

(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
2025 年 1 月 2 日 (02.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/001925 A1

(51) 国际专利分类号:
B25J 15/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/099917

(22) 国际申请日: 2024 年 6 月 18 日 (18.06.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310768913.7 2023年6月27日 (27.06.2023) CN

(71) 申请人: 香港理工大学 (**THE HONG KONG POLYTECHNIC UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。上海交通大学(**SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(72) 发明人: 马源(**MA, Yuan**); 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。王京(**WANG, Jing**); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。胡晓丹(**HU, Xiaodan**); 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。陈殷彤(**CHAN, Yan Tung**); 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。观晋宇(**KOON, Chun Yu**); 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。沈卓诚(**SUM, Cheuk Shing**); 中国中华人民共和国香港特别行政区九龙红磡育才道11号, Hong Kong (CN)。

(74) 代理人: 深圳中一联合知识产权代理有限公司 (**SHENZHEN ZHONGYI UNION INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO.,LTD.**); 中国广东省深圳市福田区莲花街道紫荆

(54) **Title:** BIONIC FINGER, FIXTURE, AND MANUFACTURING METHOD FOR BIONIC FINGER

(54) 发明名称: 仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法

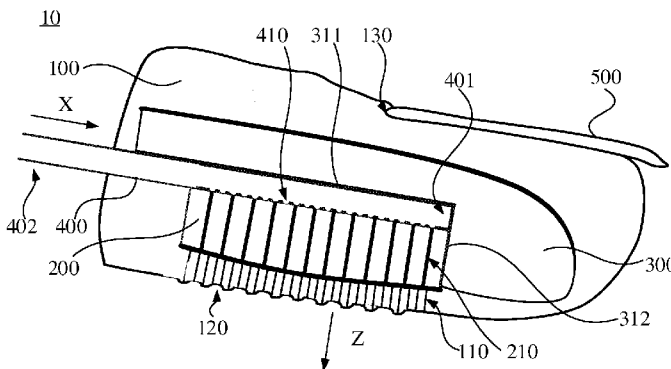


图 1

(57) **Abstract:** A bionic finger (10), comprising: skin (100), an elastomer (200), a rigid supporting member (300) and a liquid delivery tube (400), wherein the skin (100) is provided with first liquid output holes (110); the elastomer (200) is wrapped and mounted in the skin (100), the elastomer (200) is provided with second liquid output holes (210), and the rigid supporting member (300) is wrapped and mounted in the skin (100); and a side portion of a first end (401) of the liquid delivery tube (400) is provided with third liquid output holes (410), the third liquid output holes (410), the second liquid output holes (210) and the first liquid output holes (110) are in communication with each other, and a second end (402) of the liquid delivery tube (400) extends to the outside of the skin (100). When the skin (100) of the bionic finger (10) comes into contact with a grabbed object, a liquid can flow from the second end (402) of the liquid delivery tube (400) located outside the skin (100) to the first end (401) of the liquid delivery tube (400) located inside the skin (100), and reaches a position between the skin (100) and the grabbed object sequentially through the third liquid output holes (410), the second liquid output holes (210) and the first liquid output holes (110), such that a friction coefficient between the bionic finger (10) and the grabbed object is changed, and thus a friction force between the bionic finger and the grabbed object is changed,

社区深南大道6008号深圳特区报业大厦
33层, Guangdong 518034 (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,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

thereby solving the technical problem of being unable to adjust the friction force with the bionic finger. Further provided are a fixture, and a manufacturing method for the bionic finger.

(57) 摘要: 一种仿生手指(10), 包括表皮(100)、弹性体(200)、刚性支撑件(300)和送液管(400), 表皮(100)具有第一出液孔(110); 弹性体(200)包裹安装于表皮(100)中, 弹性体(200)具有第二出液孔(210), 刚性支撑件(300)包裹安装于表皮(100)中; 送液管(400)的第一端(401)的侧部具有第三出液孔(410), 第三出液孔(410)、第二出液孔(210)和第一出液孔(110)连通, 送液管(400)的第二端(402)延伸至表皮(100)的外部。其中, 仿生手指(10)的表皮(100)接触被抓取物时, 液体可以从位于表皮(100)外部的送液管(400)的第二端(402)流到位于表皮(100)内部的送液管(400)的第一端(401), 依次通过第三出液孔(410)、第二出液孔(210)和第一出液孔(110)到达表皮(100)与被抓取物之间, 改变仿生手指(10)与被抓取物之间的摩擦系数, 进而改变二者的摩擦力, 解决了仿生手指存在着摩擦力不能调节的技术问题。还提供一种夹具及仿生手指的制造方法。

仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法

本申请要求于 2023 年 6 月 27 日在中国专利局提交的、申请号为 202310768913.7、发明名称为“仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

5 本申请涉及仿生机械技术领域，尤其是涉及一种仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法。

背景技术

仿生机械为现代发展的一种前沿技术，例如仿生动物、仿生机械臂以及仿生手指等。目前，仿生手指在抓取过程中与被抓取物之间的摩擦力固定，导致如果摩擦力过小，被抓取物容易被滑落，如果摩擦力过大，被抓取物容易被抓扁或变形，不能采用合适的力度实现对被抓取物的抓取。

10 因此，现有的仿生手指存在着摩擦力不能调节的技术问题。

技术问题

本申请的目的在于提供一种仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法，旨在解决现有的仿生手指摩擦力不能调节的技术问题。

技术解决方案

15 第一方面，本申请提供了一种仿生手指，所述仿生手指包括：

表皮，所述表皮具有第一出液孔；

弹性体，所述弹性体包裹安装于所述表皮中，所述弹性体具有第二出液孔，所述第二出液孔和所述第一出液孔连通；

刚性支撑件，所述刚性支撑件包裹安装于所述表皮中；

20 送液管，所述送液管的第一端包裹安装于所述表皮中，所述送液管的第一端支撑于所述刚性支撑件和所述弹性体之间，所述送液管的第一端的侧部具有第三出液孔，所述第三出液孔和所述第二出液孔连通，所述送液管的第二端延伸至所述表皮的外部。

第二方面，本申请提供了一种夹具，所述夹具包括张合驱动件和至少两个上述任意一项所述仿生手指，所述张合驱动件与所述仿生手指连接，以驱动至少两个所述仿生手指相互靠近或相互远离。

25 第三方面，本申请提供了一种制造如上述仿生手指的方法，所述方法包括以下步骤：

提供具有第一出液孔的表皮；

将弹性体安装在所述表皮的一表面，且所述弹性体至少覆盖部分所述第一出液孔；

将送液管的第一端安装在所述弹性体远离所述表皮的一侧，且所述送液管的第二端位于所述表皮的外部；

30 将刚性支撑件安装于所述送液管；

将所述表皮折叠，以使所述表皮包裹所述弹性体、所述送液管的第一端和所述刚性支撑件。

有益效果

本申请提供的仿生手指、夹具及仿生手指的制造方法的有益效果是：仿生手指的表皮接触被抓取物时，诸如仿生汗液、纯净水、盐水或油等极性液体或非极性液体可以从位于表皮外部的送液管的第二端流到位于表皮内部的送液管的第一端，依次通过第三出液孔、第二出液孔和第一出液孔到达表皮与被抓取物之间，改变仿生手指与被抓取物之间的摩擦系数，进而改变二者的摩擦力，解决了现有的仿生手指存在着摩擦力不能调节的技术问题。

附图说明

40 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述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申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本申请实施例提供的仿生手指的结构示意图；

图 2 为实施例提供的仿生手指的实物图；

图 3 为实施例提供的仿生手指的表皮的实物图；

45 图 4 为实施例提供的仿生手指的表皮的二十倍局部实物图；

图 5 为实施例提供的仿生手指的表皮的五十倍局部实物图；

图 6 为实施例提供的仿生手指的刚性支撑件的结构示意图；

图 7 为实施例提供的仿生手指的刚性支撑件的又一结构示意图；

图 8 为实施例提供的仿生手指的刚性支撑件的实物图；

5 图 9 为实施例提供的仿生手指的刚性支撑件的又一实物图；

图 10 为干燥的人体手指的平均摩擦力的测试图；

图 11 为干燥的仿生手指的平均摩擦力的测试图；

图 12 为半干燥的人体手指的平均摩擦力的测试图；

图 13 为湿润的人体手指的平均摩擦力的测试图；

10 图 14 为干燥的人体手指在玻璃材质上的平均摩擦力的测试图；

图 15 为注射泵供应不同水量下的仿生手指在玻璃材质上的平均摩擦力的测试图；

图 16 为仿生手指的平均摩擦力随着注射的水量的变化曲线图的测试图；

图 17 为干燥的人体手指在皮革材质上的平均摩擦力的测试图；

图 18 为干燥的仿生手指在皮革材质上的平均摩擦力的测试图；

15 图 19 为注射泵供应不同水量下的仿生手指在皮革材质上的平均摩擦力的测试图；

图 20 为注射泵供应不同水量下的仿生手指在皮革材质上的平均摩擦系数的测试图；

图 21 为实施例提供的夹具的结构示意图；

图 22 为实施例提供的仿生手指的制备方法的流程示意图；

图 23 为实施例提供的制造方法中的提供表皮的流程示意图；

20 图 24 为实施例提供的成型模具的实物图；

图 25 为实施例中的打孔部件放置在成型模具上的实物图；

图 26 为实施例提供的打孔部件的实物图。

其中，图中各附图标记：

25 10、仿生手指；20、夹具；21、张合驱动件；30、成型模具；31、成型凹槽；40、打孔部件；41、

第一微针；42、滚轮；43、手柄；

100、表皮；110、第一出液孔；120、图案化凹槽；130、安装槽；

200、弹性体；210、第二出液孔；

300、刚性支撑件；310、支撑槽；311、第一支撑面；312、第二支撑面；313、第三支撑面；320、刚性支撑平面；330、刚性支撑弧面；331、圆柱弧面；332、球形弧面；

30 400、送液管；401、第一端；402、第二端；410、第三出液孔；

500、刚性片。

本发明的实施方式

下面详细描述本申请的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本申请，而不能理解为对本申请的限制。

35 在整个说明书中参考“一个实施例”或“实施例”意味着结合实施例描述的特定特征，结构或特性包括在本申请的至少一个实施例中。因此，“在一个实施例中”或“在一些实施例中”的短语出现在整个说明书的各个地方，并非所有的指代都是相同的实施例。此外，在一个或多个实施例中，可以以任何合适的方式组合特定的特征，结构或特性。

40 在本申请的描述中，需要理解的是，术语“长度”、“宽度”、“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为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

45 此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。

在本申请中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以

是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

实施例一

5 针对现有的仿生手指抓取被抓取物时摩擦力不能调节的技术问题，本申请的发明人深入分析仿生手指的摩擦学机理。

参见式(1)，根据阿蒙顿摩擦定律，在两个物体接触表面之间的摩擦力 F_f 与所施加的载荷 N 成线性比例，还与接触面的粗糙程度成线性比例，用摩擦系数 μ 表示。

$$F_f = \mu N \quad (1)$$

10 然而，阿蒙顿摩擦定律适合宏观摩擦，不适合仿生手指的纳米级接触的摩擦力计算。根据波登-塔伯摩擦定律(the Bowden-tabor law of friction)，摩擦力与实际接触面积成正比。同时，摩擦力还与两个物体接触表面之间的润滑膜的剪切强度有关，尤其是在边界润滑状态下，润滑膜的剪切强度对摩擦力的影响很大，而且人体手指在真实状态下会出汗，即人体手指与被抓取物体之间存在润滑膜，因此，发明人计划通过改变仿生手指与被抓取物之间的润滑状态实现调节摩擦力，更符合实际人体手指的摩擦力情况。

15 结合图1，本申请提供的仿生手指10包括表皮100、弹性体200、刚性支撑件300和送液管400。表皮100具有第一出液孔110。弹性体200包裹安装于表皮100中，弹性体200具有第二出液孔210，第二出液孔210和第一出液孔110连通。刚性支撑件300包裹安装于表皮100中。送液管400的第一端401包裹安装于表皮100中，送液管400的第一端401支撑于刚性支撑件300和弹性体200之间，送液管400的第一端401的侧部具有第三出液孔410，第三出液孔410和第二出液孔210连通，送液管400的第二端402延伸至表皮100的外部。

其中，仿生手指10的表皮100接触被抓取物时，液体可以从位于表皮100外部的送液管400的第二端402流到位于表皮100内部的送液管400的第一端401，依次通过第三出液孔410、第二出液孔210和第一出液孔110到达表皮100与被抓取物之间，改变仿生手指10与被抓取物之间的润滑状态及摩擦系数，进而能够调节仿生手指10与被抓取物体之间的摩擦力。

25 本实施例中，液体可以是仿生汗液、纯净水、盐水或油等极性液体或非极性液体，可以是两种以上的液体的混合物，在此不再具体限定。液体可以通过动力泵导入送液管400内，比如，采用注射泵可以向送液管400输送恒定且可控的液体。注射泵包括储液器和可移动活塞，前者储存液体，后者控制液体输送。

30 图2为实施例提供的仿生手指10的实物图。表皮100相当于仿生手指10的皮肤，弹性件相当于仿生手指10的组织，刚性支撑件300相当于仿生手指10的骨骼，送液管400相当于仿生手指10的血管。表皮100包裹了弹性体200、刚性支撑件300和送液管400。其中，送液管400的第二端402露出于表皮100，用于外部液体的注入。刚性支撑件300可以全部包裹于表皮100中，也可以部分露出于表皮100外。

35 本实施例提供的仿生手指10可以模拟手指出汗情况，可应用于多种场景，实现多种用途。在一些场景中，仿生手指10可以通过出液的方式控制摩擦力，实现可靠的抓取。例如，通过控制摩擦力可以抓取不同种类、不同刚度及不同尺寸的物体，既不会因摩擦力过大而损坏被抓取物，也不会因摩擦力过小而导致被抓取物脱落。在一些场景中，由于相同润滑状态下，仿生手指10与不同材料种类的被抓取物之间的摩擦系数不同，仿生手指10可以通过出液的方式，测量与被抓取物之间的摩擦系数，进而实现对被抓取物的表面识别。在一些场景中，仿生手指10能够模拟出汗的情况，更加真实地模拟人体手指的实际行为，能够代替人体手指用于科学研究或者模拟触摸等人类行为。

40 在一些实施例中，表皮100包裹套接弹性体200、刚性支撑件300和送液管400。表皮100折叠形成一个套体。

45 在一些实施例中，表皮100的主要材料包括硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯、天然橡胶、硅胶、氟化硅胶、苯乙烯类热塑性弹性体和乳胶中的至少一种。即，表皮100可以由硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯和乳胶中一种或多种构成，表皮100可以由硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯和乳胶中一种或多种，以及其他的辅助材料构成。辅助材料可以是彩色颜料，也使表皮100显示为不同肤色。其中，硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯和乳胶的质量合计占表皮100的质量的50%以上。

具体地，表皮 100 的主要材料为硅酮。第一，硅酮是含有 Si、O、C 和 H 以及其他次生元素的无机-有机聚合物，单独的硅树脂具有与皮肤相似的折射率和颜色，可以通过结合其他物质和不同材料结构进一步调节折射率和颜色。第二，硅酮还可以允许表面再生，产生手指皮肤的表面形态。第三，基于硅树脂的模型可以用于模拟多种特性，且具有易于加工制备、无毒性 and 长期稳定性的特点。从材料科学的角度来看，真实手指的皮肤是一个非常复杂的主动开放系统，由高度不均匀和各向异性的复合材料组成，皮肤还用于身体和环境积极地交换质量和热量。因此，采用硅酮作为主要材料制备表皮 100，能够获得和手指皮肤相似的特性。

具体地，表皮 100 的主要材料为聚氨酯。由于聚氨酯是一种可塑性较强的材料，可以制成具有类似皮肤质感和弹性的模型，能够很好地模拟手指皮肤。

具体地，表皮 100 的主要材料为丙烯酸酯，丙烯酸酯是一种透明的材料，可以和柔顺材料混合，制成柔软的、类似皮肤的表皮 100。透明的表皮 100，能够方便工作人员贯穿仿生手指 10 的内部运行状态。

具体地，表皮 100 的主要材料为乳胶，乳胶具有柔软、弹性好且透明性的特点，适用于制备仿真皮肤。

图 3 为发明人采用硅酮作为主要材料制成的表皮 100，柔软，具有弹性，具有微孔（即第一出液孔 110），能够仿真人体皮肤。图 4 为表皮 100 放大二十倍的局部实物图，图 5 为表皮 100 放大五十倍的局部实物图，可以看到虚线圆圈中的第一出液孔 110。发明人通过使用滴头在表皮 100 滴水来确认水可以通过第一出液孔 110，这为水的滴落创造了足够的压力。没有压力，水就无法通过第一出液孔 110。表皮 100 的高表面张力被确定为这种现象的原因，证实了预期的结果：通过施加水压可以控制出液功能。

本实施例中，第一出液孔 110 的数量可以是一个，也可以是两个以上。第一出液孔 110 可以分布于表皮 100 的各个位置，也可以分布于表皮 100 用于与被抓取物接触的一侧。第一出液孔 110 可以是在材料成型过程中自然形成，也可以是人为地使用下述的第一微针 41 穿刺而得。

在其中一个实施例中，结合图 1，第一出液孔 110 的数量大于 3 个，以增大表皮 100 的出液面积，增大最大出液量，使得仿生手指 10 可以在更大的范围内控制出液率，应用场景更广。

多个第一出液孔 110 可以按预设图形间隔分布于表皮 100 上。例如，多个第一出液孔 110 按矩形阵列、圆形阵列或几字形排列。例如，多个第一出液孔 110 按指纹形状，围成多个依次嵌套的圆圈。

在其中一个实施例中，结合图 1，第一出液孔 110 的深度方向大致垂直于送液管 400 的长度方向 X。换言之，第一出液孔 110 的深度方向与送液管 400 的长度方向 X 之间的夹角可以为 80° ~ 100° 。当第一出液孔 110 的数量为多个时，多个第一出液孔 110 的深度方向可以全部相同，也可以不全部相同。

具体地，在图 1 示出的仿生手指 10 的截面中，第一出液孔 110 的深度方向与送液管 400 的径向 Z 相同，径向 Z 与长度方向 X 相垂直。多个第一出液孔 110 沿长度方向 X 间隔分布，实现均匀出液，实现仿生手指 10 与被抓取物之间的摩擦力均匀分布。

在其中一个实施例中，第一出液孔 110 的孔径为 $40\ \mu\text{m}$ ~ $1000\ \mu\text{m}$ ，从而第一出液孔 110 具有毛细管的特性，能够实现仿生手指 10 与被抓取物之间形成拉普拉斯压力，使得二者相互吸引，实现抓取动作。

可选地，第一出液孔 110 的孔径为 $40\ \mu\text{m}$ 、 $60\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 、 $500\ \mu\text{m}$ 或 $1000\ \mu\text{m}$ 。

可以理解，在其他实施例中，第一出液孔 110 的孔径也可以为 $30\ \mu\text{m}$ 、 $1100\ \mu\text{m}$ 或 $1200\ \mu\text{m}$ 。

在其中一个实施例中，表皮 100 嵌设有导电颗粒，表皮 100 具有人体皮肤的导电性，能够用于带电场景的识别等。

在表皮 100 的制备中，导电颗粒可以作为辅助材料，添加到表皮 100 的主要材料中。

可选地，导电颗粒为 CNT 颗粒（Carbon Nanotube），具有高度的柔韧性、导电性和导热性，可以增强表皮 100 的强度和刚度，改善导电和导热性能。可以理解，在其他实施例中，导电颗粒还可以是石墨烯颗粒、银纳米线、铜粉末颗粒、银粉末颗粒、铁粉末颗粒等导电材料制成的颗粒。

在其中一个实施例中，结合图 1，表皮 100 的外表面设置有图案化凹槽 120，第一出液孔 110 的末端与图案化凹槽 120 连通。液体经第一出液孔 110 后进入图案化凹槽 120 内，并与被抓取物体接触。图案化凹槽 120 可以增大液体的接触面积，提高摩擦力的均匀性。

具体地，图案化凹槽 120 按指纹形状，围成多个依次嵌套的圆圈，能够更加真实地模拟手指抓取物体或触摸物体的行为情况。可以理解，在其他实施例中，图案化凹槽 120 的形状还可以是几何图形、动物图形或鸟类图形等，在此不做限定。

在一些实施例中，弹性体 200 的主要材料包括海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中的至少一种，能够模拟出组织的弹性，实现仿生手指 10 弹性触摸或抓取物体，且这些材料容易形成多孔结构，能够生成第二出液孔 210。弹性体 200 可以由海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中一种或多种构成，或者，弹性体 200 可以由海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中一种或多种，以及其他的辅助材料构成。

5 其中，海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶的质量合计占弹性体 200 的质量的 50% 以上。

具体地，弹性体 200 的主要材料为聚氨酯海绵。聚氨酯海绵的密度可选为 $0.09\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，具有允许液体通过的多孔结构，并且具有与手指组织相似的杨氏模量 E 。手指组织的杨氏模量约为 0.04 兆帕，而 $0.09\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 聚氨酯海绵的杨氏模量约为 0.08 兆帕。

10 本实施例中，第二出液孔 210 的数量可以是一个，也可以是两个以上。第二出液孔 210 可以分布于弹性体 200 的各个位置，也可以分布于第二出液孔 210 用于与表皮 100 接触的一侧。第二出液孔 210 可以是在材料成型过程中自然形成，也可以是人为地使用下述的第二微针穿刺而得。

在一些实施例中，结合图 1，第二出液孔 210 的孔径大于第一出液孔 110 的孔径，以便于液体的顺畅流动。

15 在一些实施例中，第二出液孔 210 的孔径为 $1\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ ，从而第二出液孔 210 具有毛细管的特性，液体能够吸附在第二出液孔 210 内，不会因孔径过大而直接冲压表皮 100，也不会因孔径太小而造成表皮 100 难以出液。

可选地，第二出液孔 210 的孔径为 $1\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $300\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ 或 $1000\mu\text{m}$ 。可以理解，在其他实施例中，第二出液孔 210 的孔径也可以为 $1100\mu\text{m}$ 或 $1200\mu\text{m}$ 。

20 在其中一个实施例中，结合图 1，第二出液孔 210 的数量大于 3 个，以增大最大出液量，保证对表皮 100 的液体供给。

在其中一个实施例中，结合图 1，第二出液孔 210 的深度方向大致垂直于送液管 400 的长度方向 X 。换言之，第二出液孔 210 的深度方向与送液管 400 的长度方向 X 之间的夹角可以为 $80^\circ\sim 100^\circ$ 。当第二出液孔 210 的数量为多个时，多个第二出液孔 210 的深度方向可以全部相同，也可以不全部相同。

25 具体地，在图 1 示出的仿生手指 10 的截面中，第二出液孔 210 的深度方向与送液管 400 的径向 Z 相同。多个第二出液孔 210 沿长度方向 X 间隔分布，实现均匀向第一出液孔 110 供给液体，使得表皮 100 受到的液压均匀，柔性的表皮 100 的外表面形状保持相对稳定。

在其中一个实施例中，结合图 1，第二出液孔 210 与第一出液孔 110 之间具有间隔，该间隔形成缓冲。液体经过第二出液孔 210 不会直接冲向第一出液孔 110，而是沿着表皮 100 的内表面进入第一出液孔 110 内。

30 在其中一个实施例中，弹性体 200 的表面是指内表面和外表面。弹性体 200 的表面包括疏水面和亲水面，例如，疏水面设置有疏水层，以使液体不易湿润疏水面。第二出液孔 210 的孔壁位于亲水面。液体落在弹性体 200 上，能够被引导流向亲水面，位于亲水面的第二出液孔 210 能够吸收液体，并经疏水面导向表皮 100。如此，疏水面的设置使得弹性体 200 上的液体定向地流入第二出液孔 210 内，用于控制液体的流动和混合，以及还可以避免非特定的细胞附着。

35 具体地，采用疏水剂浸泡弹性体 200 靠近表皮 100 的一表面，保持质地并降低弹性体 200 的吸水率，第二微针插设在第二出液孔 210 内，使得弹性体 200 形成疏水面和亲水面，第二出液孔 210 的孔壁属于亲水面。可选地，疏水剂为聚二甲基硅氧烷 (Poly dimethyl siloxane, PDMS)。由于 PDMS 分子结构中的甲基基团和硅氧烷键的存在，使其表面具有较低的表面能，导致水分子在其表面上形成球状的水滴而不是展开。

40 可以理解，在其他实施例中，疏水面还可以采用有机硅类压敏胶制作。

本实施例中，第三出液孔 410 的数量可以是一个，也可以是两个以上。第三出液孔 410 可以分布于送液管 400 的各个位置，也可以分布于送液管 400 用于与弹性体 200 接触的一侧。第三出液孔 410 可以是在成型过程中直接制成，也可以通过后续工艺加工而得。

45 在其中一个实施例中，结合图 1，第三出液孔 410 的孔径大于第二出液孔 210 的孔径，以便于液体的顺畅流动。

在其中一个实施例中，送液管 400 的内径为 $1\text{mm}\sim 10\text{mm}$ ，避免内径过小难以注射液体，也避免内径过大，导致液体供给量过大造成过度润滑，减弱了摩擦力。

可以理解，为了增强摩擦力，第一出液孔 110 的出液量控制为 0.0005mL 。为此，可以通过控制第

一出液孔 110 的孔径及数量,第二出液孔 210 的孔径及数量,第三出液孔 410 的孔径及数量,送液管 400 的内径中的至少一种而实现。

在其中一个实施例中,第三出液孔 410 的数量大于 3 个,以增大最大出液量,保证对弹性体 200 的液体供给。

5 在其中一个实施例中,结合图 6 和图 7,刚性支撑件 300 的主要材料包括塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中的至少一种。这些材料具有良好的刚度和强度,能够支撑仿生手指 10,相当于骨骼。刚性支撑件 300 可以由塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中一种或多种构成;刚性支撑件 300 可以由塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中一种或多种,以及其他的辅助材料构成。其中,塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金的质量合计占刚性支撑件 300 的质量的 50%以上。

10 具体地,塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中的至少一种通过增材制造、注塑成型或铸造成型制得刚性支撑件 300。其中,增材制造可以创建复杂的设计,尤其是使用传统的制造方法很难生产骨骼的形状,并且可以很容易地进行修改和定制以满足特定的设计要求。此外,增材制造能够在数小时内创建产品的多次迭代,从而以更低成本的方式进行快速原型设计。

图 8 和图 9 均为采用增材制造制备的刚性支撑件 300 的实物图。

15 在其中一个实施例中,结合图 1、图 6 至图 9,刚性支撑件 300 的一侧设置有第一支撑面 311 和第二支撑面 312,第一支撑面 311 和第二支撑面 312 大致垂直连接,第一支撑面 311 朝向第一出液孔 110,送液管 400 远离弹性体 200 的一侧支撑于第一支撑面 311,送液管 400 的第一端 401 的端部和弹性体 200 的端部抵靠于第二支撑面 312。如此,第一支撑面 311 用于为送液管 400 提供支撑,第二支撑面 312 用于对送液管 400 和弹性体 200 提供支撑,从而保证仿生手指 10 的各个部件的位置相对稳定,不会移位。

20 具体地,第一支撑面 311 和第二支撑面 312 的夹角为 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 。

具体地,第一支撑面 311 为平面,能够提供稳定的支撑力。类似地,第二支撑面 312 为平面。

具体地,结合图 6 和图 7,刚性支撑件 300 的一侧设置有支撑槽 310,支撑槽 310 的槽底形成第一支撑面 311,支撑槽 310 的一端槽壁形成第二支撑面 312,送液管 400 和弹性体 200 安装于支撑槽 310 内,实现其位置稳定。

25 可选地,支撑槽 310 还具有两个相对的第三支撑面 313,第三支撑面 313 与第二支撑面 312 大致垂直,弹性体 200 的相对两侧抵靠于两个第三支撑面 313 之间。

可选地,刚性支撑件 300 设置有支撑槽 310 的一侧表面为刚性支撑平面 320,弹性体 200 位于支撑槽 310 内,即刚性支撑平面 320 朝向物体,刚性支撑平面 320 能够提供刚性平面支撑,使得表皮 100 与物体基本平面接触,提高抓取和触摸的效果。

30 可选地,刚性支撑件 300 远离支撑槽 310 的一侧设置有刚性支撑弧面 330,刚性支撑弧面 330 使得仿生手指 10 的背面圆滑,避免与其他物体干涉及刮伤。进一步地,刚性支撑弧面 330 包括沿送液管 400 的长度方向依次连接的圆柱弧面 331 和球形弧面 332。圆柱弧面 331 与支撑槽 310 相对设置,增大支撑槽 310 对应的刚性支撑件 300 的厚度,提高对弹性体 200 的支撑力。球形弧面 332 位于圆柱弧面 331 远离送液管 400 的第二端 402 的一侧,球形弧面 332 使得刚性支撑件 300 厚度逐渐减小,使得刚性支撑件 300 的末端圆滑。

35 可选地,刚性支撑弧面 330 的边缘可以直接和刚性支撑平面 320 的边缘连接,也可以通过其他侧面与刚性支撑平面 320 连接。

在其中一个实施例中,结合图 1,仿生手指 10 还包括刚性片 500,刚性片 500 的一端安装于表皮 100 的外表面,刚性片 500 的另一端延伸至表皮 100 的外部、且与表皮 100 具有间隔。换言之,刚性片 500 的另一端突出于表皮 100,使得仿生手指 10 能够实现刮、抠、挠等复杂动作。

40 具体地,结合图 1,刚性片 500 和第一出液孔 110 位于表皮 100 的相对两侧,尽量地增大刚性片 500 和第一出液孔 110 之间的距离,从而仿生手指 10 采用出液的方式进行抓取或触摸物体的动作和采用刚性片 500 进行刮挠等动作能够相对独立,互不干扰。

可以理解,在其他实施例中,刚性片 500 和第一出液孔 110 可以位于表皮 100 的同一侧,或者,刚性片 500 和第一出液孔 110 位于表皮 100 的相邻两侧,在此不做唯一限定。

45 具体地,结合图 1,刚性片 500 位于表皮 100 外部的端部和送液管 400 的第二端 402 位于表皮 100 的相对两端。刚性片 500 和送液管 400 的第二端 402 位于表皮 100 在长度方向 X 上的相对两端,尽量地增大刚性片 500 和送液管 400 的第二端 402 之间的距离,使得二者相对独立,互不干扰。

可以理解,在其他实施例中,刚性片 500 可以和送液管 400 的第二端 402 位于表皮 100 的同一端,或者,刚性片 500 位于表皮 100 的中部,在此不做唯一限定。

具体地,结合图 1,表皮 100 的外表面设置有安装槽 130,刚性片 500 的一端安装于安装槽 130 中。安装槽 130 的设置有利于刚性片 500 的定位安装及稳定安装。

5 可以理解,表皮 100 也可以不设置安装槽 130,刚性片 500 直接安装于表皮 100 的外表面,或者,表皮 100 的外表面安装有供刚性片 500 安装的安装支架。

具体地,刚性片 500 靠近表皮 100 的一侧能够与刚性支撑件 300 的表面贴合,从而刚性片 500 即使和刚性支撑件 300 之间间隔中表皮 100,但仍获得刚性支撑件 300 的支撑,且支撑面积大。

可以理解地,刚性片 500 相当于仿生手指 10 的指甲片。

10 在一些实施例中,结合图 1,弹性体 200 可以采用粘接、熔接、套接或抵接的方式安装于表皮 100 中。刚性支撑件 300 可以采用粘接、熔接、套接或抵接的方式安装于表皮 100。刚性支撑件 300 和弹性体 200 之间可以采用粘接、熔接、卡接、紧固件连接或抵接的方式固定。送液管 400 可以采用粘接、熔接、套接或抵接的方式安装于表皮 100。送液管 400 和刚性支撑件 300 之间可以采用粘接、熔接、卡接、套接、插接、紧固件连接或抵接的方式固定。送液管 400 和弹性体 200 之间可以采用粘接、熔接、卡接、套接、紧固件连接或抵接的方式固定。刚性片 500 和表皮 100 之间可以采用粘接、熔接或紧固件连接的方式固定。

20 在一些实施例中,表皮 100 的主要材料为硅酮,弹性体 200 的主要材料为聚氨酯海绵,刚性支撑件 300 的材料为 ABS 塑料,采用增材制造工艺一体成型。为了验证仿生手指 10 与人体手指的相似性,实验设备包括:用于与送液管 400 的第二端 402 连接的注射泵连接,注射泵用于供应纯净水;摩擦计。其中,注射泵设置为 0.5mL/min 的注射速率,摩擦计包括可水平移动的平台和安装于平台下方的传感器,传感器用于记录 1000Hz 下的摩擦力,环境温度为 22.7℃,空气湿度为 60%,施加的按压力均为 0.5N,每次测试时长为 60s,平均摩擦力是指重复测试 10 次的摩擦力的平均值。

25 图 10 为干燥的人体手指的平均摩擦力,图 11 为干燥的仿生手指 10 的平均摩擦力。通过图 10 和图 11 的对比可知,在相同的条件下,干燥的仿生手指 10 和干燥的人体手指的摩擦力相近,证明本实施例提供的仿生手指 10 的摩擦性能接近人体手指的摩擦性能。

图 12 为半干燥的人体手指的平均摩擦力,图 13 为湿润的人体手指的平均摩擦力。通过图 10、图 12 和图 13 对比可知,人体手指的表面上有不同水量时人体手指的摩擦模式不同,半干燥的人体手指的摩擦力最高,其次是干燥的人体手指的摩擦力,而湿润的人体手指的摩擦力最低。其中,半干燥的人体手指是指部分湿润、但湿润未饱和的手指。

30 图 14 为干燥的人体手指在玻璃材质上的平均摩擦力,图 15 为注射泵供应不同水量下的仿生手指 10 在玻璃材质上的平均摩擦力。参见图 16,仿生手指 10 的平均摩擦力随着注射的水量的变化而变化。当注入 0 至 2.5mL 的纯净水时,平均摩擦力增加。当注射量为 3mL 至 3.5mL 时,平均摩擦力急剧下降。当注射量超过 3.5mL 时平均摩擦力稳定地较低。由此可知,仿生手指 10 也是半干燥状态下摩擦力较大,和人体手指的性能相似,即仿生手指 10 可以模仿人体手指在玻璃上的摩擦力。

35 图 17 为干燥的人体手指在皮革材质上的平均摩擦力,图 18 为干燥的仿生手指 10 在皮革材质上的平均摩擦力。由此得出,人体手指和仿生手指 10 在皮革材质上的摩擦性能基本相同。

40 图 19 为注射泵供应不同水量下的仿生手指 10 在皮革材质上的平均摩擦力,图 20 为注射泵供应不同水量下的仿生手指 10 在皮革材质上的平均摩擦系数。摩擦系数等于摩擦力除以 0.5N。图 20 显示了仿生手指 10 的摩擦系数如何随着注射的水量而变化。当注入 0 至 5mL 的纯净水时,平均摩擦力增加。当注水量超过 5 mL 时,摩擦系数降低。当仿生手指 10 充满水时,摩擦系数的降低量小于 0.01 N。因此,与在玻璃上出汗的效果相比,在皮革上出汗的影响不太显著,原因可能在于皮革可能会吸收手指皮肤表面的水分。

本实施例证明了仿生手指 10 和人体手指在摩擦性能上具有相似性,能够真实地模拟人体手指,摩擦系数随湿润情况先增加后减小,不同材质的摩擦系数及变化不同,可以用于识别不同材质界面。

45

实施例二

结合图 21,本申请提供的夹具 20 包括张合驱动件 21 和至少两个实施例一中任意一种的仿生手指 10。张合驱动件 21 与仿生手指 10 连接,以驱动至少两个仿生手指 10 相互靠近或相互远离,从而实现

夹取或释放被抓取物。

可选地，夹具 20 还包括注射泵，注射泵的出口与送液管 400 的第二端 402 连接，用于向送液管 400 提供液体。液体可以是纯净水、盐水、油等。注射泵可选为定量注射泵。

具体地，夹具 20 的仿生手指 10 的数量可以是两个、三个、四个、五个或超过五个，在此不做唯一限定。例如，仿生手指 10 的数量为五个，夹具 20 用于模拟人体的手掌，实现人体手掌的操作动作。

此外，夹具 20 的仿生手指 10 可以是实施例一中的任意一种仿生手指 10，在此不再一一赘述。

实施例三：

结合图 22，本申请提供一种制造实施例一中的仿生手指 10 的制造方法，包括以下步骤：

10 S100：提供具有第一出液孔 110 的表皮 100。
S200：将弹性体 200 安装在表皮 100 的一表面，且弹性体 200 至少覆盖部分第一出液孔 110。
S300：将送液管 400 的第一端 401 安装在弹性体 200 远离表皮 100 的一侧，送液管 400 的至少部分第三出液孔 410 朝向弹性体 200，且送液管 400 的第二端 402 位于表皮 100 的外部。
S400：将刚性支撑件 300 安装于送液管 400。

15 S500：将表皮 100 折叠，以使表皮 100 包裹弹性体 200、送液管 400 的第一端 401 和刚性支撑件 300。
如此，通过上述步骤 S100 至 S500，可以制得实施例一中的仿生手指 10。其中，仿生手指 10 的表皮 100 接触被抓取物时，液体可以从位于表皮 100 外部的送液管 400 的第二端 402 流到位于表皮 100 内部的送液管 400 的第一端 401，依次通过第三出液孔 410、第二出液孔 210 和第一出液孔 110 到达表皮 100 与被抓取物之间，改变仿生手指 10 与被抓取物之间的润滑状态及摩擦系数，进而能够调节仿生手指 20 10 与被抓取物体之间的摩擦力。

在其中一个实施例中，结合图 23，步骤 S100 具体包括：

S110：提供成型模具 30，成型模具 30 具有成型凹槽 31（参见图 24）。
S120：将液态的第一材料倒入成型凹槽 31 中，第一材料包括硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯、天然橡胶、硅胶、氟化硅胶、苯乙烯类热塑性弹性体和乳胶中的至少一种。
25 S130：第一材料固化后形成表皮 100（参见图 3），并从成型模具 30 中取出。
通过成型模具 30 能够快速制造出形状符合要求的表皮 100，生产效率高，节省产品迭代的时长。
具体地，步骤 S110 具体包括：
S111：在成型容器中放入水和藻酸盐，形成混合物，并放置不超过第一预设时间。可选地，第一预设时间为 45s~60s。

30 S112：将手指按压在混合物上，并保持第二预设时间。可选地，第一预设时间为 3min~5min。
S113：将手指与混合物脱离，手指在混合物上按压形成成型凹槽 31，混合物形成成型模具 30。
如此，利用水和藻酸盐的混合物能够快速固化形成成型模具 30，能够快速、简便地制造出所需的成型模具 30，且采用人体手指按压混合物，能够得到与人体手指相同的成型凹槽 31，便于制造出形状符合要求的表皮 100。

35 可选地，在步骤 S111 之前，该方法还包括：
S114：测量水和藻酸盐的用量。如此能够获得配比精确地混合物，进而获得容易成型的成型模具 30。
在其中一个实施例中，步骤 S120 之后，上述方法还包括：

S140：结合图 25 和图 26，使用第一微针 41 插入第一材料中。在第一材料未固化之前，第一微针 41 插入第一材料中，有利于确定性地生成第一出液孔 110，且第一出液孔 110 的孔径及形状与第一微针 40 41 相同，即第一出液孔 110 的形成可控。

当然，在其他实施例中，利用第一材料的成型过程中形成的气孔，作为第一出液孔 110，此时，可以不需要第一微针 41 进行第一出液孔 110 的成型。

可选地，第一微针 41 的直径为 40 μm ~1000 μm 。

45 可选地，第一微针 41 的数量为多个，多个第一微针 41 沿预设图形排布，从而形成呈预设图形排布的多个第一出液孔 110。预设图形可以是矩形阵列、圆形阵列或几字形排列。例如，多个第一微针 41 按指纹形状，围成多个依次嵌套的圆圈。

具体地，结合图 25，本实施例采用打孔部件 40 形成第一出液孔 110，打孔部件 40 包括手柄 43 和安装于手柄 43 上的第一微针 41。操作者手持手柄 43 可以方便地将第一微针 41 插入第一材料中。

可选地，打孔部件 40 还包括可旋转地安装于手柄 43 的滚轮 42，第一微针 41 安装于滚轮 42 上。如此，操作者通过滚动滚轮 42 能够快速地制作多个第一出液孔 110。进一步地，第一微针 41 的数量为多个，多个第一微针 41 间隔分布于滚轮 42 上。

在其中一个实施例中，步骤 S120 之前，方法还包括：

- 5 S150：结合图 25 和图 26，使用第一微针 41 插入成型模具 30 中。如此，在成型凹槽 31 的槽底形成多个微孔，进而生成的表皮 100 的外表面能够出现相对应的微孔，以及第一材料在固化过程中内部生成与微孔连通的第一出液孔 110。

在其中一个实施例中，步骤 S120 之前，上述方法还包括：

S160：测量第一材料的用量。如此能够精确地控制表皮 100 的重量及厚度。

- 10 在其中一个实施例中，步骤 S120 之前，方法还包括：

S170：将第一材料和彩色颜料混合。彩色颜料作为辅助材料，使得制得的表皮 100 显示为不同肤色。

在其中一个实施例中，步骤 S120 之前，方法还包括：

S180：在成型凹槽 31 的槽底洒落导电颗粒。如此，制得的表皮 100 嵌设有导电颗粒，表皮 100 具有人体皮肤的导电性，能够用于带电场景的识别等。

- 15 可选地，导电颗粒为石墨烯颗粒、银纳米线、CNT 颗粒、铜粉末颗粒、银粉末颗粒或铁粉末颗粒等导电材料制成的颗粒。

在其中一个实施例中，步骤 S120 之前，上述方法还包括：

- 20 S190：结合图 1，在成型凹槽 31 的制作图案化凹槽 120。如此，制得的表皮 100 的外表面设置有图案化凹槽 120，第一出液孔 110 的末端与图案化凹槽 120 连通。液体经第一出液孔 110 后进入图案化凹槽 120 内，并与被抓取物体接触。图案化凹槽 120 可以增大液体的接触面积，提高摩擦力的均匀性。

可选地，图案化凹槽 120 按指纹形状，围成多个依次嵌套的圆圈，能够更加真实地模拟手指抓取物体或触摸物体的行为情况。或者，图案化凹槽 120 的形状为几何图形、动物图形或鸟类图形等，在此不做限定。

在其中一个实施例中，步骤 S200 之前，上述方法还包括以下步骤：

- 25 S210：采用第二材料制作多孔结构，第二材料包括海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中的至少一种。

- 30 S220：将第二微针插入多孔结构中，形成第二出液孔 210。如此，第二出液孔 210 的成型可控。可选地，第二微针的数量可以是一个，也可以是两个以上。第二微针的直径为 $1\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ 。进一步地，第二微针也可以安装于上述的打孔部件 40。可以理解，第二出液孔 210 也可以是第二材料成型过程中自然形成的气孔，不需要第二微针穿刺而得。

S230：将带有第二微针的多孔结构的一侧浸入疏水溶液中。具体地，多孔结构靠近表皮 100 的一侧浸入疏水溶液中，多孔结构远离表皮 100 的一侧未进入疏水溶液中。进一步地，多孔结构的浸湿深度为其厚度的 10%~60%。

- 35 S240：将多孔结构从疏水溶液中取出，拔出第二微针，多孔结构形成弹性体 200，弹性体 200 与疏水溶液接触的表面形成疏水面，第二出液孔 210 的孔壁未与疏水溶液接触而形成亲水面。

如此，采用疏水溶液浸泡弹性体 200 的一侧表面，保持质地并降低弹性体 200 的吸水率，第二微针插设在第二出液孔 210 内，使得弹性体 200 形成疏水面和亲水面，第二出液孔 210 的孔壁属于亲水面。可选地，疏水溶液为聚二甲基硅氧烷。

可选地，在步骤 S210 之前，该方法还包括：

- 40 S211：测量第二材料的用量。

在其中一个实施例中，刚性支撑件 300 的主要材料包括塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中的至少一种。

在其中一个实施例中，步骤 S400 之前，上述方法还包括：

- 45 S410：采用增材制造技术加工出刚性支撑件 300。增材制造可以创建复杂的设计，尤其是使用传统的制造方法很难生产骨骼的形状，并且可以很容易地进行修改和定制以满足特定的设计要求。此外，增材制造能够在数小时内创建产品的多次迭代，从而以更低成本的方式进行快速原型设计。

在其中一个实施例中，步骤 S500 之后，上述方法还包括：

S600：结合图 1，将刚性片 500 的一端安装于表皮 100 的外表面，刚性片 500 的另一端延伸至表皮

100 的外部、且与表皮 100 具有间隔。换言之，刚性片 500 的另一端突出于表皮 100，使得仿生手指 10 能够实现刮、抠、挠等复杂动作。

具体地，刚性片 500 和第一出液孔 110 位于表皮 100 的相对两侧。

具体地，刚性片 500 位于表皮 100 外部的端部和送液管 400 的第二端 402 位于表皮 100 的相对两端。

5 此外，实施例三中制造的仿生手指 10 可以具有实施例一中任意一种仿生手指 10 的任一个技术特征，在此不再一一赘述。

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

权利要求书

1. 一种仿生手指，其特征在于，所述仿生手指包括：

表皮，所述表皮具有第一出液孔；

弹性体，所述弹性体包裹安装于所述表皮中，所述弹性体具有第二出液孔，所述第二出液孔和所述第一出液孔连通；

刚性支撑件，所述刚性支撑件包裹安装于所述表皮中；

送液管，所述送液管的第一端包裹安装于所述表皮中，所述送液管的第一端支撑于所述刚性支撑件和所述弹性体之间，所述送液管的第一端的侧部具有第三出液孔，所述第三出液孔和所述第二出液孔连通，所述送液管的第二端延伸至所述表皮的外部。

2. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述表皮嵌设有导电颗粒。

3. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述表皮的外表面设置有图案化凹槽，所述第一出液孔的末端与所述图案化凹槽连通。

4. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述弹性体的表面包括疏水面和亲水面，所述第二出液孔的孔壁位于所述亲水面。

5. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述刚性支撑件的一侧设置有第一支撑面和第二支撑面，所述第一支撑面和所述第二支撑面大致垂直连接，所述第一支撑面朝向所述第一出液孔，所述送液管远离所述弹性体的一侧支撑于所述第一支撑面，所述送液管的第一端的端部和所述弹性体的端部抵靠于所述第二支撑面。

6. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述仿生手指还包括刚性片，所述刚性片的一端安装于所述表皮的外表面，所述刚性片的另一端延伸至所述表皮的外部、且与所述表皮具有间隔。

7. 根据权利要求 6 所述的仿生手指，其特征在于：所述刚性片和所述第一出液孔位于所述表皮的相对两侧；

和/或，所述刚性片位于所述表皮外部的端部和所述送液管的第二端位于所述表皮的相对两端；

和/或，所述表皮的外表面设置有安装槽，所述刚性片的一端安装于所述安装槽中。

8. 根据权利要求 1 所述的仿生手指，其特征在于：所述仿生手指还包括以下中的至少一种：

所述第一出液孔的数量大于 3 个；

所述第二出液孔的孔径为 $1\ \mu\text{m}\sim 1000\ \mu\text{m}$ ；

所述第二出液孔的数量大于 3 个；

所述第二出液孔与所述第一出液孔之间具有间隔；

所述第三出液孔的数量大于 3 个。

9. 根据权利要求 1 至 8 任意一项所述的仿生手指，其特征在于：所述表皮的主要材料包括硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯、天然橡胶、硅胶、氟化硅胶、苯乙烯类热塑性弹性体和乳胶中的至少一种；所述弹性体的主要材料包括海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中的至少一种；所述刚性支撑件的主要材料包括塑料、钢、铜、铝合金和镍钛合金中的至少一种。

10. 一种夹具，其特征在于，所述夹具包括张合驱动件和至少两个权利要求 1 至 9 任意一项所述仿生手指，所述张合驱动件与所述仿生手指连接，以驱动至少两个所述仿生手指相互靠近或相互远离。

11. 一种权利要求 1 所述的仿生手指的制造方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

提供具有第一出液孔的表皮；

将弹性体安装在所述表皮的一表面，且所述弹性体至少覆盖部分所述第一出液孔；

将送液管的第一端安装在所述弹性体远离所述表皮的一侧，且所述送液管的第二端位于所述表皮的外部；

将刚性支撑件安装于所述送液管；

将所述表皮折叠，以使所述表皮包裹所述弹性体、所述送液管的第一端和所述刚性支撑件。

12. 根据权利要求 11 所述的制造方法，其特征在于，所述提供具有第一出液孔的表皮的步骤具体包括：

提供成型模具，所述成型模具具有成型凹槽；

将液态的第一材料倒入所述成型凹槽中，所述第一材料包括硅酮、聚氨酯、丙烯酸酯、天然橡胶、硅胶、氟化硅胶、苯乙烯类热塑性弹性体和乳胶中的至少一种；

所述第一材料固化后形成所述表皮，并从所述成型模具中取出。

5 13. 根据权利要求 12 所述的制造方法，其特征在于，所述提供成型模具，所述成型模具具有成型凹槽的步骤具体包括：

在成型容器中放入水和藻酸盐，形成混合物，并放置不超过第一预设时间；

将手指按压在所述混合物上，并保持第二预设时间；

将所述手指与所述混合物脱离，所述手指在所述混合物上按压形成所述成型凹槽，所述混合物形成所述成型模具。

10 14. 根据权利要求 12 所述的制造方法，其特征在于，

在所述将液态的第一材料倒入所述成型凹槽中的步骤之后，所述方法还包括：使用第一微针插入所述第一材料中；

和/或，在所述将液态的第一材料倒入所述成型凹槽中的步骤之前，所述方法还包括：使用第一微针插入所述成型模具中。

15 15. 根据权利要求 11 所述的制造方法，其特征在于，在所述将弹性体安装在所述表皮的一表面的步骤之前，所述方法还包括以下步骤：

采用第二材料制作多孔结构，所述第二材料包括海绵、热塑性橡胶和热塑性硫化橡胶中的至少一种；

将第二微针插入所述多孔结构中，形成第二出液孔；

将带有所述第二微针的所述多孔结构的一侧浸入疏水溶液中；

20 将所述多孔结构从所述疏水溶液中取出，拔出所述第二微针，所述多孔结构形成所述弹性体，所述弹性体与所述疏水溶液接触的表面形成疏水面，所述第二出液孔的孔壁未与所述疏水溶液接触而形成亲水面。

16. 根据权利要求 11 至 15 任意一项所述的制造方法，其特征在于，在所述将刚性支撑件安装于所述送液管的步骤之前，所述方法还包括：采用增材制造技术加工出刚性支撑件。

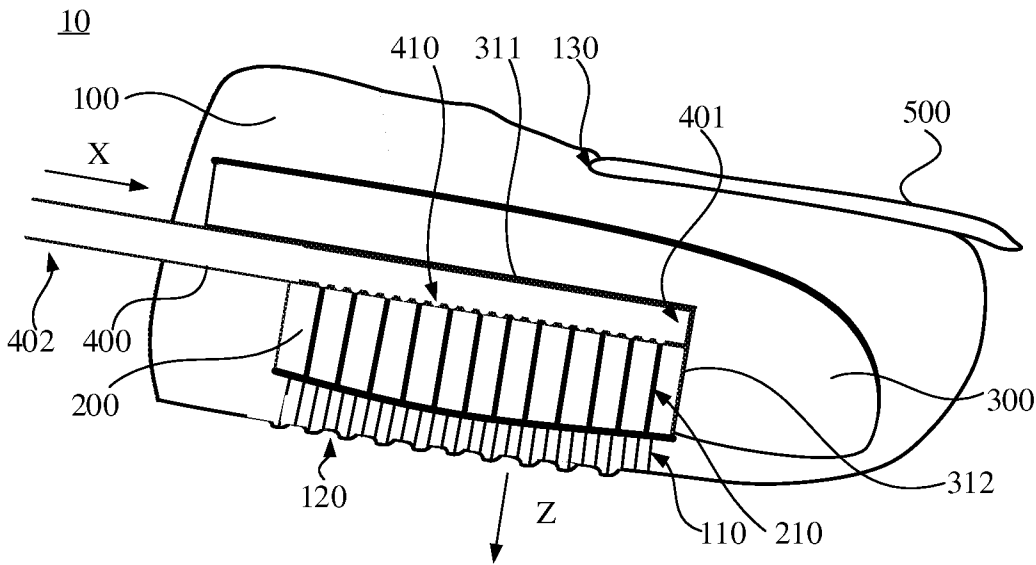


图 1

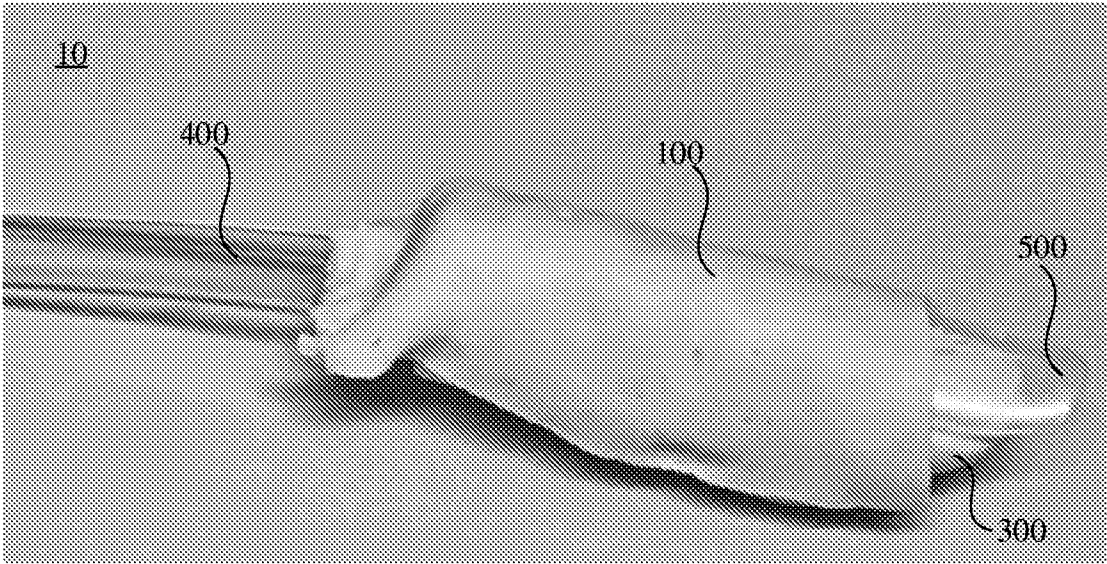


图 2

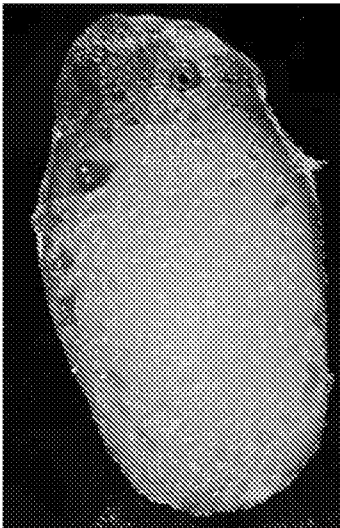


图 3

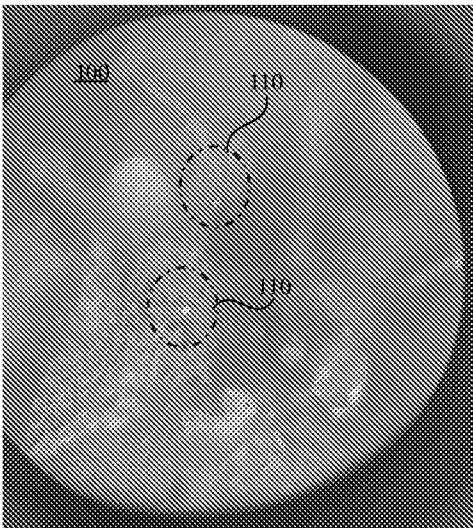


图 4

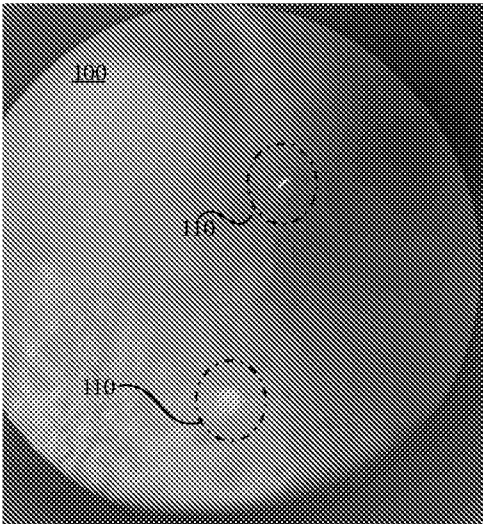


图 5

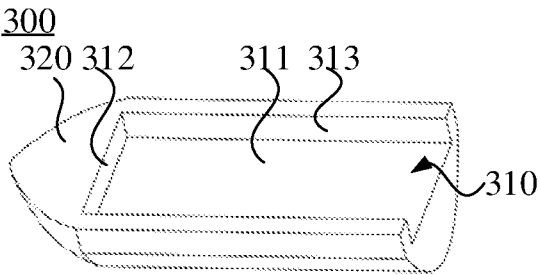


图 6

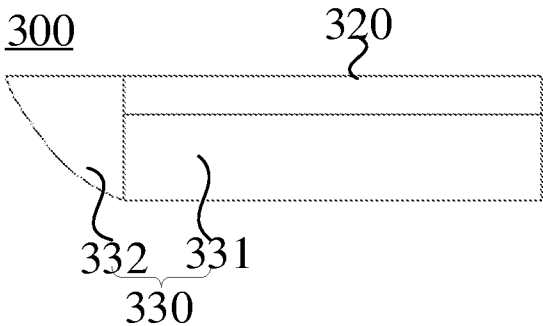


图 7

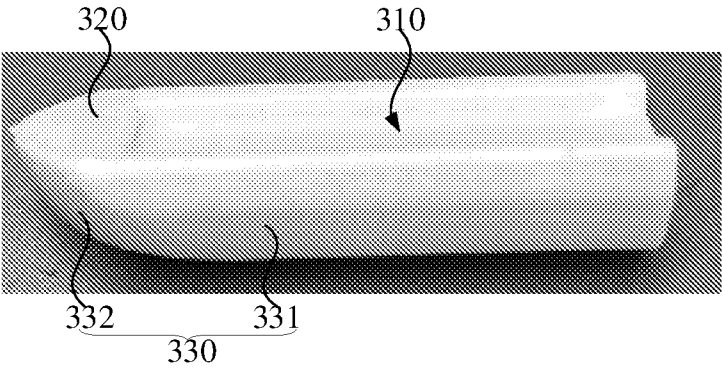


图 8

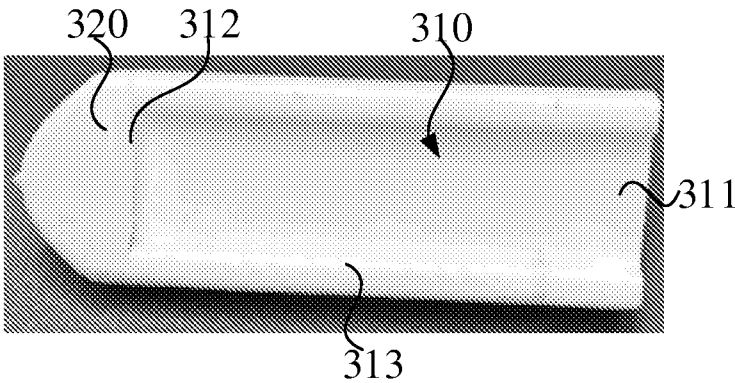


图 9

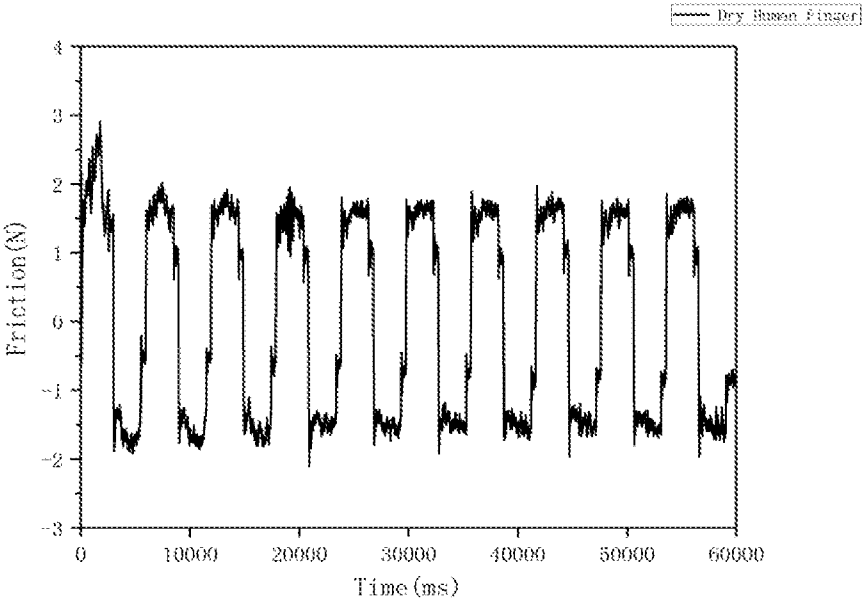


图 10

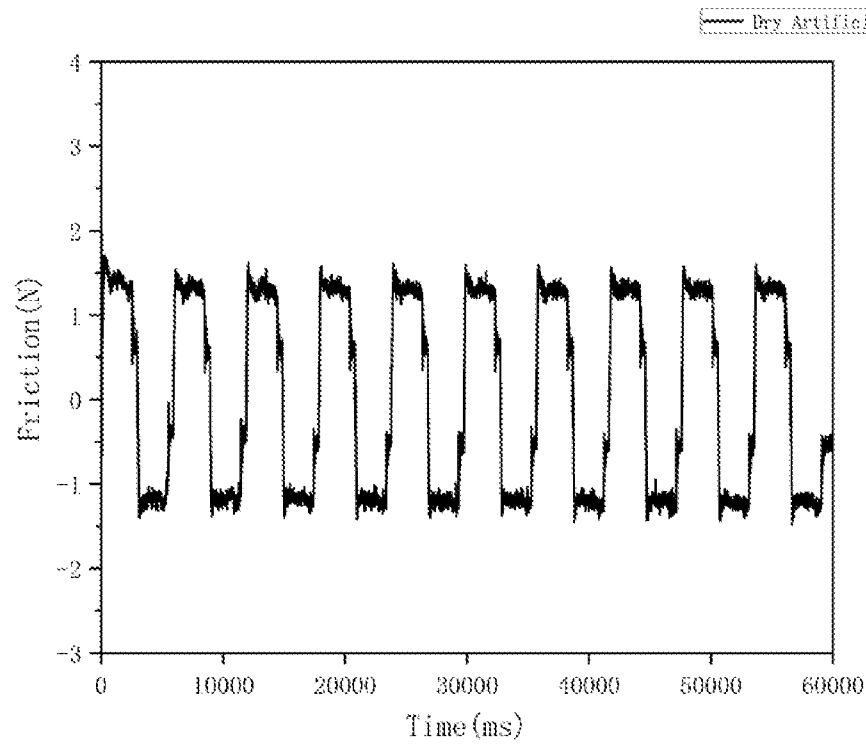


图 11

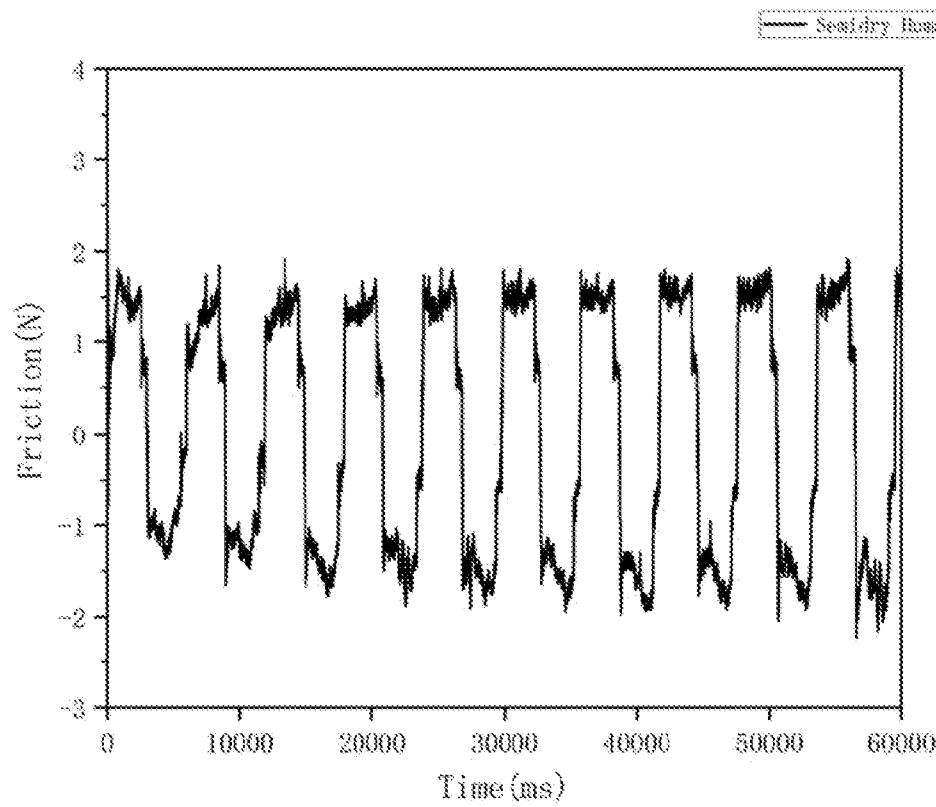


图 12

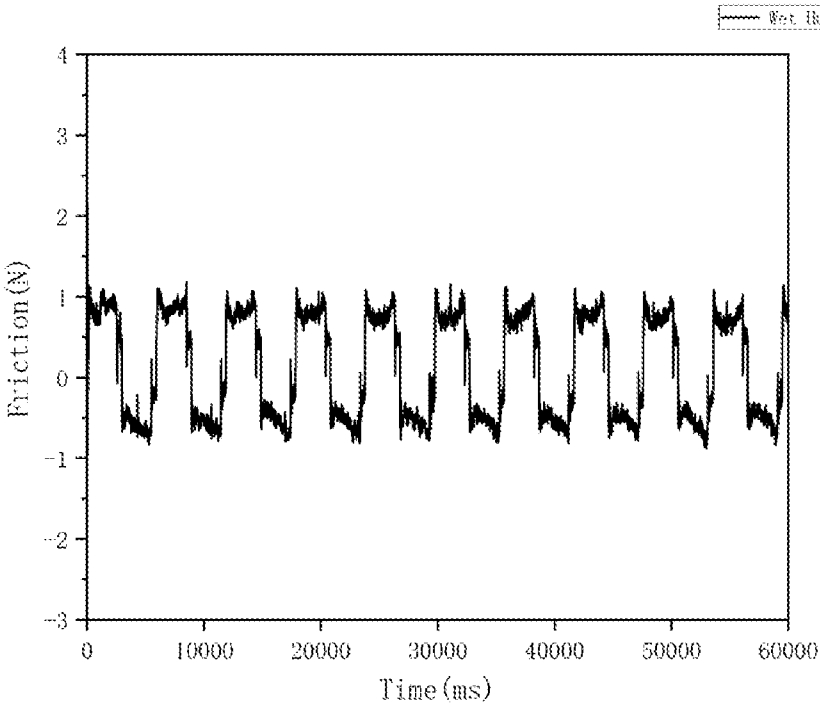


图 13

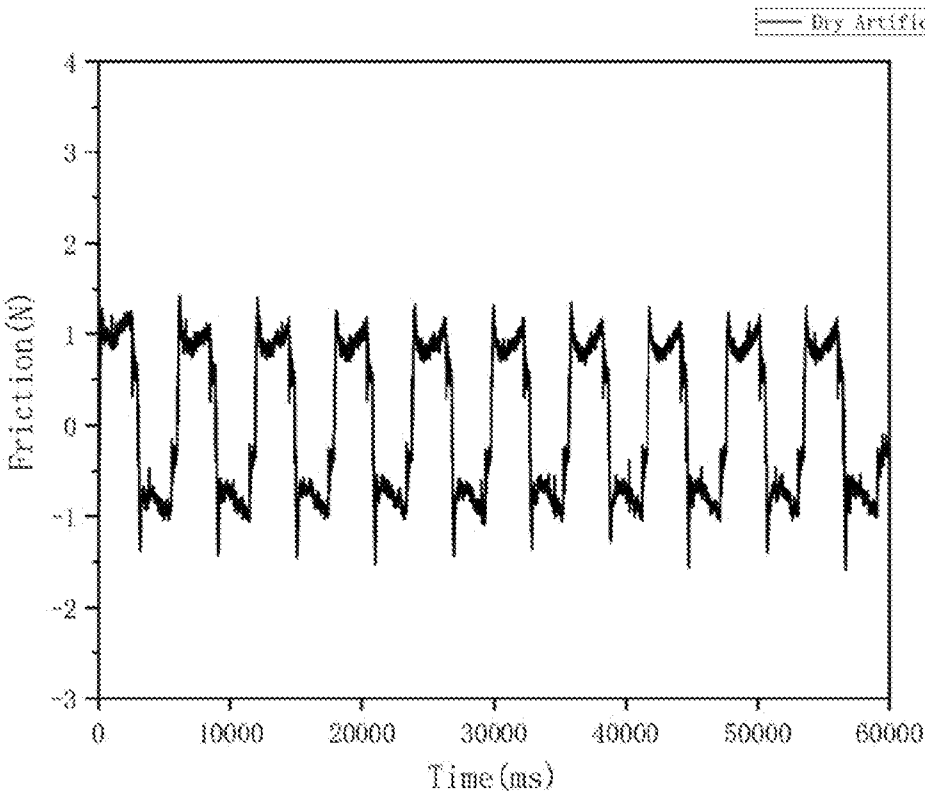


图 14

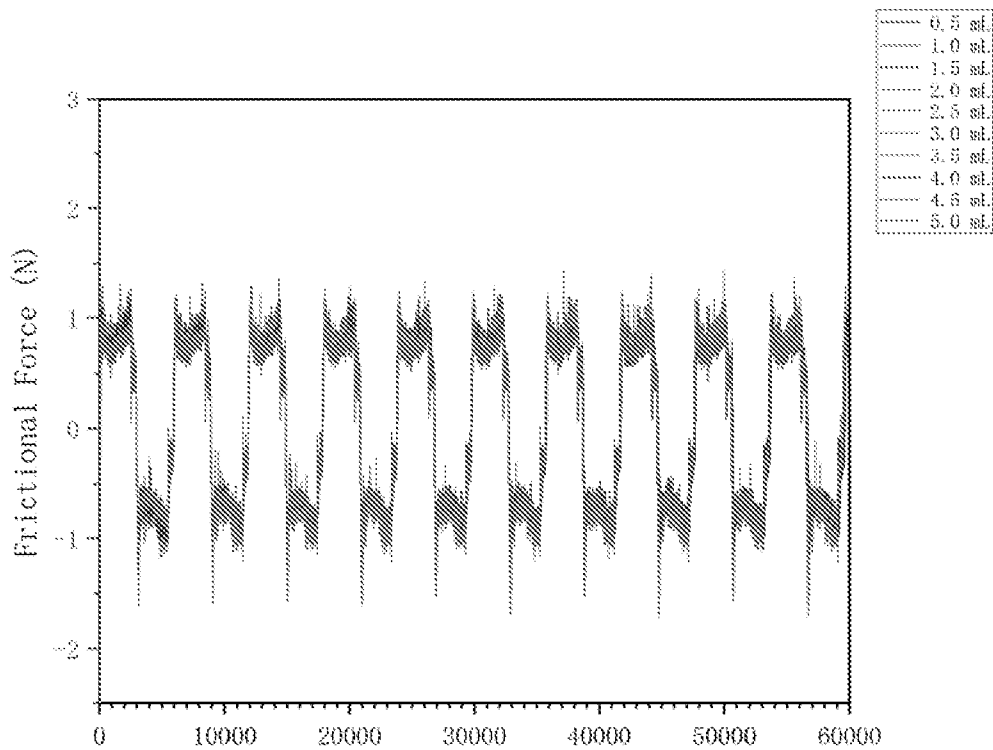


图 15

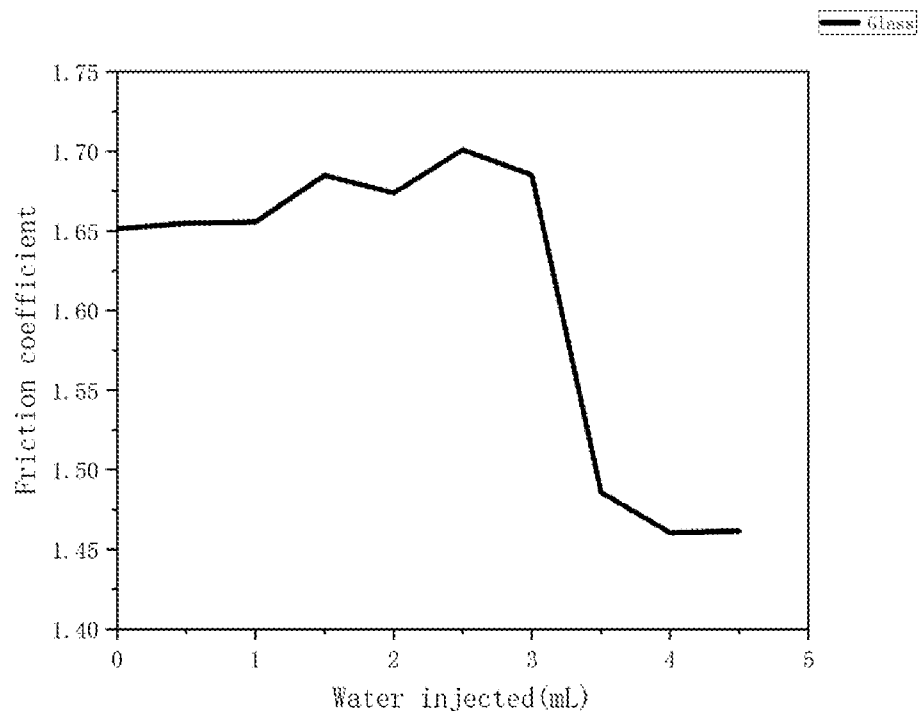


图 16

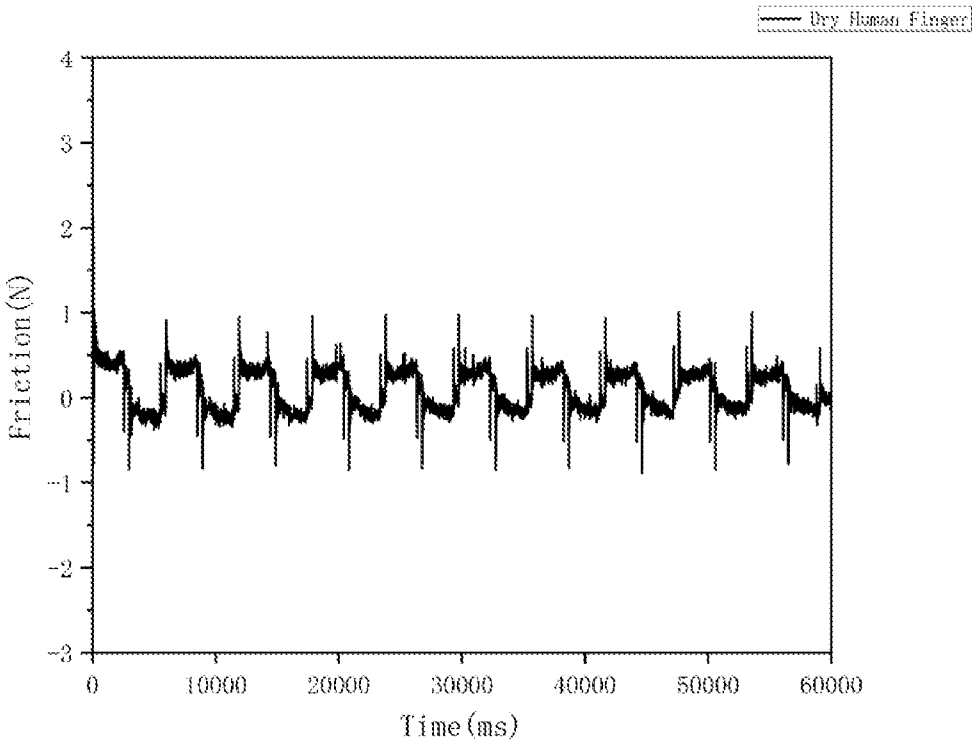


图 17

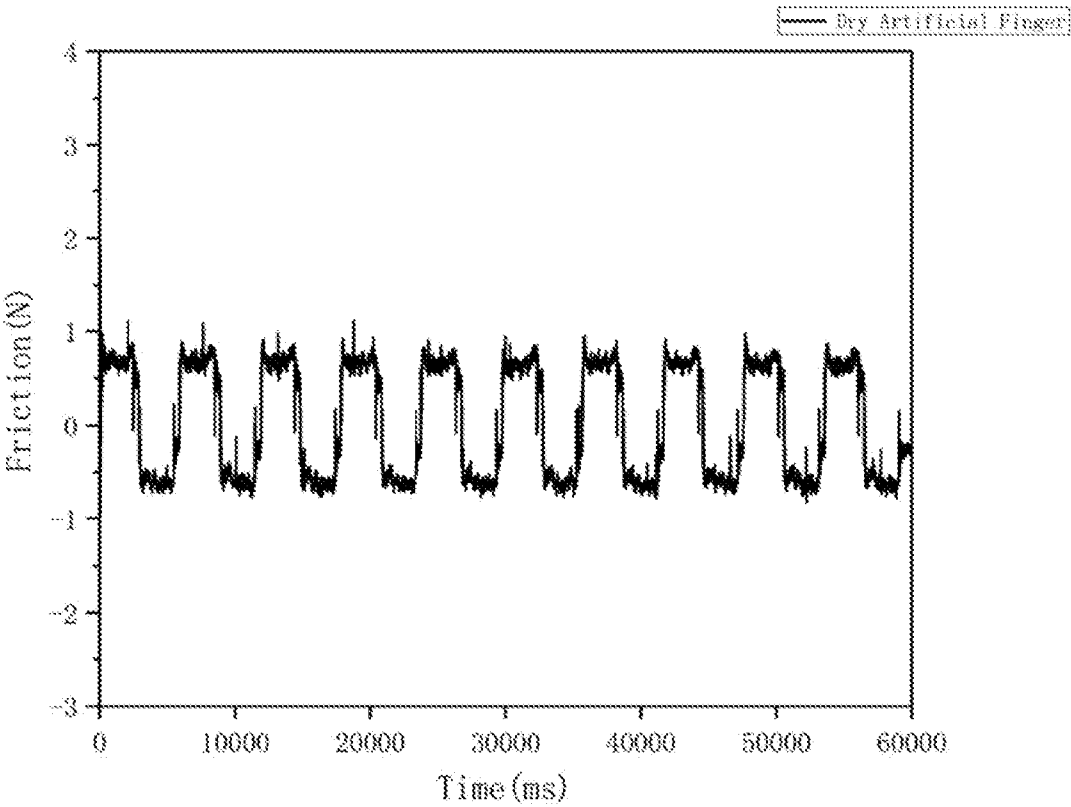


图 18

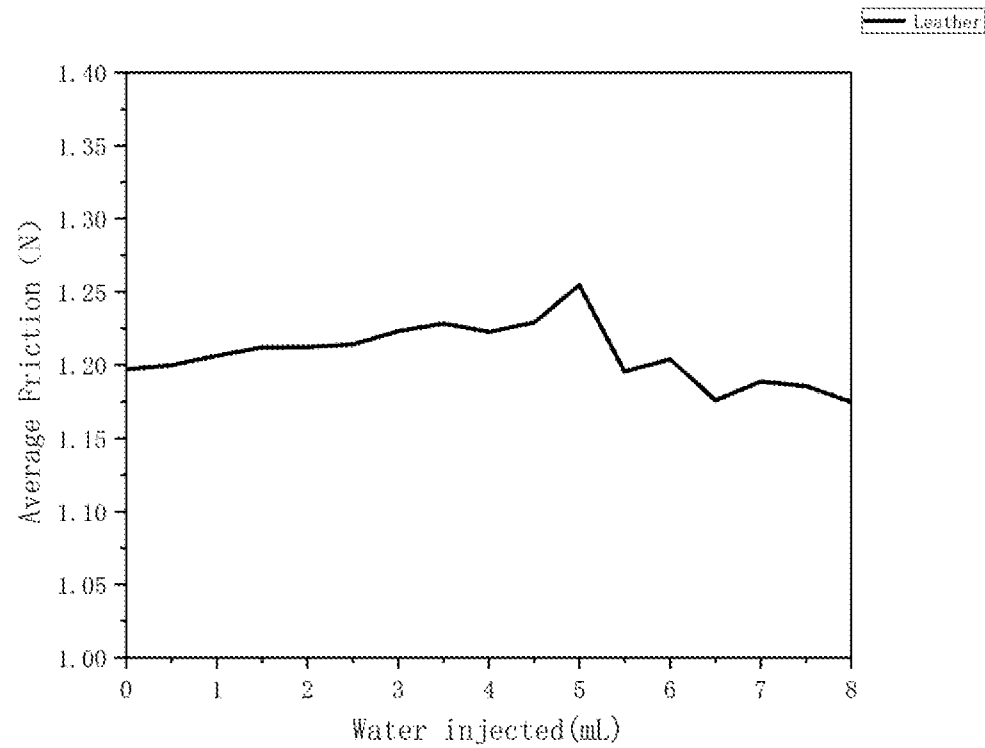


图 19

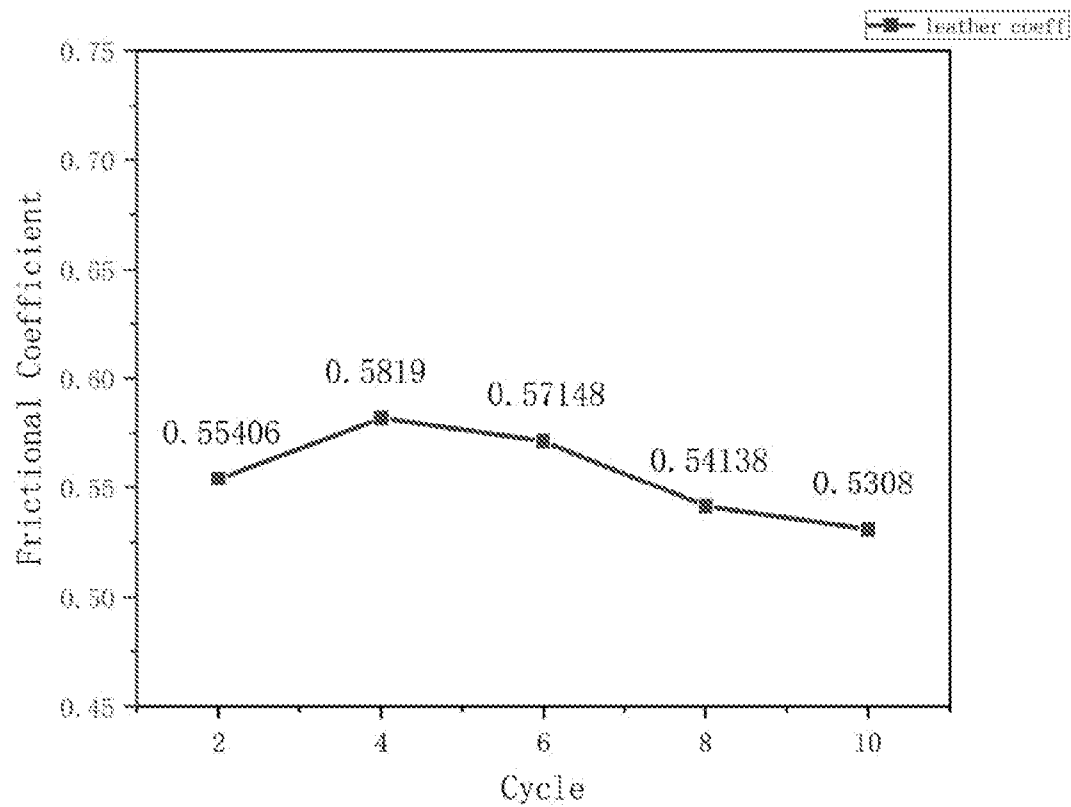


图 20

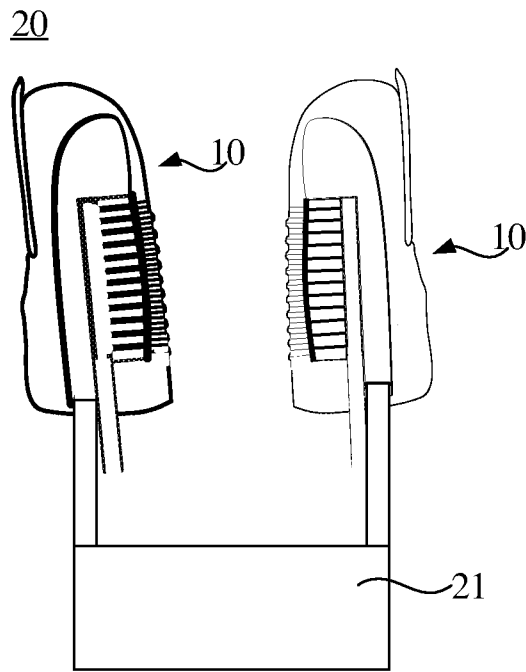


图 21

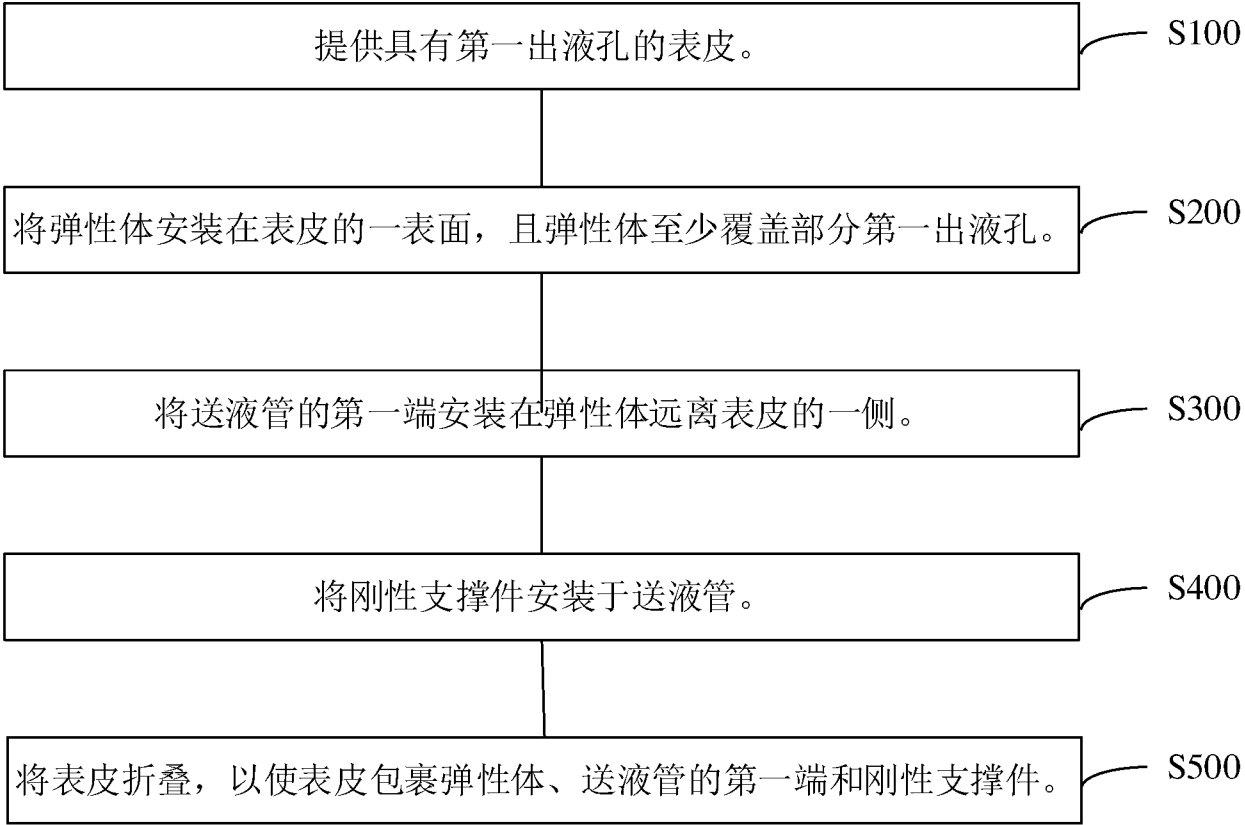


图 22

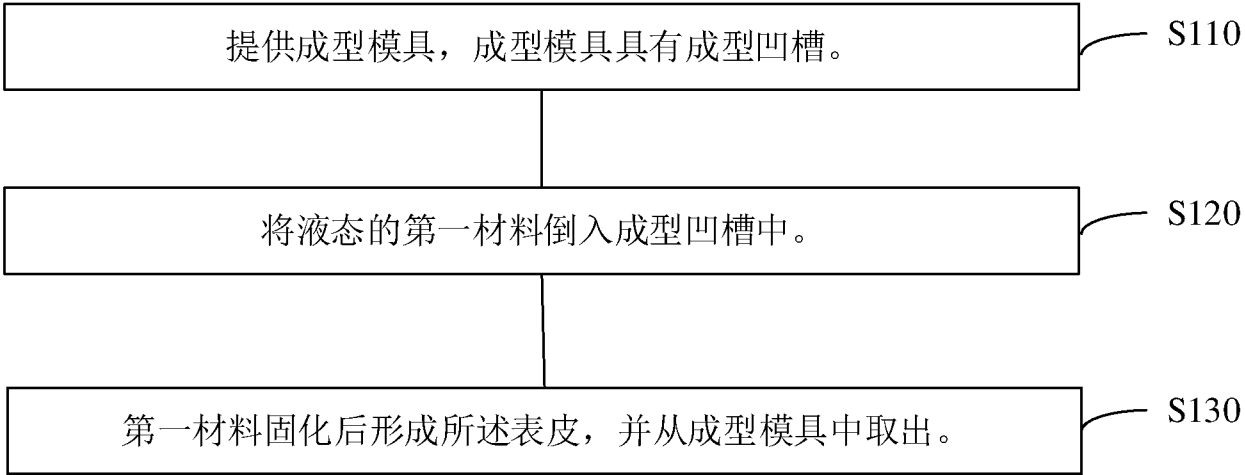


图 23

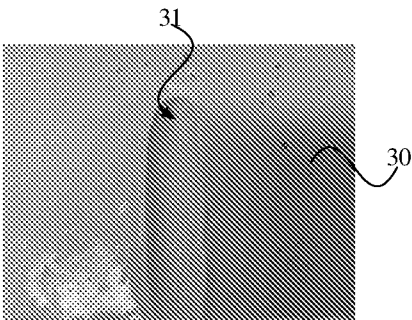


图 24

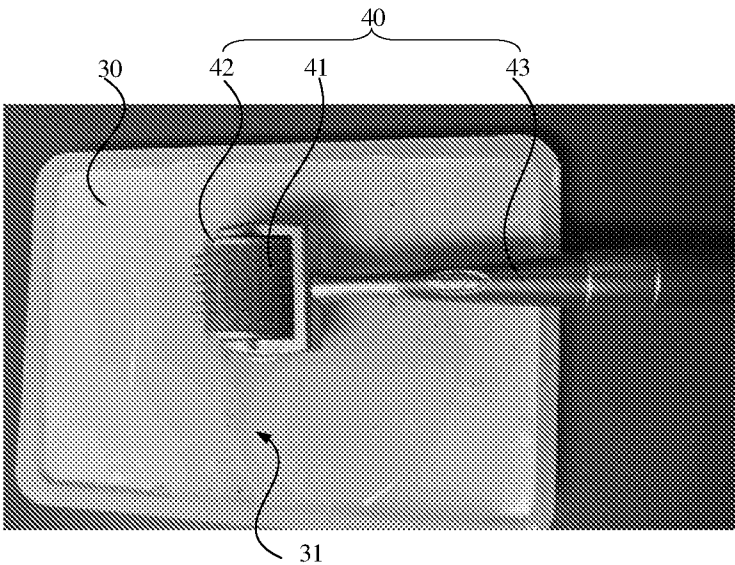


图 25

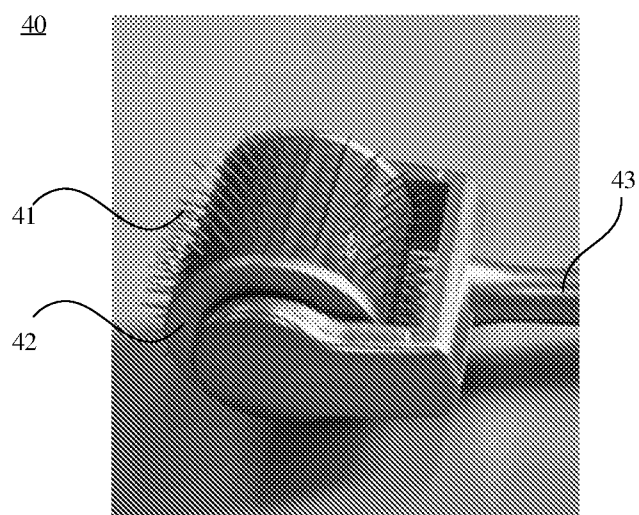


图 26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/099917

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B25J 15/00(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) IPC:B25J 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) CNTXT, ENTXT, DWPI, CNKI: 仿生, 手指, 表皮, 皮肤, 弹性, 液, 孔, 管, bionic, finger, derma, skin, elastic, flex+, liquid, fluid, hole, opening, aperture, bore, tube, pipe, conduit, vessel		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 117103305 A (THE HONG KONG POLYTECHNIC UNIVERSITY et al.) 24 November 2023 (2023-11-24) claims 1-16	1-16
A	CN 113519268 A (JIANGSU UNIVERSITY) 22 October 2021 (2021-10-22) description, paragraphs 4-47, and figures 1-14	1-16
A	CN 103753593 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 30 April 2014 (2014-04-30) entire document	1-16
A	CN 219235315 U (LI ANSHUN) 23 June 2023 (2023-06-23) entire document	1-16
A	CN 113733133 A (TSINGHUA SHENZHEN INTERNATIONAL GRADUATE SCHOOL) 03 December 2021 (2021-12-03) entire document	1-16
A	CN 113635340 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 12 November 2021 (2021-11-12) entire document	1-16
☒ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 28 August 2024		Date of mailing of the international search report 09 September 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/099917

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021293643 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF COLORADO, A BODY CORPORATE) 23 September 2021 (2021-09-23) entire document	1-16
A	US 2009133508 A1 (UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA) 28 May 2009 (2009-05-28) entire document	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/099917

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	117103305	A	24 November 2023	None			
CN	113519268	A	22 October 2021	None			
CN	103753593	A	30 April 2014	None			
CN	219235315	U	23 June 2023	None			
CN	113733133	A	03 December 2021	None			
CN	113635340	A	12 November 2021	None			
US	2021293643	A1	23 September 2021	WO	2020010328	A1	09 January 2020
US	2009133508	A1	28 May 2009	US	7878075	B2	01 February 2011
				JP	2010528267	A	19 August 2010
				EP	2158454	A2	03 March 2010
				EP	2158454	A4	23 November 2011
				EP	2158454	B1	22 August 2018
				WO	2009023334	A2	19 February 2009
				WO	2009023334	A9	02 April 2009
				WO	2009023334	A3	14 May 2009

A. 主题的分类

B25J 15/00(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)

IPC:B25J

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))

CNTEXT,ENTXT,DWPI,CNKI:仿生,手指,表皮,皮肤,弹性,液,孔,管,bionic,finger,derma,skin,elastic,flex+,liquid,fluid,hole, opening,aperture,bore,tube,pipe,conduit,vessel

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 117103305 A (香港理工大学 等) 2023年11月24日 (2023 - 11 - 24) 权利要求1-16	1-16
A	CN 113519268 A (江苏大学) 2021年10月22日 (2021 - 10 - 22) 说明书第4-47段, 附图1-14	1-16
A	CN 103753593 A (中国矿业大学) 2014年4月30日 (2014 - 04 - 30) 全文	1-16
A	CN 219235315 U (李安顺) 2023年6月23日 (2023 - 06 - 23) 全文	1-16
A	CN 113733133 A (清华大学深圳国际研究生院) 2021年12月3日 (2021 - 12 - 03) 全文	1-16
A	CN 113635340 A (北京工业大学) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 全文	1-16
A	US 2021293643 A1 (UNIV COLORADO REGENTS) 2021年9月23日 (2021 - 09 - 23) 全文	1-16

☒ 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

2024年8月28日

国际检索报告邮寄日期

2024年9月9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

卢雁

电话号码 (+86) 010-62085392

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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 2009133508 A1 (UNIV SOUTHERN CALIFORNIA) 2009年5月28日 (2009 - 05 - 28) 全文	1-16

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/099917

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	117103305	A	2023年11月24日	无			
CN	113519268	A	2021年10月22日	无			
CN	103753593	A	2014年4月30日	无			
CN	219235315	U	2023年6月23日	无			
CN	113733133	A	2021年12月3日	无			
CN	113635340	A	2021年11月12日	无			
US	2021293643	A1	2021年9月23日	WO	2020010328	A1	2020年1月9日
US	2009133508	A1	2009年5月28日	US	7878075	B2	2011年2月1日
				JP	2010528267	A	2010年8月19日
				EP	2158454	A2	2010年3月3日
				EP	2158454	A4	2011年11月23日
				EP	2158454	B1	2018年8月22日
				WO	2009023334	A2	2009年2月19日
				WO	2009023334	A9	2009年4月2日
				WO	2009023334	A3	2009年5月14日