

## (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  
2015 年 8 月 6 日 (06.08.2015)



(10) 国际公布号  
**WO 2015/113346 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
H02N 2/00 (2006.01) H02N 11/00 (2006.01)  
H01L 41/193 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/077492
- (22) 国际申请日: 2014 年 5 月 14 日 (14.05.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201410042587.2 2014 年 1 月 28 日 (28.01.2014) CN  
201410178842.6 2014 年 4 月 29 日 (29.04.2014) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY)  
[CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号,  
Zhejiang 310027 (CN)。
- (72) 发明人: 李铁风 (LI, Tiefeng); 中国浙江省杭州市西湖  
区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 邹咤南  
(ZOU, Zhanan); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38  
号, Zhejiang 310027 (CN)。 李驰 (LI, Chi); 中国浙  
江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027  
(CN)。 毛国勇 (MAO, Guoyong); 中国浙江省杭州  
市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 杨栩  
旭 (YANG, Xuxu); 中国浙江省杭州市西湖区浙大

路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 翟志鹏 (ZHAI,  
Zhipeng); 中国浙江省杭州市西湖区西湖区浙大路  
38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 曲绍兴 (QU, Shaox-  
ing); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zheji-  
ang 310027 (CN)。

(74) 代理人: 北京卓恒知识产权代理事务所 (特殊普  
通合伙) (BEIJING TROHENG INTELLECTUAL  
PROPERTY LAW FIRM); 中国北京市海淀区马甸  
东路 19 号 22 层 2620, Beijing 100088 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,  
JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,  
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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,  
BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH,

[见续页]

(54) Title: FLEXIBLE INTELLIGENT DRIVING STRUCTURE

(54) 发明名称: 柔性智能动力结构

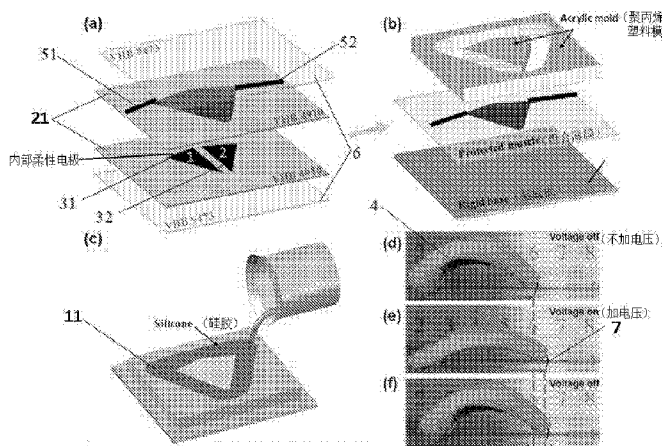


图 1 /FIG. 1

31 Internal flexible electrode

(57) Abstract: A flexible intelligent driving structure  
comprises a flexible frame (11), a driving mechanism  
(21) and a movement structure (7). The driving mecha-  
nism uses the intrinsic strain of intelligent soft material to  
generate the driving force. The movement structure is  
used to implement autonomous activities of the flexible  
intelligent driving structure. The driving mechanism and  
the movement structure are attached to the flexible frame.  
The driving mechanism generates the driving force by the  
contraction and relaxation of a driving film. The flexible  
intelligent driving structure are all made from flexible  
material, and has advantages of good creeping speed,  
flexible control, small noise and high human body com-  
patibility.

(57) 摘要: 一种柔性智能动力结构, 包括柔性框  
架 (11)、驱动结构 (21) 和活动结构 (7),  
其中所述驱动结构利用智能软材料的本征应变  
产生驱动力, 所述活动机构用于实现柔性智能  
动力结构的自主活动, 所述的驱动结构和活动  
结构附着在所述柔性框架上。所述驱动结构通  
过驱动薄膜的收缩和舒张产生驱动力。该柔性  
智能动力结构全部采用柔性材料, 具有爬行速  
度快、可灵活控制、噪声小和人体亲和性高的  
优点。

WO 2015/113346 A1



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))。

## 说明书

### 柔性智能动力结构

#### 技术领域

本发明涉及机器人领域，具体涉及一种利用智能软材料的本征应变驱动的柔性智能动力结构。

#### 背景技术

传统机器人多采用刚性结构，包含许多齿轮、链条等刚性传动零件，由于采用刚性材料，因此受到外界冲击时易产生错位，损坏等问题，同时由于刚性结构之间润滑有限，在运行时容易产生较大噪声。现有柔性机器人多采用形状记忆合金弹簧驱动，其爬行速度慢，抗外压和冲击能力弱，此外还有转向不灵活的缺点。现有的利用介电高弹聚合物薄膜驱动的机器人结构，利用介电高弹聚合物产生的驱动力与传动结构相结合的原理，由于其含有硬质框架（例如，金属框架）以及刚性连接部件（例如，弹簧、齿轮、铰链、螺钉、螺栓等），因此与传统机器人一样，具有整体抗外压和冲击能力弱，不能压缩变形等缺点。

#### 发明内容

针对现有技术的不足，本发明所要解决的技术问题是提供一种利用智能软材料的本征应变驱动的、能够自主活动例如自主爬行的柔性智能动力结构。所述的自主爬行是指依靠机器自身的伸缩进行类似于蠕虫的爬行，而不需要借助传动机构（如齿轮、涡轮蜗杆、链条、连杆等）或专门的爬行机构（如爬行爪（通常为三个钩以上）、仿生爬行脚等）来爬行。本发明的柔性智能动力结构为全软结构，基于利用介电高弹聚合物(作为智能软材料)的本征应变驱动柔性框架的原理，不包含硬质框架（例如，金属框架），也不包含刚性连接部件（例如，弹簧、齿轮、铰链、螺钉、螺栓等），相对于现有技术，具有抗外压和冲击能力强，质量轻，噪声小的优点。

本发明针对现有柔性智能动力结构的爬行速度慢，易损坏，噪声大的缺点，结合智能软材料的本征应变，提供一种全新结构的柔性智能动力结构。

本发明采用的技术方案如下：一种柔性智能动力结构，包括柔性框架、驱动结构和动力结构（例如爬行结构），其中：

所述的驱动结构利用智能软材料的本征应变产生驱动力，所述的智能软材

料是指在外加激励（不包含力场），例如电场、磁场、热场、光场、电磁场、热磁场的作用下，产生的自由形变相对显著的特殊材料，其为一种柔性材料，力学特性偏软，刚度和模量很小，其自由形变可恢复。优选的是，智能软材料选自介电高弹聚合物。所述的本征应变是指材料在外加激励，例如电场、磁场、热场、光场、电磁场、热磁场的作用下产生的形变，这种形变不需要依赖外界的力载荷，也即这种形变是材料本身产生的，例如热胀冷缩现象，这种形变产生的驱动力能使柔性智能动力结构的柔性框架产生周期性的形变。本发明中所涉及的本征应变为电场作用，通过对柔性智能动力结构施加高电压（通常为6kV—9kV）来使其产生形变。

所述的爬行结构用于实现柔性智能动力结构的自主爬行，由于本发明柔性智能动力结构不需要借助于传动机构（如齿轮、涡轮蜗杆、链条、连杆等）或专门的爬行机构（如爬行爪（通常为三个钩以上）、仿生爬行脚等）、而仅仅依靠柔性框架的变形与接触面（例如地面、墙面、屋顶等）之间的摩擦来进行爬行，利用简单的爬行结构（即单向摩擦结构）之后可以增加柔性框架与接触面之间的摩擦力，从而大大提高柔性智能动力结构的爬行效率。

所述的驱动结构和爬行结构附着在所述的柔性框架上(例如分别附着在柔性框架的两个主表面上)，所述的柔性框架是指利用弹性材料制成的框架，其弯曲刚度小，有助于所述柔性智能动力结构的自主爬行。

本发明柔性智能动力结构可以进一步包括用于上述的本发明的柔性智能动力结构的、作用于上述驱动结构的电源模块。

本发明柔性智能动力结构的自主活动例如自主爬行是依靠驱动结构利用智能软材料的本征应变驱动所述的柔性框架，通过柔性框架的类似蠕虫的一伸一缩的变形来实现的。

进一步的，本发明柔性智能动力结构的柔性框架可以采用硅胶、聚二甲基硅氧烷（PDMS）等弹性材料，作为优选，采用硅胶材料；更优选的，在硅胶固化过程中加入二氧化硅粉末，从而提高硅胶柔性框架的韧性。

进一步的，本发明柔性智能动力结构的爬行可以靠智能薄膜驱动所述的柔性框架，通过柔性框架的类似蠕虫的一伸一缩的变形来实现，如图所示2。

进一步的，所述的驱动结构可以包括驱动薄膜和外部柔性电极，所述的外

部柔性电极涂在驱动薄膜的两面，所述的柔性智能动力结构的驱动力由驱动薄膜的收缩和舒张产生。所述的驱动薄膜可以是一片或两片。

进一步的，所述的驱动结构还可以包括驱动薄膜组、内部柔性电极、内部导线、外部柔性电极，其中，所述的驱动薄膜组由两片驱动薄膜粘合而成，内部柔性电极分为两部分，所述的内部柔性电极封装在两片驱动薄膜内部，内部导线为两条，所述的两条内部导线一端分别与两部分内部柔性电极接触，另一端引出与外接电源的一极连接，所述的外部柔性电极涂在所述驱动薄膜组的外表面，并与外接电源的另一极连接，所述的柔性智能动力结构的驱动力由驱动薄膜或驱动薄膜组的收缩和舒张产生。

进一步的，本发明所述的驱动薄膜为经过预拉伸的柔性绝缘薄膜，驱动薄膜在附着到柔性框架上之前要先经过预拉伸。对于智能软材料，所述的预拉伸是指先将此类材料预先拉伸到一定状态，然后固定到柔性框架上，使柔性框架处于屈曲状态（如图2所示）。经过预拉伸以后的驱动结构可以非常容易驱动，因为驱动结构处于外加激励作用下，该部分的预拉伸可以被放松，从而使的柔性框架由屈曲状态变为平直状态。

进一步的，本发明所述的驱动薄膜在爬行方向和横向两个垂直方向上均要进行预拉伸，并且在爬行方向上的预拉伸要略大于横向预拉伸。

进一步的，本发明所述的驱动薄膜为介电高弹聚合物（dielectric elastomer），例如可以选自硅橡胶、丙烯酸酯弹性体、聚氨酯弹性体、丁腈橡胶中的一种或多种，作为优选，所述的驱动薄膜为VHB4910（3M公司）。

进一步的，本发明所述的柔性电极分为两部分，一部分为内部柔性电极，被两片驱动薄膜夹住，封装在柔性智能动力结构内部，另一部分为外部柔性电极，直接涂抹于驱动薄膜的正反两面，所述的内部导线一端与内部柔性电极接触，另一端从两片驱动薄膜之间引出，连接外部高压电源火线，而外部柔性电极直接连接高压电源地线。

进一步的，本发明所述的内部柔性电极可以独立分区域，即分为不同区域进行多块驱动，给不同的区域施加6kV—9kV的电压，即可实现柔性智能动力结构的转弯。例如，所述的内部柔性电极可以分为1、2两部分区域，如图3所示，当给1区域加上6kV—9kV的电压时，仅有1区域产生驱动力，此时2区

域处于静止状态，因此柔性智能动力结构在向前爬行时，其 1 区域侧处于主动运动状态，而 2 区域侧处于被动运动状态甚至静止状态，因此该柔性智能动力结构会向 2 区域侧转弯；同理，当给 2 区域加上 6kV—9kV 的电压时，柔性智能动力结构会向 1 区域侧转弯，从而通过该分区方法实现了柔性智能动力结构的转弯功能，当需要柔性智能动力结构自由转弯时，只需要对两部分区域进行相应的合理控制。

进一步的，本发明所述的柔性电极可以采用碳膏、导电凝胶等材料，作为优选，采用碳膏作为柔性电极。内部柔性电极、外部柔性电极可采用同一种材料，也可采用不同的材料。

优选地，本发明所述的爬行结构为单向摩擦结构，所述的单向摩擦结构的一端嵌入柔性智能动力结构柔性框架的内部，另一端作柔性智能动力结构的活动支脚或爬行脚与接触面（例如地面、墙面、屋顶等）接触，采用单向摩擦结构可以有效的提高柔性智能动力结构的抓地力，从而提高爬行效率，同时由于单向摩擦结构向后运动的摩擦力远远大于向前运动的摩擦力，因此可以保证柔性智能动力结构朝着前方爬行而不是原地蠕动。

优选地，所述的单向摩擦结构为方向可调的结构，当需要柔性智能动力结构向后爬行时，只需要将单向摩擦结构旋转 180°，此时的单向摩擦结构向前运动的摩擦力将远远大于向后运动的摩擦力，从而改变柔性智能动力结构的爬行方向，使其向后爬行。

进一步的，所述的单向摩擦结构的个数选择和分布方式取决于柔性智能动力结构的尺寸大小和柔性框架形状，作为优选，小型三角形柔性框架采用三只单向摩擦结构分布方式，柔性智能动力结构前端布置一只，后端布置两只。所述单向摩擦结构的材料可以为不锈钢或其他硬质材料。

进一步的，本发明的柔性智能动力结构可以包括保护结构，所述的保护结构用于保护所述的驱动结构，所述的保护结构附着在柔性框架上。

进一步的，所述的保护结构为两片经过预拉伸的保护薄膜，所述的保护薄膜为柔性绝缘薄膜，所述的两片保护薄膜分别贴在驱动薄膜或驱动薄膜组的两侧。

进一步的，所述的两片驱动薄膜和两片保护薄膜粘合在一起，并附着在柔

性框架上，使柔性框架产生弯曲。例如，使柔性框架产生向一个方向或向一个主平面的方向的弯曲。

进一步的，为了减小对驱动薄膜的影响，两片保护薄膜也经过了和驱动薄膜同样的预拉伸，两片保护薄膜在经过预拉伸后直接贴在驱动薄膜的两面，由于两片驱动薄膜中间的柔性电极直接连接外部高压电火线，容易漏电，因此该保护薄膜的主要作用是防止漏电。

进一步的，所述的保护薄膜的材料为介电高弹体，作为优选，采用 VHB 9473(3M)作为保护薄膜的材料。驱动薄膜的材料与保护薄膜的材料相同或不同。

进一步的，本发明柔性智能动力结构的尺寸可以为 1mm~500mm，优选 10mm~450mm，更优选 20mm~400mm。

进一步的，本发明柔性智能动力结构的柔性框架厚度可调，根据柔性框架采用材料的不同应适当调整柔性框架厚度，从而实现在与驱动结构粘合后达到合理的弯曲程度，进而实现爬行。所述柔性框架的材料可以是硅胶、聚二甲基硅氧烷（PDMS）、橡胶等具有弹性的软材料。

进一步的，本发明柔性智能动力结构的柔性框架为弹性体结构，作为优选，采用三角形柔性框架。

本发明柔性智能动力结构可单独爬行，多个机器之间也可通过柔性框架进行粘接形成柔性智能动力结构组，实现机器的串联和/或并联组装，从而实现组合爬行或组合驱动。

本发明由于采用智能软材料（例如介电高弹聚合物）进行电能向机械能的转换，转换效率高，驱动效果好，因此爬行速度非常快；由于整个柔性智能动力结构都采用柔性材料，没有任何传动零件或刚体结构，因此抵抗外接压力、冲击和摔落的能力很强，并且可以在水下或者真空环境中工作；同时由于本发明柔性智能动力结构简单，采用的柔性材料均为轻质材料，因此有体积小、质量轻的特点，在很大程度上减小了柔性智能动力结构爬行的噪声。

本发明还提供一种柔性智能动力结构组，它由多个的如以上所述的柔性智能动力结构组成，所述的这些柔性智能动力结构的连接方式为串联和/或并联，所述的多个柔性智能动力结构通过柔性框架粘接。

优选地，本发明的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组进一步包括作

用于上述驱动结构的电源模块。

优选地，上述电源模块为一种可快速放电并连续调节电压的小型高压电源模块，包括有：

输入端口、功率开关模块、脉冲变压器、倍压整流电路、电压输出端、控制电路、隔离驱动模块、反馈分压电路、机械开关模块；

输入端口，与功率开关模块相连接，用于为功率开关模块提供输入电压；

功率开关模块，分别与所述的隔离驱动模块和所述的脉冲变压器相连接，受来自隔离驱动模块的开关驱动信号控制，将来自输入端口的输入电压变换为高频开关信号输出到脉冲变压器；

脉冲变压器，分别与所述的功率开关模块和所述的倍压整流电路相连接，用于将来自功率开关模块的高频开关信号隔离放大输出到倍压整流电路；

倍压整流电路，分别与所述的脉冲变压器和所述的电压输出端相连接，用于将来自脉冲变压器的信号进行倍压，升压到所需要的电压整流输出到电压输出端；

电压输出端，分别与所述的倍压整流电路、所述的机械开关模块和所述的反馈分压电路相连接，用于输出最终电压信号；

反馈分压电路，分别与所述的电压输出端和控制电路相连接，用于将所述的电压输出端的电压信号反馈给所述的控制电路，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

控制电路，分别与所述的隔离驱动模块、所述的反馈分压电路和所述的机械开关模块相连接，根据来自所述的反馈分压电路的信号产生开关控制信号和降压控制信号，将开关控制信号输出到所述的隔离驱动模块，将降压控制信号输出到机械开关模块，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

隔离驱动模块，分别与所述的控制电路和所述的功率开关模块相连接，用于将来自所述的控制电路的开关控制信号进行功率放大并转换为开关驱动信号输出到功率开关模块，并且实现控制电路与功率开关模块的电气隔离；

机械开关模块，分别与所述的电压输出端和所述的控制电路相连接，接受来自所述的控制电路的降压控制信号，将电压输出端的多余电量进行释放以实现输出电压的降压。

进一步地，所述的机械开关模块包含两个触片和一个微型舵机；两个触片

包括一个动触片和一个固定触片，动触片与电压输出端的正极相连接，固定触片与电压输出端的负极相连接；动触片与所述的微型舵机相连接，所述的动触片可以位于所述的微型舵机臂上；所述的微型舵机分别与所述的动触片和所述的控制电路相连接。在升压过程中舵机转角不变，使两触点保持在最大距离，在降压过程中调节舵机转角，在输出端用舵机控制动触片与固定触片进行近距离拉电弧短路，将电容中多余电量放掉，近距离拉电弧之后，在几百毫秒内舵机立即反转回复到初始位置，用于实现快速降压和安全保护，该放电模式快速简易。

进一步地，所述的隔离驱动模块包括一个缓存驱动芯片和一个光耦合器；所述的缓存驱动芯片分别与所述的控制电路和所述的光耦合器相连接，所述的光耦合器分别与所述的缓存驱动芯片和所述的功率开关模块相连接，用于实现控制电路与功率开关模块的电气隔离；所述的缓存驱动芯片和光耦合器用于将来自控制电路的开关控制信号进行功率放大。

进一步地，所述的输入端口电压范围为直流 5 伏～32 伏，优选 7 伏～25 伏。

进一步地，所述的输出快速降压的放电时间在 700 毫秒以下，更优选低于 600 毫秒，进一步优选低于 500 毫秒。

进一步地，所述的控制电路为单片机控制电路。

进一步地，所述高压电源模块输出为直流 0 伏～6000 伏(优选 1-5900 伏，更优选 5-5800 伏，进一步优选 8-5700 伏)连续可调。

进一步地，所述脉冲变压器输出 0 伏～600 伏(优选 1-590 伏，更优选 5-580 伏，进一步优选 8-570 伏)的高频开关信号。

进一步地，所述的倍压整流电路为十倍压整流电路。

进一步地，所述高压电源模块输出电压为直流 2000 伏～15000 伏(优选 2100-14500 伏，更优选 2500-14000 伏)连续可调。

本发明的柔性智能动力结构的有益效果是：

1.通过改变本发明柔性智能动力结构外加电压的幅度与频率，可以改变该柔性智能动力结构的爬行速度，同时通过对柔性电极的分区控制，可以实现该柔性智能动力结构的转弯，由于介电高弹聚合物的电压响应速度很快，因此可以实现高速爬行和灵活转弯。

2. 由于本发明柔性智能动力结构除爬行结构外，其余的所有结构（包括柔性框架、驱动结构、保护结构）都采用柔性材料，其抗破坏能力很强，即使受到很大的外压，冲击或衰落都不会造成柔性智能动力结构的损坏。由于柔性材料还具弹性，因此即便柔性智能动力结构受到外界压力产生很大变形，也能在短时间内恢复原形，继续工作。

3. 本发明柔性智能动力结构整体没有传动机构，也没有专门的爬行机构，结构简单，尺寸小，质量轻，在爬行时产生的噪声低。

4. 本发明柔性智能动力结构需要高压电来驱动，可以通过外加高压电源来实现，也可以通过将小型高压电源直接封装在柔性智能动力结构内部，此时该柔性智能动力结构的电源将完全与外部隔离，使得人手可以直接与之触碰，其人体亲和性高。

本发明的用于上述的柔性智能动力结构的小型高压电源模块的有益效果是，通过所述的控制电路，输入电压经输入端口、功率开关模块、脉冲变压器、倍压整流电路、电压输出端、反馈分压电路、隔离驱动模块在电压输出端产生高电压输出，实现输出电压连续可调；同时，本发明与现有技术相比，还具有以下显著的优点：

1、柔性电子设备工作要求电压变化响应快，而目前的技术使用的降压方式放电时长常常达到几秒甚至几十秒，无法满足工作要求，机械开关模块采用触片近距离拉电弧短路的方式，可以在毫秒级别内迅速放电，通过单片机调压迅速达到较低的稳定电压；

2、机械开关模块采用自动控制模式，利用控制电路，在接收调低电压信号后能够自动控制舵机转动角度，从而控制动作触点的位置，在允许的安全时间内自动回复到原来位置，达到迅速放电的目的，因此该技术不会限制柔性器械的自由移动功能；

3、利用机械开关模块产生短路放电时若持续时间超过一定范围将对电路造成危害，因此通过输入舵机角度定时转动程序来控制两触点保持一定距离的时间，防止短路过久造成电路损害；

4、实际使用过程中，输出端电压较高，可高达 6000 伏左右，空气击穿电弧在室内条件下大于 8mm，因此电子开关和小型机械继电器无法承受，高压继电器由于体积大不符合小型电源的设计要求，而机械开关则在满足小型化的条

件下实现短路调压的功能。

#### 附图说明

图 1 为该柔性智能动力结构的总制作流程图；

图 2 为该柔性智能动力结构的爬行示意图；

图 3 为该柔性智能动力结构的薄膜组成图；

图 4 为该柔性智能动力结构的制作模具图；

图 5 为该柔性智能动力结构的框架成型图；

图 6 为本发明的结构框图。

图 7 (a) 为本发明的机械开关模块模型图。

图 7 (b) 为本发明的一个十倍压整流电路图。

图 8 为本发明的一个二倍压整流电路图。

图中所示：11——柔性框架；21——驱动薄膜；31,32——内部柔性电极；4——外部柔性电极；51,52——内部导线；6——保护薄膜；7——单向摩擦结构。

#### 具体实施方式

以下实施例仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的范围。此外应理解，在阅读了本发明讲授的内容之后，本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改，这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

#### 实施例 1

如图 1 所示，本发明提供一种柔性智能动力结构，由柔性框架 11、驱动结构、保护结构和爬行结构组成，所述的驱动结构包括驱动薄膜组，内部柔性电极 31，32，外部柔性电极 4 和内部导线 51，52，所述的保护结构为保护薄膜 6，所述的爬行结构为单向摩擦结构 7，所述的柔性框架 11 为驱动结构、爬行结构和保护结构提供附着基底，所述的驱动结构能产生驱动力，所述的保护结构能够防止漏电，所述的爬行结构能够提高柔性智能动力结构的爬行能力。

其中，

所述的驱动薄膜组由两片驱动薄膜 21 组成，其材料为 VHB4910 (3M，该材料为一种透明薄膜)，两片驱动薄膜 21 将内部柔性电极 31，32 夹在中间，将内部柔性电极 31，32 封装在驱动薄膜 21 内部；

所述的内部导线 51，52 一端伸入到两片驱动薄膜 21 之间，分别与内部柔

性电极 31, 32 接触 (内部导线 51 与内部柔性电极 31 接触, 内部导线 52 与内部柔性电极 32 接触), 另一端引出与外部电源火线连接, 内部导线的材料为锡箔纸;

所述的保护薄膜 6 分为两片, 两片保护薄膜 6 分别贴在驱动薄膜 21 的正反两面, 保护薄膜的材料为 VHB9473 (3M, 该材料为一种透明薄膜);

所述的柔性框架 11 为驱动结构、爬行结构和保护结构提供附着基底, 其材料为半透明硅胶, 将驱动薄膜、保护薄膜、内部导线、内部柔性电极按次序组合为组合薄膜后, 整个粘贴到柔性框架 11 上;

所述的外部柔性电极 4 直接涂抹在粘贴到柔性框架 11 上的组合薄膜的正反两面, 内部柔性电极、外部柔性电极的材料均为碳膏;

所述的单向摩擦结构 7 为 3 只不锈钢钩, 所述的每只不锈钢钩仅有一个钩, 所述不锈钢钩的一端嵌入柔性智能动力结构柔性框架 11 内部, 另一端与地面接触。

本发明柔性智能动力结构也可以采用聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 作为柔性框架, 同时采用导电凝胶作为柔性电极, 由于 PDMS 和导电凝胶均为透明材料, 而驱动薄膜与保护薄膜本身也是透明材料, 因此可以实现整个柔性智能动力结构的透明化。

具体的, 本发明柔性智能动力结构在制作时应按照驱动结构, 保护结构, 柔性框架, 爬行结构的顺序。在本实施例中参照图 1 中 (a)、(b)、(c)、(d) 的顺序进行制作。

本发明柔性智能动力结构的驱动结构跟其他结构相比较为复杂, 如图 1 (a) 所示, 在制作时首先要对两片驱动薄膜 21 进行相同的预拉伸, 并且沿着爬行方向和垂直于爬行方向均要进行预拉伸, 同时沿着爬行方向的预拉伸略大于垂直于爬行方向的预拉伸。将第一片驱动薄膜 21 进行预拉伸后, 固定到某一固定框架上, 然后在驱动薄膜 21 上涂抹具有一定形状的内部柔性电极 31, 32, 并布置内部导线 51, 52, 接着将另一片经过预拉伸后的驱动薄膜 21 贴在第一片驱动薄膜 21 上, 使得内部柔性电极 31, 32 和内部导线 51, 52 被夹装在两片驱动薄膜 21 之间, 其中内部导线 51, 52 的内端分别与两块内部柔性电极 31, 32 接触, 外端引出与外接电源火线连接。

本发明柔性智能动力结构的保护结构相对比较简单，如图 1（a）所示，将两片保护薄膜 6 进行和两片驱动薄膜 21 相同的预拉伸之后，分别贴在两片驱动薄膜 21 的正反两面，与驱动薄膜一起构成组合薄膜，如图 1（b）所示，此时的组合薄膜仍然固定在固定框架上。

在组合薄膜制作完成之后，将事先设计好的模具按照图 1（b）的顺序放置在组合薄膜上，然后将含有固化剂的硅胶注入模具中，如图 1（c）所示，再放入恒温箱中，待硅胶固化后，柔性框架 11 便成型，同时组合薄膜与柔性框架牢牢粘合。此时再将外部柔性电极 4 直接涂抹于保护薄膜 6 正反两面的裸露部分。

本发明柔性智能动力结构的爬行结构为单向摩擦结构 7，选取 3 只不锈钢钩作为单向摩擦结构，在柔性框架 11 成型后，将不锈钢钩的一端按照一定布置方式（前端布置一只，后端布置两只）嵌入柔性框架 11 中，另一端伸出与地面接触，作为柔性智能动力结构的支脚或爬行脚，此时整个柔性智能动力结构就制作完成了，如图 1（d）所示。

本发明的柔性智能动力结构的尺寸即为柔性框架的尺寸，可根据不同的需要，选择不同大小的柔性框架来制作不同大小的柔性智能动力结构。

本发明柔性智能动力结构的驱动力产生原理如下：高压电源给内部柔性电极和外部柔性电极加上完全相反的电荷，即内部柔性电极加上正电荷，外部柔性电极加上负电荷，因此三层电极（内部一层，外部两层）中每相邻两层都产生吸引力，该吸引力对两层驱动薄膜产生一个沿着薄膜平面法向的挤压作用，使得原本经过预拉伸的驱动薄膜厚度变薄，面积增大，整体效果是使得驱动薄膜舒展开来；同时，内部柔性电极的正电荷之间相互排斥，使得内部柔性电极各部分之间产生排斥力，同理外部柔性电极各部分之间也产生排斥力，由于内部柔性电极、外部柔性电极均直接贴在驱动薄膜上，因此其效果也使得驱动薄膜舒展。而驱动薄膜由于经过预拉伸，具有回弹力，在固定到柔性框架上时，在通电之前会使柔性框架处于某一屈曲状态，当通电之后，由于驱动薄膜的舒展效果，会使得柔性框架的屈曲程度变小，甚至变回为平直状态，即该柔性智能动力结构舒张，此时断电，则柔性框架又回到原本的屈曲状态，即该柔性智能动力结构收缩。因此，当给柔性电极加上循环电压，如方波电压时，该柔性

智能动力结构就会不断地收缩和舒张，从而完成类似蠕虫的爬行运动。

由于本发明柔性智能动力结构的驱动原理是利用介电高弹聚合物的本征应变产生驱动力，因此需要高压电源作为输入源。将内部导线 51, 52 与高压电源火线连接，外部柔性电极 4 与高压电源地线连接，即可给内部柔性电极 31, 32 加上正电压，给外部柔性电极加上负电压。此时通过输入波形的调整即可实现柔性智能动力结构的爬行。

## 实施例 2

在本实施例中，采用实施例 1 的方法，采用 30mm\*30mm\*4mm（长\*宽\*厚度）的柔性框架制得尺寸为 30mm\*30mm\*4mm 的柔性智能动力结构，其质量经测量只有 5g，由于质量轻，该柔性智能动力结构在爬行时产生的噪声非常小，经测量仅有 10 分贝左右。

通过改变该实施例中外加电压的幅度与频率，可以改变该柔性智能动力结构的爬行速度，本实施例中的柔性智能动力结构通过实验测得，在 9kV, 16Hz 的方波信号输入下，其爬行速度最大，最大速度可达到 95mm/s，远高于现有柔性机器人的爬行速度。同时通过对柔性电极的分区控制，可以实现该柔性智能动力结构的灵活转弯。

此外，对该实施例中的柔性智能动力结构进行抗外压测试，用压头对柔性智能动力结构施加 1.55kN 的力将其压扁，其在 1 秒内就可以恢复原状继续爬行，并且维持原来的爬行速度。

如图 6 所示，本发明另外提供一种可快速放电并连续调节电压的小型高压电源模块，其中：

所述的可快速放电并连续调节电压的小型高压电源模块包括输入端口、功率开关模块、脉冲变压器、倍压整流电路、电压输出端、反馈分压电路、控制电路、隔离驱动模块、机械开关模块；

所述的输入端口，与功率开关模块相连接，用于为功率开关模块提供输入电压；

所述的功率开关模块，分别与所述的隔离驱动模块和所述的脉冲变压器相连接，受来自隔离驱动模块的开关驱动信号控制，将来自输入端口的输入电压变换为高频开关信号输出到脉冲变压器；

所述的脉冲变压器，分别与所述的功率开关模块和所述的倍压整流电路相

连接，用于将来自功率开关模块的高频开关信号隔离放大输出到倍压整流电路；

所述的倍压整流电路，分别与所述的脉冲变压器和所述的电压输出端相连接，用于将来自脉冲变压器的信号进行倍压，升压到所需要的电压整流输出到电压输出端；

所述的电压输出端，分别与所述的倍压整流电路、所述的机械开关模块和所述的反馈分压电路相连接，用于输出最终电压信号；

所述的反馈分压电路，分别与所述的电压输出端和控制电路相连接，用于将所述的电压输出端的电压信号反馈给所述的控制电路，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

所述的控制电路，分别与所述的隔离驱动模块、所述的反馈分压电路和所述的机械开关模块相连接，根据来自所述的反馈分压电路的信号产生开关控制信号和降压控制信号，将开关控制信号输出到所述的隔离驱动模块，将降压控制信号输出到机械开关模块，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

所述的隔离驱动模块，分别与所述的控制电路和所述的功率开关模块相连接，用于将来自所述的控制电路的开关控制信号进行功率放大并转换为开关驱动信号输出到功率开关模块，并且实现控制电路与功率开关模块的电气隔离；

所述的机械开关模块，分别与所述的电压输出端和所述的控制电路相连接，接受来自所述的控制电路的降压控制信号，将电压输出端的多余电量进行释放以实现输出电压的降压。

具体地，所述的控制电路为 STC89C51 芯片；所述的隔离驱动模块包括一个缓存驱动芯片和一个光耦合器；所述的缓存驱动芯片为 74HC244；所述的光耦合器为 TLP521-1。所述的倍压整流电路为一个十倍压整流电路。所述的控制电路为单片机控制电路，并且与机械开关模块相连接，用于控制机械开关在降压调压过程中进行近距离拉电弧短路以释放多余电量。

具体调压过程为：初始电压由输入端口提供输入到功率开关模块中，为功率开关模块供电。控制电路的控制信号经缓存驱动芯片进行电流放大以及光耦合器进行电气隔离后，输入到功率开关模块中，控制功率开关模块输出相应占空比的矩形脉冲电压。输出的脉冲电压经过脉冲变压器进行 50 倍电压放大，实现 0~600V 脉冲电压输出，通过倍压整流电路实现 0~6000V 直流电压输出。

电压输出端经一个 10 兆欧和 15 欧电阻的反馈分压电路馈给控制电路实现精准调压。

如图 7 (a) 所示, 机械开关模块具体操作方式为: 升压过程中, 机械开关模块位置保持不变; 降压调压过程中, 控制信号输入使单片机程序运行, 调节微型舵机转角, 在输出端用微型舵机控制动触片与固定触片进行近距离拉电弧短路, 将电容中多余电量放掉, 同时放电完毕后单片机控制电路立即控制舵机反转, 迅速回复到初始位置, 实现降压和安全保护。

如图 7 (b) 所示, 为一个十倍压整流电路图。十倍压整流电路为 5 个二倍压整流电路的串联, 在此通过二倍压对整个倍压整流电路的工作原理作简要说明。

如图 8 所示, 为一个二倍压整流电路图。变压器两端为高频交流电, 峰值电压为  $E_2$ 。两端电压在负半周 (变压器上端为负电压, 下端为正电压) 时, 二极管  $D_B$  导通,  $D_A$  截止, 电流经过  $D_B$  对  $C_1$  充电, 将电容  $C_1$  上的电压充到接近电压的峰值  $E_2$  并基本保持不变。此时电容  $C_1$  左端为负, 右端为正。电压在正半周 (变压器上端为正电压, 下端为负电压) 时, 二极管  $D_A$  导通,  $D_B$  截止。此时, 电容  $C_2$  两端电压为电容  $C_1$  与电源电压  $E_2$  串联相加, 电流经  $D_A$  对电容  $C_2$  充电, 充电电压  $U_2 = 2E_2$ , 在一个周期内很难将电充满, 经过几个周期反复充电,  $C_2$  上的直流电压基本稳定在  $2E_2$  了, 实现了交流电 2 倍放大整流的作用。5 个二倍压整流电路的串联就可以实现十倍压放大整流。

应当理解, 这些实施例仅用于说明本发明, 并不用以限制本发明的范围。凡在本发明的精神和原则之内, 所做的任何修改、等效替换等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

## 权利要求

1. 一种柔性智能动力结构，其特征在于：所述的柔性智能动力结构包括柔性框架（11）、驱动结构和活动结构，例如爬行结构，其中：
  - 所述的驱动结构利用智能软材料的本征应变产生驱动力；
  - 所述的活动结构用于实现柔性智能动力结构的自主活动；
  - 所述的驱动结构和活动结构附着在所述的柔性框架（11）上。
2. 根据权利要求 1 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的驱动结构包括驱动薄膜（21）和外部柔性电极（4），所述的外部柔性电极（4）涂在驱动薄膜（21）的两面，所述的柔性智能动力结构的驱动力由驱动薄膜（21）的收缩和舒张产生。
3. 根据权利要求 1 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的驱动结构包括驱动薄膜组、内部柔性电极（31，32）、内部导线（51，52）、外部柔性电极（4），所述的驱动薄膜组由两片驱动薄膜（21）粘合而成，所述的内部柔性电极（31，32）封装在两片驱动薄膜（21）内部，所述的内部导线（51，52）一端分别与内部柔性电极（31，32）接触，另一端引出与外接电源的一极连接，所述的外部柔性电极（4）涂在所述的驱动薄膜组的外表面，并与外接电源的另一极连接，所述的柔性智能动力结构的驱动力由驱动薄膜（21）或驱动薄膜组的收缩和舒张产生。
4. 根据权利要求 2 或 3 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的驱动薄膜（21）为经过预拉伸的柔性绝缘薄膜。
5. 根据权利要求 1 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的活动结构为多个单向摩擦结构（7），所述的单向摩擦结构（7）一端嵌入柔性框架（11）内部，另一端作为柔性智能动力结构的活动支脚或爬行脚。
6. 根据权利要求 5 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的单向摩擦结构（7）为方向可调的结构。
7. 根据权利要求 1-6 任一项所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的柔性智能动力结构进一步还包括保护结构，所述的保护结构用于保护所述的驱动结构，所述的保护结构附着在柔性框架（11）上。
8. 根据权利要求 7 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的保护结构为

两片经过预拉伸的保护薄膜（6），所述的保护薄膜（6）为柔性绝缘薄膜，所述的两片保护薄膜（6）分别贴在驱动薄膜（21）或薄膜组的两侧。

9. 根据权利要求 8 所述的柔性智能动力结构，其特征在于：所述的两片驱动薄膜（21）和两片保护薄膜（6）粘合在一起，并附着在柔性框架（11）上，使柔性框架（11）产生向一个方向或向一个主平面的方向的弯曲。

10. 一种柔性智能动力结构组，其特征在于：所述的柔性智能动力结构组由多个权利要求 1-9 任一项所述柔性智能动力结构组成，所述的这些柔性智能动力结构的连接方式为串联和/或并联，所述的多个柔性智能动力结构通过柔性框架粘接。

11. 根据权利要求 1-9 的任一项所述的柔性智能动力结构或权利要求 10 所述的柔性智能动力结构组，其特征在于，其进一步包括用于所述驱动结构的电源模块。

12. 根据权利要求 11 所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于，所述电源模块为可快速放电并连续调节电压的小型高压电源模块，它包括输入端口、功率开关模块、脉冲变压器、倍压整流电路、电压输出端、反馈分压电路、控制电路、隔离驱动模块、机械开关模块；

所述的输入端口，与功率开关模块相连接，用于为功率开关模块提供输入电压；

所述的功率开关模块，分别与所述的隔离驱动模块和所述的脉冲变压器相连接，受来自隔离驱动模块的开关驱动信号控制，将来自输入端口的输入电压变换为高频开关信号输出到脉冲变压器；

所述的脉冲变压器，分别与所述的功率开关模块和所述的倍压整流电路相连接，用于将来自功率开关模块的高频开关信号隔离放大输出到倍压整流电路；

所述的倍压整流电路，分别与所述的脉冲变压器和所述的电压输出端相连接，用于将来自脉冲变压器的信号进行倍压，升压到所需要的电压整流输出到电压输出端；

所述的电压输出端，分别与所述的倍压整流电路、所述的机械开关模块和所述的反馈分压电路相连接，用于输出最终电压信号；

所述的反馈分压电路，分别与所述的电压输出端和控制电路相连接，用于

将所述的电压输出端的电压信号反馈给所述的控制电路，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

所述的控制电路，分别与所述的隔离驱动模块、所述的反馈分压电路和所述的机械开关模块相连接，根据来自所述的反馈分压电路的信号产生开关控制信号和降压控制信号，将开关控制信号输出到所述的隔离驱动模块，将降压控制信号输出到机械开关模块，实现所述的高压电源模块输出电压的稳压调节；

所述的隔离驱动模块，分别与所述的控制电路和所述的功率开关模块相连接，用于将来自所述的控制电路的开关控制信号进行功率放大并转换为开关驱动信号输出到功率开关模块，并且实现控制电路与功率开关模块的电气隔离；

所述的机械开关模块，分别与所述的电压输出端和所述的控制电路相连接，接受来自所述的控制电路的降压控制信号，将电压输出端的多余电量进行释放以实现输出电压的降压。

13. 根据权利要求 12 所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述的机械开关模块包含两个触片和一个微型舵机；所述的两个触片包括一个动触片和一个固定触片，动触片与电压输出端的正极相连接，固定触片与电压输出端的负极相连接；动触片与所述的微型舵机相连接；所述的微型舵机分别与所述的动触片和所述的控制电路相连接。

14. 根据权利要求 13 所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述的隔离驱动模块包括一个缓存驱动芯片和一个光耦合器；所述的缓存驱动芯片分别与所述的控制电路和所述的光耦合器相连接；所述的光耦合器分别与所述的缓存驱动芯片和所述的功率开关模块相连接。

15. 根据权利要求 12-14 任一项所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述的输入端口电压范围为直流 5 伏~32 伏。

16. 根据权利要求 12-15 任一项所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述的输出快速降压的放电时间在 700 毫秒以下。

17. 根据权利要求 12-16 任一项所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构

组，其特征在于：所述的控制电路为单片机控制电路。

18. 根据权利要求 12-17 任一项所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述高压电源模块输出电压为直流 0 伏～6000 伏连续可调。

19. 根据权利要求 80 所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述脉冲变压器输出 0 伏～600 伏的高频开关信号。

20. 根据权利要求 19 所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：

所述的倍压整流电路为十倍压整流电路。

21. 根据权利要求 12-20 任一项所述的柔性智能动力结构或柔性智能动力结构组，其特征在于：所述高压电源模块输出电压为直流 2000 伏～15000 伏连续可调。

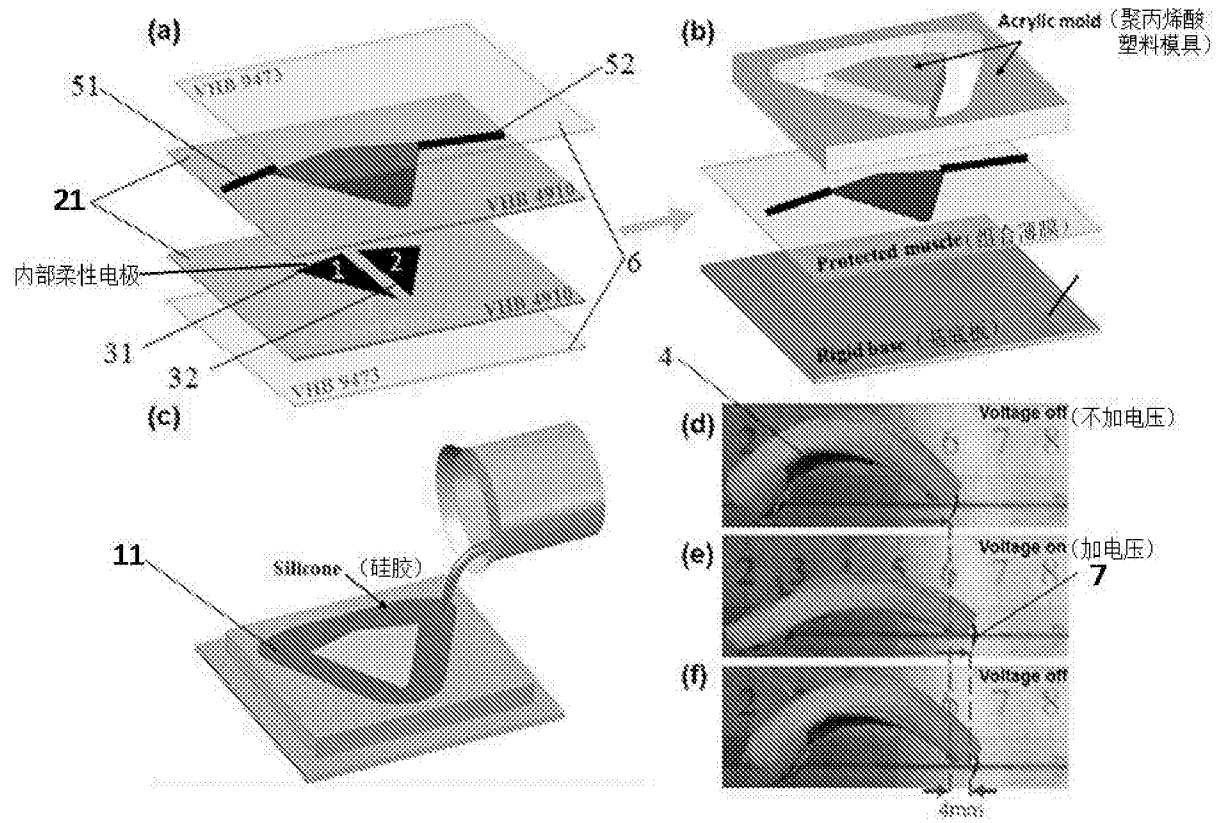


图 1

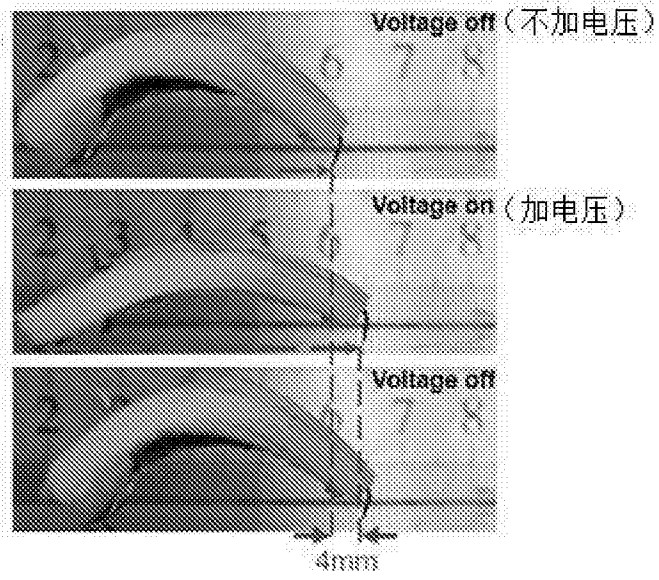


图 2

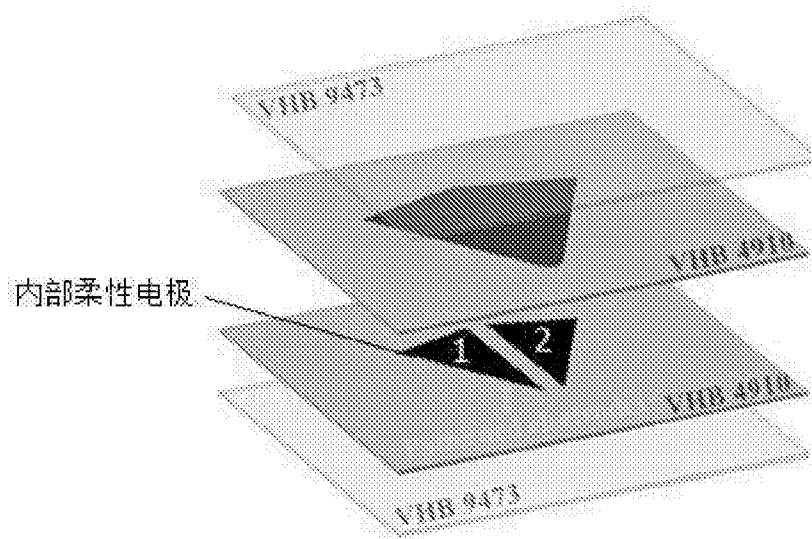


图 3

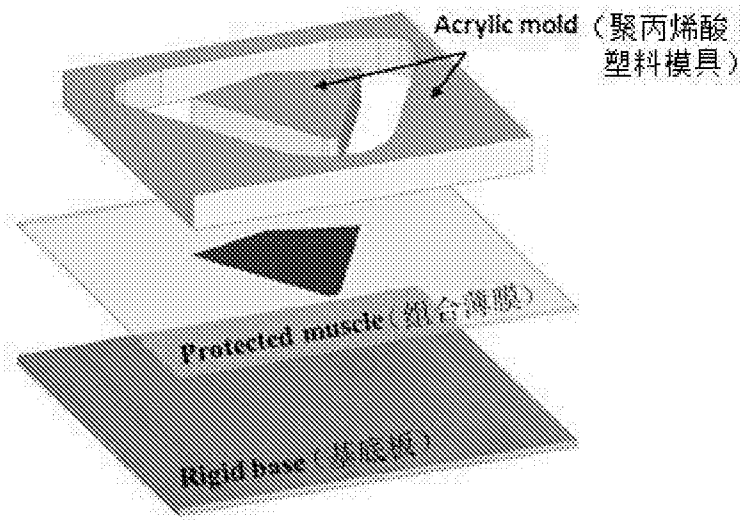


图 4

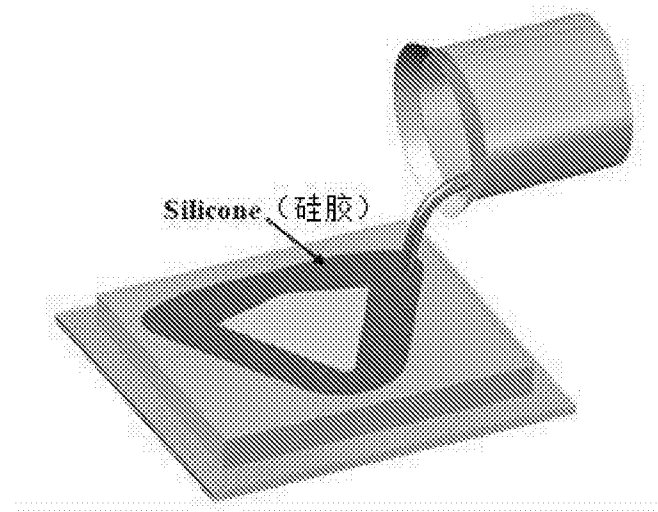


图 5

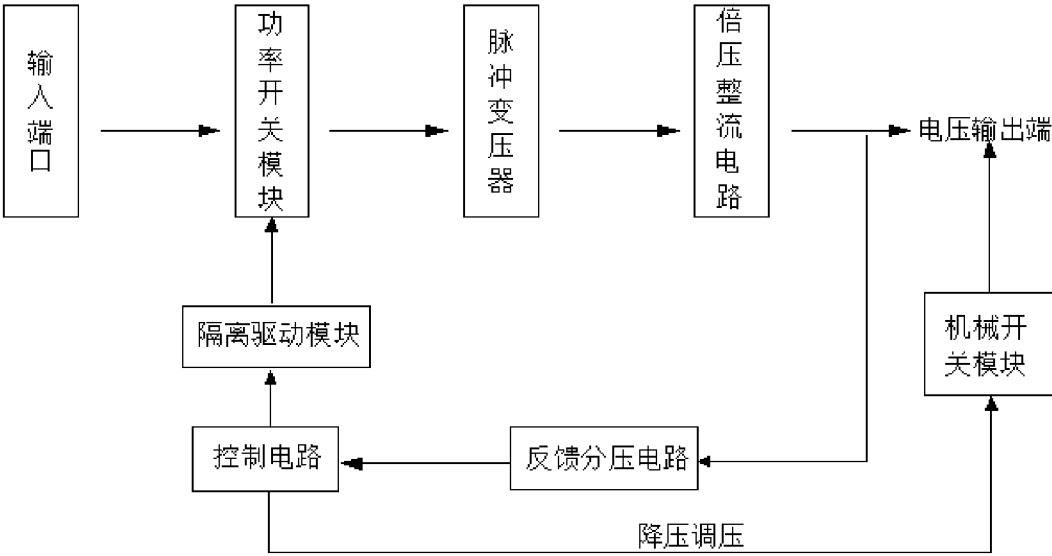


图 6

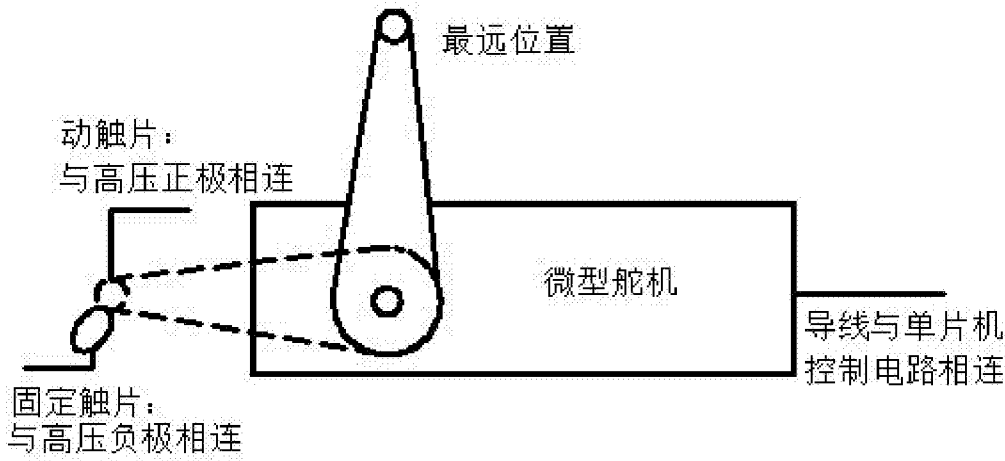


图 7 (a)

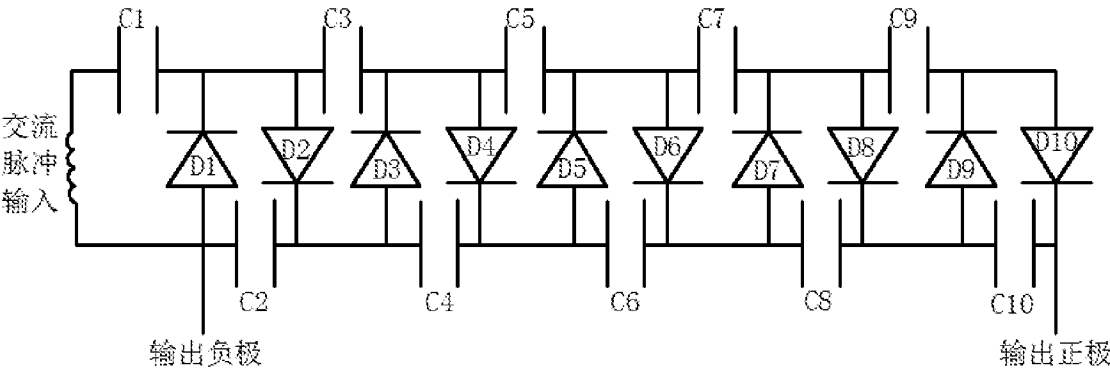


图 7 (b)

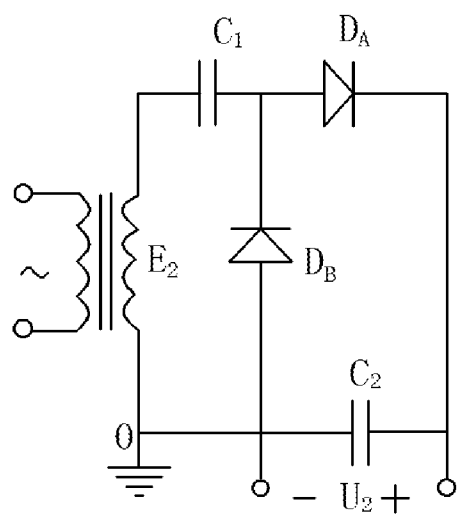


图 8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2014/077492

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N 2/00 (2006.01) i; H01L 41/193 (2006.01) i; H02N 11/00 (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; H01L; B81B; B25J; B62D; H02M

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; SIPOABS; VEN: robot+, polymer, actuator, intelligent, electrode, creep, flexible, film, soft material

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                        | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | CN 103208942 A (HARBIN INST TECHNOLOGY) 17 July 2013 (17.07.2013) description, paragraphs [0002], [0010] and [0014]-[0018] and figures 1 and 2            | 1-3, 5-7              |
| Y         | CN 103208942 A (HARBIN INST TECHNOLOGY) 17 July 2013 (17.07.2013) description, paragraphs [0002], [0010] and [0014]-[0018] and figures 1 and 2            | 4, 8, 9               |
| X         | CN 102275858 A (UNIV NANJING AERONAUTICS & ASTRONAUTICS) 14 December 2011 (14.12.2011) description, paragraphs [0019], [0090] and [0091] and figures 1-19 | 1, 2, 10, 11          |
| X         | US 2008082209 A1 (KANG SANG SEUNG et al.) 03 April 2008 (03.04.2008) description, paragraphs [0037] and figure 3B                                         | 1                     |
| Y         | WO 2012099854 A1 (BAYER MATERIALSCIENCE AG et al.) 26 July 2012 (26.07.2012) claim 15, description, pages 18-22 and figures 11-18                         | 4, 8, 9               |
| A         | CN 103203311 A (LI, Tiefeng) 17 July 2013 (17.07.2013) the whole document                                                                                 | 1-21                  |
| A         | US 2011133607 A1 (KOREA ELECTRONICS TELECOMM) 09 June 2011 (09.06.2011) the whole document                                                                | 1-21                  |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "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                                              |
| "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                                                                               | "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                                                                     |
| "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) | "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 |
| "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                                                                  | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                                                                                               |                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Date of the actual completion of the international search<br>20 August 2014                                                                                                                                   | Date of mailing of the international search report<br>03 September 2014    |
| Name and mailing address of the ISA<br>State Intellectual Property Office of the P. R. China<br>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao<br>Haidian District, Beijing 100088, China<br>Facsimile No. (86-10) 62019451 | Authorized officer<br><br>ZHANG, Jun<br><br>Telephone No. (86-10) 62084811 |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**International application No.  
PCT/CN2014/077492

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                      | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | US 8471438 B2 (YAMAMOTO JUN et al.) 25 June 2013 (25.06.2013) the whole document                        | 1-21                  |
| A         | US 2010244634 A1 (SONY CORP.) 09 September 2010 (30.09.2010) the whole document                         | 1-21                  |
| A         | CN 101884160 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD et al.) 10 November 2010 (10.11.2010) the whole document | 1-21                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2014/077492

| Patent Documents referred<br>in the Report | Publication Date  | Patent Family    | Publication Date  |
|--------------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| CN 103208942 A                             | 17 July 2013      | None             |                   |
| CN 102275858 A                             | 14 December 2011  | None             |                   |
| US 2008082209 A1                           | 03 April 2008     | KR 20080030354 A | 04 April 2008     |
|                                            |                   | KR 100834572 B1  | 02 June 2008      |
| WO 2012099854 A1                           | 26 July 2012      | CA 2824860 A1    | 26 July 2012      |
|                                            |                   | KR 20140012062 A | 29 January 2014   |
|                                            |                   | JP 2014506691 A  | 17 March 2014     |
|                                            |                   | MX 2013008183 A  | 30 October 2013   |
|                                            |                   | CN 103502908 A   | 08 January 2014   |
|                                            |                   | SG 191895 A1     | 30 August 2013    |
|                                            |                   | EP 2666072 A1    | 27 November 2013  |
|                                            |                   | TW 201250518 A   | 16 December 2012  |
| CN 103203311 A                             | 17 July 2013      | None             |                   |
| US 2011133607 A1                           | 09 June 2011      | KR 20110062218 A | 10 June 2011      |
| US 8471438 B2                              | 25 June 2013      | US 2011050040 A1 | 03 March 2011     |
|                                            |                   | JP 2011072180 A  | 07 April 2011     |
| US 2010244634 A1                           | 09 September 2010 | CN 101847941 B   | 27 March 2013     |
|                                            |                   | CN 101847941 A   | 29 September 2010 |
|                                            |                   | US 8310138 B2    | 13 November 2012  |
|                                            |                   | JP 5402140 B2    | 29 January 2014   |
|                                            |                   | JP 2010226898 A  | 07 October 2010   |
| CN 101884160 A                             | 10 November 2010  | CN 101884160 B   | 27 February 2013  |
|                                            |                   | US 2010096950 A1 | 22 April 2010     |
|                                            |                   | JP 4496281 B2    | 07 July 2010      |
|                                            |                   | US 7839055 B2    | 23 November 2010  |
|                                            |                   | WO 2009119069 A1 | 01 October 2009   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                             |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| A. 主题的分类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                             |                      |
| H02N 2/00(2006.01)i; H01L 41/193(2006.01)i; H02N 11/00(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; H01L; B81B; B25J; B62D; H02M                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                             |                      |
| 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; SIPOABS; VEN:robot+, 智能, 机器人, 电极, 爬, polymer, 柔性, 软材料, 薄膜, 聚合物, 致动器, actuator, 爬                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                             |                      |
| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 103208942 A (哈尔滨工业大学) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17)<br>说明书第2, 10, 14-18段, 图1-2                           | 1-3, 5-7             |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 103208942 A (哈尔滨工业大学) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17)<br>说明书第2, 10, 14-18段, 图1-2                           | 4, 8, 9              |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 102275858 A (南京航空航天大学) 2011年 12月 14日 (2011 - 12 - 14)<br>说明书第19, 90-91段, 图1-19                           | 1, 2, 10, 11         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | US 2008082209 A1 (KANG SANG SEUNG等) 2008年 4月 03日 (2008 - 04 - 03)<br>说明书第 0037段、附图3B                        | 1                    |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | WO 2012099854 A1 (BAYER MATERIALSCIENCE AG等) 2012年 7月 26日 (2012 - 07 - 26)<br>权利要求15, 说明书第18 - 22页, 附图11-18 | 4, 8, 9              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CN 103203311 A (李铁风) 2013年 7月 17日 (2013 - 07 - 17)<br>全文                                                    | 1-21                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                             |                      |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“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)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“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<br>“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<br>“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<br>“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<br>“&” 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           |
| 2014年 8月 20日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                             | 2014年 9月 03日         |
| ISA/CN的名称和邮寄地址                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                             | 授权官员                 |
| 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)<br>北京市海淀区蓟门桥西土城路6号<br>100088 中国                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                             | 张军                   |
| 传真号 (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                             | 电话号码 (86-10)62084811 |

## 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 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| A    | US 2011133607 A1 (KOREA ELECTRONICS TELECOMM) 2011年 6月 09日 (2011 - 06 - 09)<br>全文 | 1-21    |
| A    | US 8471438 B2 (YAMAMOTO JUN等) 2013年 6月 25日 (2013 - 06 - 25)<br>全文                 | 1-21    |
| A    | US 2010244634 A1 (SONY CORP) 2010年 9月 30日 (2010 - 09 - 30)<br>全文                  | 1-21    |
| A    | CN 101884160 A (松下电器产业株式会社等) 2010年 11月 10日 (2010 - 11 - 10)<br>全文                 | 1-21    |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/077492

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |             |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|-------------|----|----------------|
| CN          | 103208942  | A  | 2013年 7月 17日   | 无    |             |    |                |
| CN          | 102275858  | A  | 2011年 12月 14日  | 无    |             |    |                |
| US          | 2008082209 | A1 | 2008年 4月 03日   | KR   | 20080030354 | A  | 2008年 4月 04日   |
|             |            |    |                | KR   | 100834572   | B1 | 2008年 6月 02日   |
| WO          | 2012099854 | A1 | 2012年 7月 26日   | CA   | 2824860     | A1 | 2012年 7月 26日   |
|             |            |    |                | KR   | 20140012062 | A  | 2014年 1月 29日   |
|             |            |    |                | JP   | 2014506691  | A  | 2014年 3月 17日   |
|             |            |    |                | MX   | 2013008183  | A  | 2013年 10月 30日  |
|             |            |    |                | CN   | 103502908   | A  | 2014年 1月 08日   |
|             |            |    |                | SG   | 191895      | A1 | 2013年 8月 30日   |
|             |            |    |                | EP   | 2666072     | A1 | 2013年 11月 27日  |
|             |            |    |                | TW   | 201250518   | A  | 2012年 12月 16日  |
| CN          | 103203311  | A  | 2013年 7月 17日   | 无    |             |    |                |
| US          | 2011133607 | A1 | 2011年 6月 09日   | KR   | 20110062218 | A  | 2011年 6月 10日   |
| US          | 8471438    | B2 | 2013年 6月 25日   | US   | 2011050040  | A1 | 2011年 3月 03日   |
|             |            |    |                | JP   | 2011072180  | A  | 2011年 4月 07日   |
| US          | 2010244634 | A1 | 2010年 9月 30日   | CN   | 101847941   | B  | 2013年 3月 27日   |
|             |            |    |                | CN   | 101847941   | A  | 2010年 9月 29日   |
|             |            |    |                | US   | 8310138     | B2 | 2012年 11月 13日  |
|             |            |    |                | JP   | 5402140     | B2 | 2014年 1月 29日   |
|             |            |    |                | JP   | 2010226898  | A  | 2010年 10月 07日  |
| CN          | 101884160  | A  | 2010年 11月 10日  | CN   | 101884160   | B  | 2013年 2月 27日   |
|             |            |    |                | US   | 2010096950  | A1 | 2010年 4月 22日   |
|             |            |    |                | JP   | 4496281     | B2 | 2010年 7月 07日   |
|             |            |    |                | US   | 7839055     | B2 | 2010年 11月 23日  |
|             |            |    |                | WO   | 2009119069  | A1 | 2009年 10月 01日  |

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)