



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119984605 A

(43) 申请公布日 2025. 05. 13

(21) 申请号 202510316412.4

(22) 申请日 2025.03.18

(71) 申请人 浙江理工大学

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经济开发区白杨街道

(72) 发明人 刘爱萍 于航 程琳 孙强
路一洛

(74) 专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所
(普通合伙) 33296

专利代理师 冯海军

(51) Int. Cl.

G01L 5/00 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

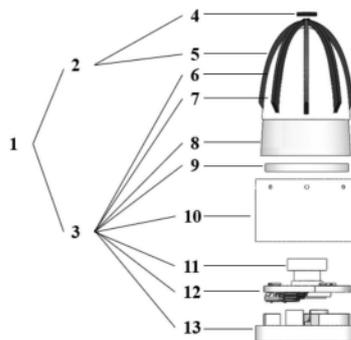
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器及其制备方法

(57) 摘要

本申请涉及柔性传感领域,公开了一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,包括应变-视触觉双模式传感器,所述应变-视触觉双模式传感器包括柔性应变传感器与视触觉传感器,所述柔性应变传感器包括导电弹性体和导电通路,所述视触觉传感器包括遮光层、传感皮肤、透明弹性体、亚克力透镜、遮光外壳、摄像头模块、发光电路模块和传感器基座,分别制备两种类型的传感器,并组合为一个整体,其中柔性应变传感器的八条导电通路对应了360°空间范围内的八个方向,每个通路对应一个45°扇区,构建为具备全向应变感知能力的视触觉传感器,实现了高分辨率的触觉感知与八个方向的大范围应变感知的融合,增强了视触觉传感器的应变感知能力。



1. 一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,其特征在于,包括应变-视触觉双模式传感器(1),所述应变-视触觉双模式传感器(1)包括柔性应变传感器(2)与视触觉传感器(3),所述柔性应变传感器(2)包括导电弹性体(4)和导电通路(5),所述视触觉传感器(3)包括遮光层(6)、传感皮肤(7)、透明弹性体(8)、亚克力透镜(9)、遮光外壳(10)、摄像头模块(11)、发光电路模块(12)和传感器基座(13)。

2. 根据权利要求1所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,其特征在于,所述柔性应变传感器(2)的导电通路(5)与视触觉传感器(3)的遮光层(6)为同一层。

3. 根据权利要求1-2任一项所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1. 遮光外壳与传感器基座的制备:利用SolidWorks软件建模,分别制备遮光外壳与传感器基座,保证外壳与基座连接处尺寸吻合,之后,将模型导入SLA光固化3D打印机中打印直至成型;

S2. 发光电路模块的制备:利用嘉立创EDA软件进行原理图设计与PCB布局,并交由生产厂家加工得到发光电路板;

S3. 亚克力透镜的制备:将2mm厚度亚克力板在20KHz、功率为55%-65%、速度为150mm/s的条件下进行红外激光切割,得到亚克力透镜;

S4. 透明弹性体的制备:称取一定质量的聚二甲基硅氧烷PDMS及其交联剂,将二者以10:1的比例混合搅拌,并将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的三维模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到透明弹性体;

S5. 传感皮肤的制备:称取一定质量的DRSGJ02有机硅胶的A液与B液,将二者按1:1的比例混合搅拌,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到传感皮肤,将其套在步骤四制得的透明弹性体上;

S6. 导电通路及遮光层的制备:称取9.5gEcoflex与0.5g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电通路及遮光层,将其套在经过步骤五的透明弹性体上;

S7. 导电弹性体的制备:称取4.5-5gEcoflex与0.2-0.3g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电弹性体,将其套在经过步骤六后的透明弹性体上;

S8. 嵌入基座:将上述制备得到的透明弹性体嵌入在步骤一制得的传感器基座中,制备得到具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器。

4. 根据权利要求3所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤S4中固化后的三维透明弹性体的高度为29~31mm。

5. 根据权利要求3所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方

法,其特征在于,所述步骤S5中制备得到的视触觉传感器传感层厚度为0.4~0.6mm。

6.根据权利要求3所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤S6中制备得到的导电通路及遮光层的厚度为0.4~0.6mm。

7.根据权利要求3所述的一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤S7中制备得到的导电弹性体的厚度为0.4~0.6mm。

一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感技术领域,具体为一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 在智能机器人领域,机器人的环境交互能力对其应用起着决定性作用,而环境感知是实现高效交互的基石。机器人的感知依赖于模拟人类感官的先进传感技术,其中机器视觉和触觉传感尤为关键。机器视觉借助摄像头、激光雷达等设备将环境图像和距离信息转化为数据,以此助力机器人识别物体、判断距离和方向,实现空间导航与操作。但它受环境因素制约明显,物体遮挡会形成视觉盲区,环境光变化会干扰图像识别,导致信息缺失或准确性降低。

[0003] 触觉传感技术为解决机器视觉的局限提供了新思路。在光线不足或视觉受阻时,触觉传感器能通过接触感知物体表面特征和压力分布等信息,弥补视觉缺失。不过,触觉传感器虽类型多样,却因传感机理不同而模式单一、功能有限,难以满足复杂场景下的多样化任务需求。多模式触觉传感器则应运而生,它整合多种传感模式,在一个设备中实现对压力、温度、纹理等多种物理量的感知。这种集成化设计简化了机器人感知系统架构,提升了信息获取的全面性与准确性,显著增强了机器人在复杂环境中的适应性和操作灵活性,为其在更多领域的应用开辟了广阔前景。

[0004] 在众多类型的柔性触觉传感器中,视触觉传感器具备触觉信息分辨率高、特征丰富等特点,但无法感知传感器本体的拉伸应变,柔性应变传感器的结合在这一点上可以起到补充的作用。将二者有机结合,在触觉表面成像与全向大范围应变感知两方面上,二者可以达到劣势互补,优势融合的效果。

[0005] 为了增加单一类别传感器的感知能力,对视触觉传感器和应变传感器本身功能进行提升,并推动柔性触觉传感器的实际应用,本发明提出一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器。

发明内容

[0006] 为了增加单一类别传感器的感知能力,本发明提供了一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器及其制备方法,一体化制备了视触觉传感器与柔性应变传感器,实现了高分辨率触觉感知与全方向大范围的应变感知的融合,增强了视触觉传感器的应变感知能力。

[0007] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,包括应变-视触觉双模式传感器,所述应变-视触觉双模式传感器包括柔性应变传感器与视触觉传感器,所述柔性应变传感器包括导电弹性体和导电通路,所述视触觉传感器包括遮光层、传感皮肤、透明弹性体、亚克力透镜、遮光外壳、摄像头模

块、发光电路模块和传感器基座。

[0008] 一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤一、遮光外壳与传感器基座的制备:利用SolidWorks软件建模,分别制备遮光外壳与传感器基座,保证外壳与基座连接处尺寸吻合,之后,将模型导入SLA光固化3D打印机中打印直至成型;

[0010] 步骤二、发光电路模块的制备:利用嘉立创EDA软件进行原理图设计与PCB布局,并交由生产厂家加工得到发光电路板;

[0011] 步骤三、亚克力透镜的制备:将2mm厚度亚克力板在20KHz、功率为55%-65%、速度为150mm/s的条件下进行红外激光切割,得到亚克力透镜;

[0012] 步骤四、透明弹性体的制备:称取20g聚二甲基硅氧烷PDMS及2g交联剂,将二者以10:1的比例混合搅拌,并将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的三维模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到透明弹性体;

[0013] 步骤五、传感皮肤的制备:称取DRSGJ02有机硅胶的A液与B液各5g进行混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到传感皮肤,将其套在步骤四制得的透明弹性体上;

[0014] 步骤六、导电通路及遮光层的制备:称取9.5gEcoflex与0.5g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电通路及遮光层,将其套在经过步骤五的透明弹性体上;

[0015] 步骤七、导电弹性体的制备:称取4.5-5gEcoflex与0.2-0.3g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电弹性体,将其套在经过步骤六后的透明弹性体上;

[0016] 步骤八、将上述制备得到的透明弹性体嵌入在步骤一制得的传感器基座中,制备得到具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器。

[0017] 本发明提供了一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器及其制备方法。具备以下

[0018] 有益效果:

[0019] 1、本发明通过视触觉传感器与柔性应变传感器的结构复用与功能层集成,将导电通路和透明弹性体作为共享功能层,减少冗余结构设计,使传感器体积压缩率超过30%,能够在单一传感单元中同步采集高分辨率触觉图像(≥ 2000 像素/cm²)与全方向应变电阻信号(覆盖360°空间),实现触觉、应变数据的协同反馈与多维感知层深度融合。

[0020] 2、本发明基于八个全向分布的导电通路设计创新,通过360°空间内均匀分布的八个导电通路(单通路覆盖45°扇区)与含碳纳米管的可拉伸导电弹性体结合,在柔性基底发生0-300%拉伸应变时,各通路电阻变化灵敏度达20%应变⁻¹,分辨率 $\leq 3^\circ$ 方位角偏差,可

精准感知任意方向外来接触力的大小、方位及接触轨迹,解决了传统应变传感器各向异性感知能力不足的难题。

[0021] 3、本发明采用多层材料优化与精细化制备工艺,通过PDMS透明弹性体与亚克力透镜的光学耦合设计(折射率匹配误差 ≤ 0.05)及高透光率($> 90\%$)传感皮肤层,结合均匀分布的发光电路模块(LED阵列密度 50 个/ cm^2),使触觉成像分辨率提升至 0.05mm^2 /像素,可清晰还原接触物体的表面纹理(如 0.1mm 级沟槽)、几何轮廓及三维形变特征,拓展了视觉触觉融合感知的应用边界。

附图说明

[0022] 图1为本发明的具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器结构示意图;

[0023] 图2为本发明的柔性应变传感器的阶梯拉伸应变稳定性能测试示意图;

[0024] 图3为本发明的柔性应变传感器在不同拉伸应变下的重复性能测试示意图;

[0025] 图4为本发明的柔性应变传感器的拉伸应变灵敏度性能测试示意图;

[0026] 图5为本发明的传感器采集到的接触物体表面信息示意图;

[0027] 图6为本发明的制备方法流程图。

[0028] 其中,1、应变-视触觉双模式传感器;2、柔性应变传感器;3、视触觉传感器;4、导电弹性体;5、导电通路;6、遮光层;7、传感皮肤;8、透明弹性体;9、亚克力透镜;10、遮光外壳;11、摄像头模块;12、发光电路模块;13、传感器基座。

具体实施方式

[0029] 下面将结合本发明说明书附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 实施例一

[0031] 请参阅附图1-附图6,本发明实施例提供一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,包括应变-视触觉双模式传感器1,应变-视触觉双模式传感器1包括柔性应变传感器2与视触觉传感器3,所述柔性应变传感器2包括导电弹性体4和导电通路5,所述视触觉传感器3包括遮光层6、传感皮肤7、透明弹性体8、亚克力透镜9、遮光外壳10、摄像头模块11、发光电路模块12和传感器基座13。

[0032] 一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0033] 步骤一、遮光外壳与传感器基座的制备:利用SolidWorks软件建模,分别制备遮光外壳与传感器基座,保证外壳与基座连接处尺寸吻合,之后,将模型导入SLA光固化3D打印机中打印直至成型;

[0034] 步骤二、发光电路模块的制备:利用嘉立创EDA软件进行原理图设计与PCB布局,并交由生产厂家加工得到发光电路板;

[0035] 步骤三、亚克力透镜的制备:将 2mm 厚度亚克力板在 20KHz 、功率为 $55\% - 65\%$ 、速度为 150mm/s 的条件下进行红外激光切割,得到亚克力透镜;

[0036] 步骤四、透明弹性体的制备:称取 20g 聚二甲基硅氧烷PDMS及 2g 交联剂,将二者以

10:1的比例混合搅拌,并将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的三维模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到透明弹性体;

[0037] 步骤五、传感皮肤的制备:称取DRSGJ02有机硅胶的A液与B液各5g进行混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到传感皮肤,将其套在步骤四制得的透明弹性体上;

[0038] 步骤六、导电通路及遮光层的制备:称取9.5gEcoflex与0.5g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电通路及遮光层,将其套在经过步骤五的透明弹性体上;

[0039] 步骤七、导电弹性体的制备:称取4.5-5gEcoflex与0.2-0.3g碳纳米管CNTs,将二者混合,并用玻璃棒搅拌10分钟,之后将溶液置于真空泵中进行抽真空操作,直至溶液中无气泡被抽出;随后,将上述溶液倒入预先准备好的模具中,并将模具放在50°C的加热台上加热直至模具中溶液固化成型,从模具中取出得到导电弹性体,将其套在经过步骤六后的透明弹性体上;

[0040] 步骤八、将上述制备得到的透明弹性体嵌入在步骤一制得的传感器基座中,制备得到具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器。

[0041] 实施例一有益效果:本实施例通过导电通路与透明弹性体的结构复用设计,将八个全向分布的导电通路(单通路覆盖45°扇区)与含碳纳米管的可拉伸导电弹性体集成,在柔性基底0-300%应变范围内,实现各通路电阻灵敏度达20%应变⁻¹,方位角分辨率≤3°,同时结合透明弹性体(PDMS)与亚克力透镜的光学耦合(透光率>90%),使触觉成像分辨率提升至0.05mm²/像素,可精准还原接触物体表面纹理及三维形变特征。传感器整体体积压缩率超过30%,能够在单一单元中同步输出高分辨率触觉图像(≥2000像素/cm²)与全方向应变反馈信号,适用于通用机器人场景下多维触觉感知需求。

[0042] 实施例二:

[0043] 在实施例一的基础上,对柔性应变传感器2的导电弹性体4和导电通路5进行改进,一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,包括柔性应变传感器2的导电弹性体4和导电通路5;

[0044] 柔性应变传感器2的导电弹性体4由4.35gEcoflex、0.35g碳纳米管(CNTs)及0.1g石墨烯混合制成,

[0045] 柔性应变传感器2的导电通路5升级为16个螺旋放射状通路,覆盖360°空间,单通路对应22.5°扇区;

[0046] 实施例二有益效果:本实施例在实施例一基础上,将导电通路数量增至16个螺旋放射状通路(覆盖22.5°扇区),并通过石墨烯-碳纳米管复合导电弹性体(Ecoflex:CNTs=8:1,添加0.1g石墨烯)优化导电网络连续性,使应变灵敏度提升至35%应变⁻¹,最小可检测应变降至0.5%,方位角分辨率达1.5°。动态响应时间缩短至20ms以内,且16通路螺旋布局有效降低电阻温度漂移误差至<2%,适用于高速工业机器人对接触力方向、轨迹的高精度

实时检测,显著提升抓取效率与抗干扰能力。

[0047] 如图2所示,通过力学试验机(MX-0350)以200mm/s的速度对柔性应变传感器进行拉伸测试。将柔性应变传感器分别被拉伸到应变20%、40%、60%、80%、100%并保持一定时间。当传感器被拉伸至一定应变时,相对电阻($\Delta R/R_0$)变化随着应变的增大而增大;当应变保持不变时, $\Delta R/R_0$ 保持恒定值。表明柔性应变传感器在拉伸应变下具有良好的稳定性。

[0048] 如图3所示,通过力学试验机(MX-0350)以50mm/s的速度对柔性应变传感器进行加载-卸载循环拉伸测试。通过控制力学试验机使得传感器分别在20%、40%和100%的拉伸应变下进行10次重复测试。实验表明传感器在不同应变下的10次重复加载-卸载循环拉伸过程中仍然保持稳定的输出信号,表明其具有良好的重复性。

[0049] 如图4所示,通过力学试验机(MX-0350)以50mm/s的速度对柔性应变传感器进行拉伸测试。将传感器从应变0%拉伸至应变100%时,传感器的相对电阻($\Delta R/R_0$)变化随着应变的增大而逐渐增大,且变化梯度逐渐增大。当应变在0%-40%范围内时,曲线斜率为0.12;当应变为40%-80%范围内时,曲线斜率为0.31;当应变为80%-100%范围内时,曲线斜率为0.95。实验表明传感器在0%-100%范围内具有良好的灵敏度。

[0050] 如图5所示,将一个直径为10mm的铜球与传感器表面6进行接触,由摄像头模块10采集到的RGB三通道触觉图像($\text{dpi} = 150 \times 160$),该图像可以有效还原触觉皮肤表面6的接触信息。

[0051] 一种具备全向应变感知能力的三维视触觉传感器,可以同时获取柔性应变传感器2以及视触觉传感器3的信号,通过将柔性应变传感器的导电通路5与视触觉传感器的保护层统一为一层,有效减少了传感器整体尺寸,实现了两种不同传感器的有效融合,将该双模式触觉传感器应用于高分辨率触觉感知与全向应变感知,柔性应变传感器的八个导电通路分布于 360° 空间的八个方向,每个通路对应 45° 扇区,可用于感知各个方向上较大范围内的应变,从而判断接触物体与传感器的相对位置及接触力信息,视触觉传感器3采集得到的高分辨率触觉图像,可以有效与深度学习等基于数据的算法结合,来进一步提取高级特征。

[0052] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

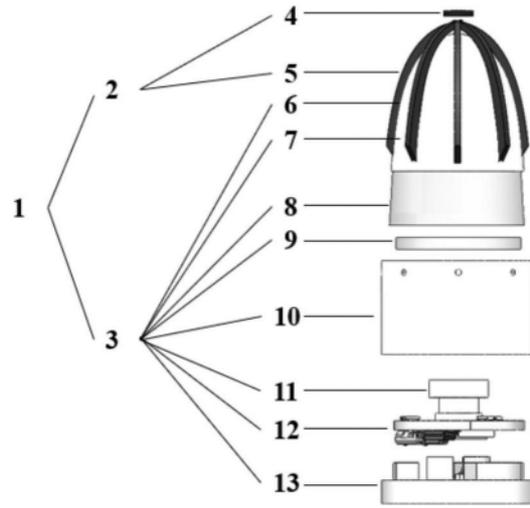


图1

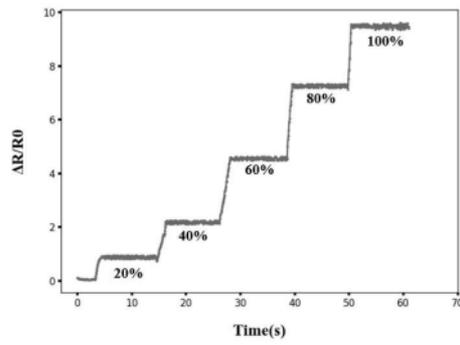


图2

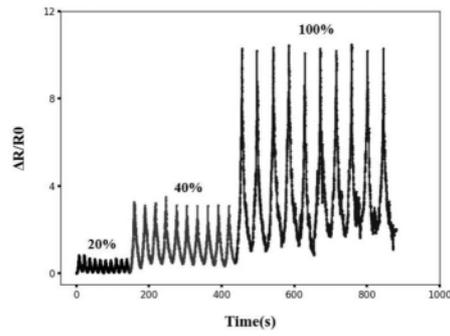


图3

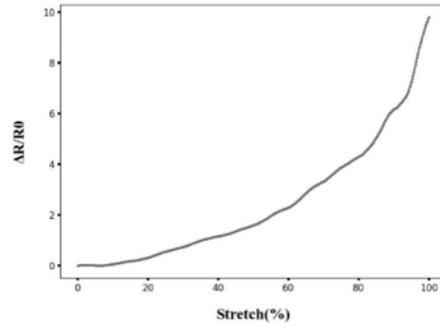


图4

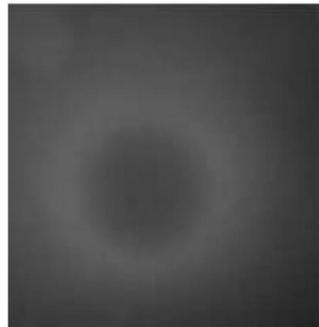


图5

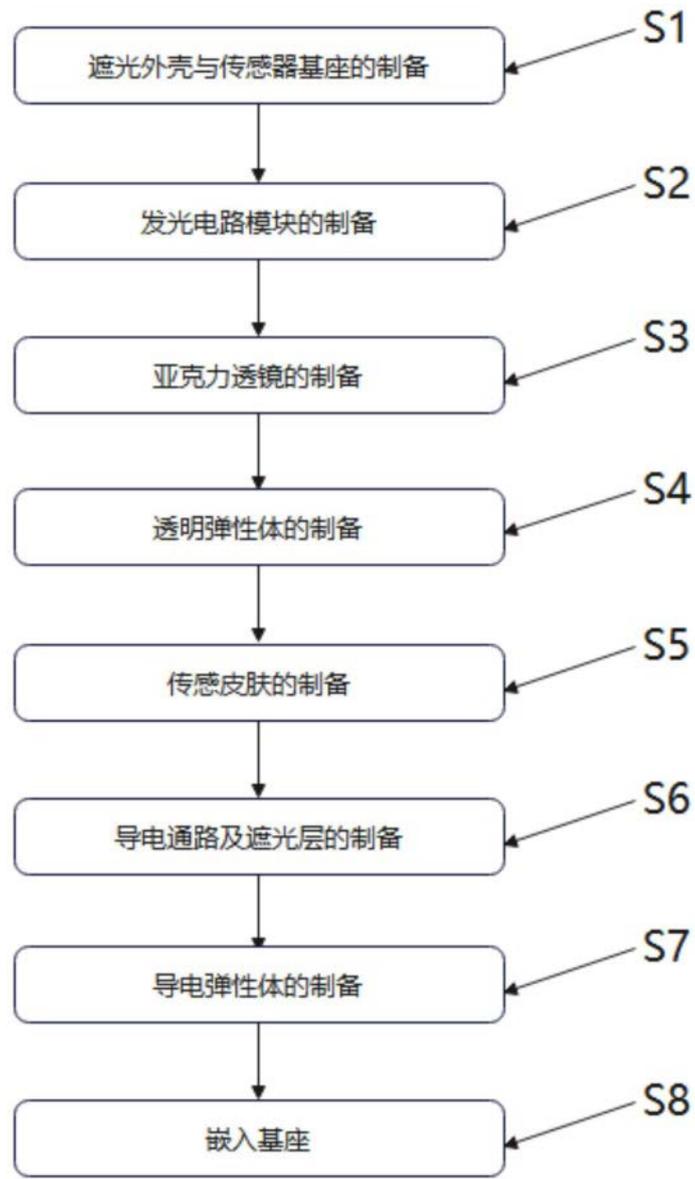


图6