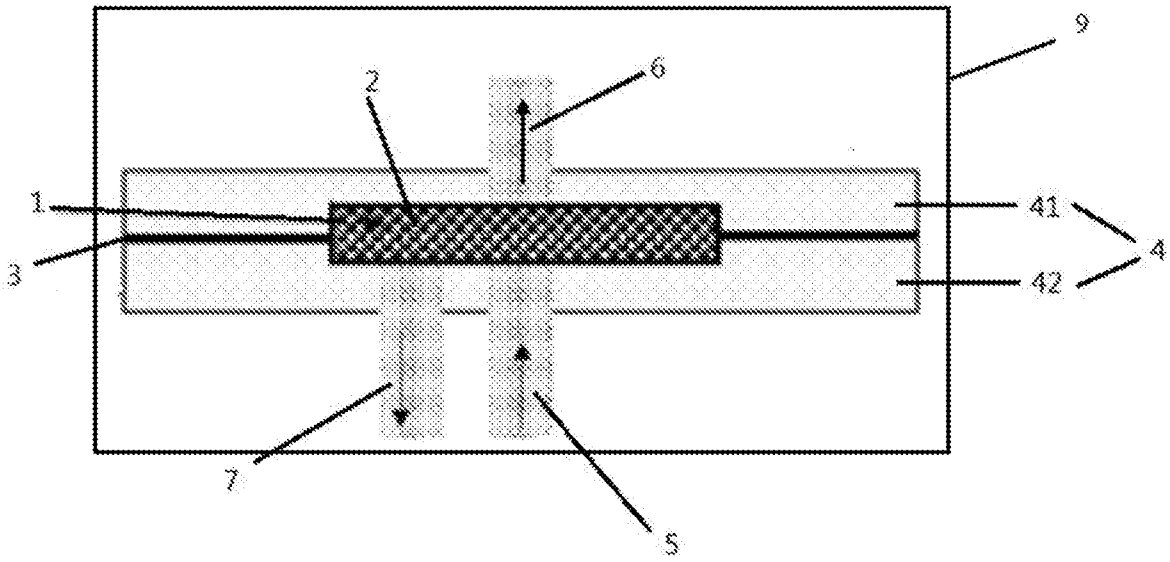
9
6
2
1
41
4
3
42
7
5

图 3

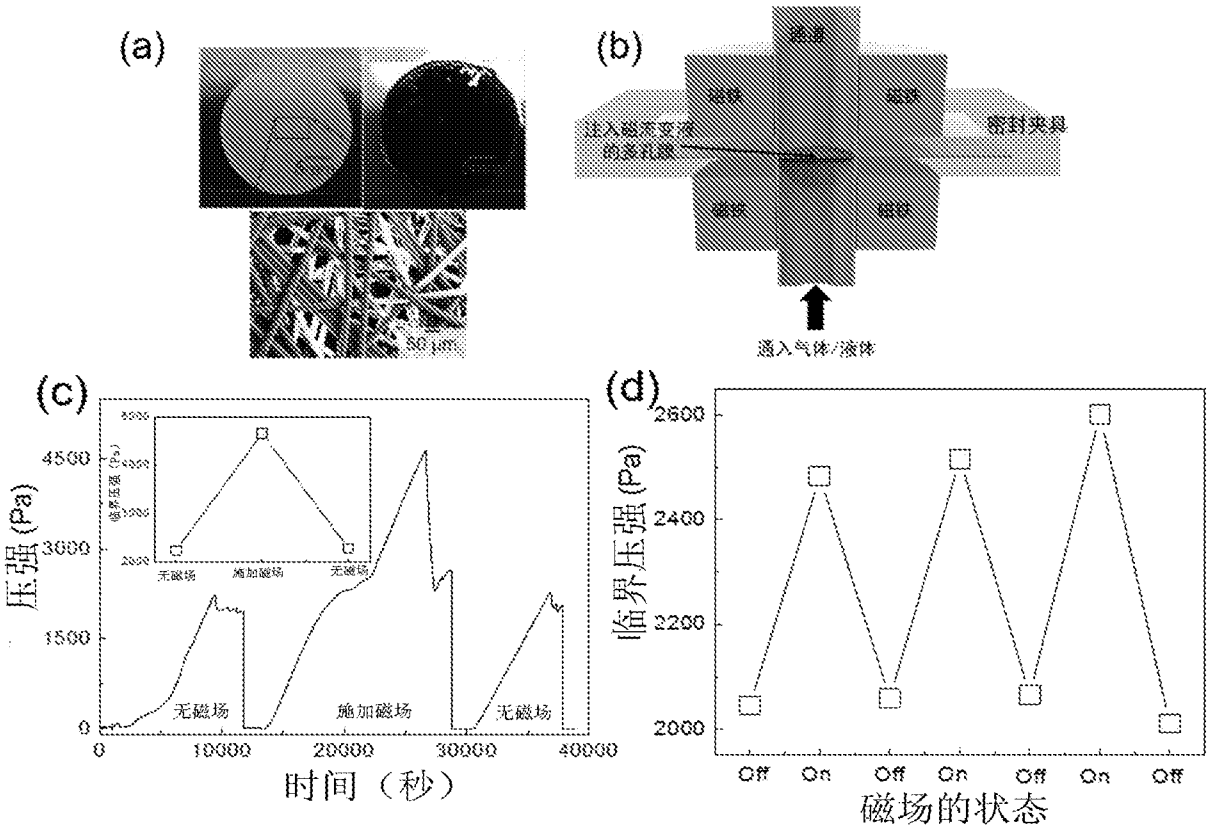
(a)
50 μm
(b)
注入能产生液体的表面张力
密封夹具
通入气体/液体
(c)
压强 (Pa)
4500
3000
1500
0
无磁场
施加磁场
无磁场
0
10000
20000
30000
40000
时间（秒）
(d)
临界压强 (Pa)
2600
2400
2200
2000
Off
On
Off
On
Off
On
Off
磁场的状态

图 4

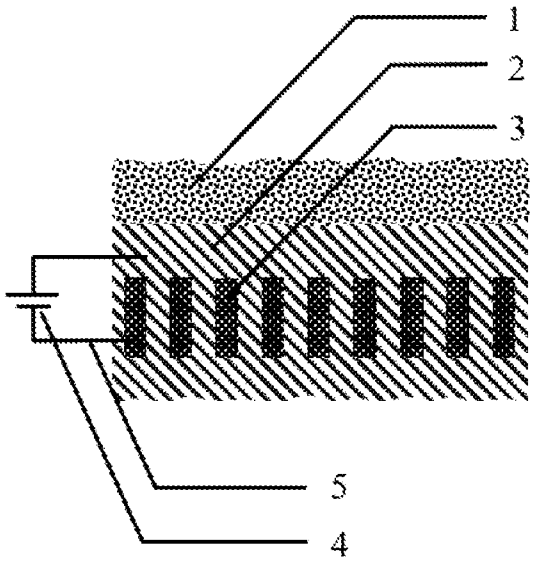
1
2
3
5
4

图 5

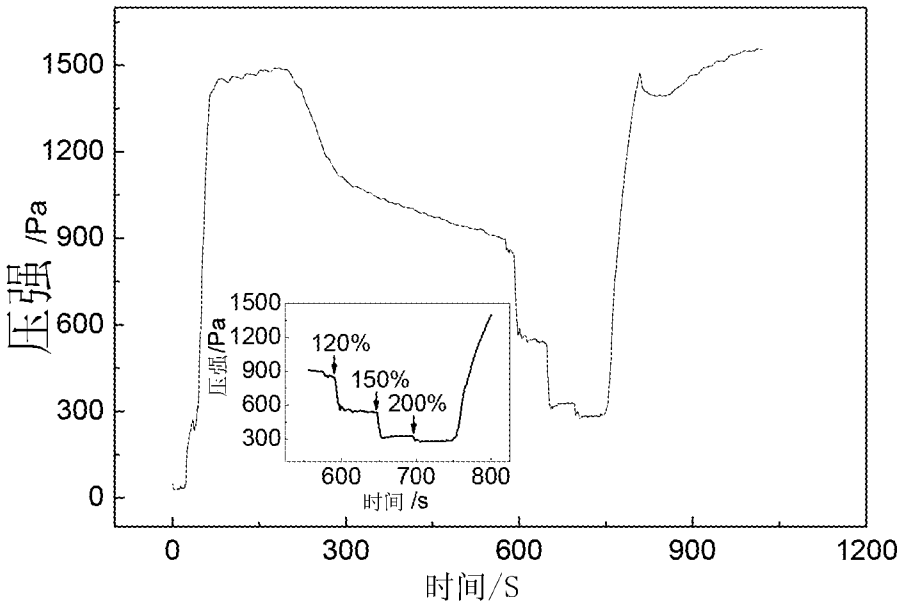
压强 /Pa
1500
1200
900
600
300
0
0
300
600
900
1200
时间/S
压强/Pa
120%
150%
200%
600
700
800
时间 /s

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/086892

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D 71/00 (2006.01) i; B01D 53/22 (2006.01) i; B01J 4/00 (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)

B01D; B01J

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; CNKI; ChaoxingDuxiu; ISI; Wiley: 阀, 液体, 厦门大学, 多孔膜, 刺激, 响应, 敏感, 流体, 开关, 智能膜, 侯旭, 门控, liquid gating, fluid gating, membrane, film, pore, respons+, separat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HOU, Xu et al. Liquid-Based Gating Mechanism with Tunable Multiphase Selectivity and Antifouling Behaviour. Nature. 04 March 2015 (04.03.2015), vol. 519, ISSN: 1476-4687, PP. 70 and 72, and figure 3	1-10
X	HOU, Xu. Smart Gating Mu1ti-Sca1e Pore/Channe1-Based Membranes. ADVANCED MATERIALS. 14 June 2016 (14.06.2016), 28(33), ISSN: 0935-9648, pp. 7056 and 7057	1-10
X	WO 2016130558 A1 (HARVARD COLLEGE) 18 August 2016 (18.08.2016), description, paragraphs [0077]-[0083], and figure 1	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 May 2018	20 July 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer DU, Zanling Telephone No. (86-0512) 88997638

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/086892

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016130558 A1	18 August 2016	US 2018023728 A1	25 January 2018

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2018/086892

A. 主题的分类

B01D 71/00(2006.01)i; B01D 53/22(2006.01)i; B01J 4/00(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)

B01D; B01J

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;CNKI;超星读秀;ISI;Wiley:阀，液体，厦门大学，多孔膜，刺激，响应，敏感，流体，开关，智能膜，侯旭，门控，liquid gating，fluid gating，membrane，film，pore，respons+，separat+

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
X	Hou Xu 等. "Liquid-based gating mechanism with tunable multiphase selectivity and antifouling behaviour" Nature, 第519卷，2015年 3月 4日 (2015-03-04), ISSN：1476-4687, 第70页及第72页图3	1-10
X	Hou Xu. "Smart gating Multi-Scale Pore/Channel-Based Membranes" ADVANCED MATERIALS, 第28卷，第33期，2016年 6月 14日 (2016-06-14), ISSN：0935-9648, 第7056-7057页	1-10
X	WO 2016130558 A1 (HARVARD COLLEGE) 2016年 8月 18日 (2016-08-18) 第0077-0083段及附图1	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 5月 30日	2018年 7月 20日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
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	杜赞玲
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(0512)-88997638

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/086892

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)
WO 2016130558 A1	2016年 8月 18日	US 2018023728 A1	2018年 1月 25日