



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103954382 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201410206998. 0

(22) 申请日 2014. 05. 14

(71) 申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193 号

(72) 发明人 黄英 袁海涛 刘彩霞 刘平
张玉刚 郭小辉 李雷鸣 邱世华

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 何梅生

(51) Int. Cl.

G01L 1/14(2006. 01)

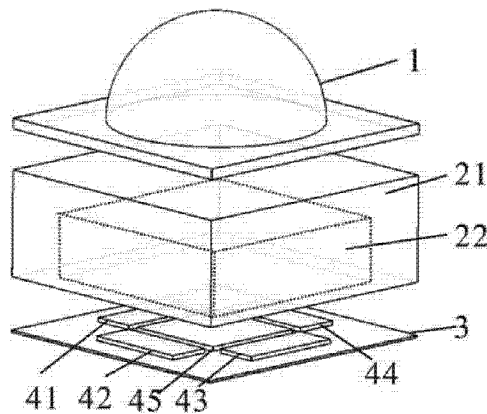
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种变介质式电容柔性三维力触觉传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征为:设置一柔性印刷电路板,在印刷电路板上印刷有一呈正方形的公共电极和等间距位于公共电极各边外围的四个相同的矩形感应电极;各感应电极以公共电极的中心为对称点两两对称;在柔性印刷电路板上固定有一复合多介质层;复合多介质层由呈倒凹形的 PDMS 介质层及位于 PDMS 层凹槽内的空气介质层构成;复合多介质层扣合在柔性印刷电路板的上方,公共电极及四个感应电极位于空气介质层内;在复合多介质层上设置有 PDMS 半球形触头。本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器公共电极及各感应电极位于同一平面上,与传统上下电极结构的电容式触觉传感器相比,具有制作工艺简单,易于阵列化的优势。



1. 一种变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征在于:设置一柔性印刷电路板,在所述印刷电路板上印刷有一呈正方形的公共电极和等间距位于所述公共电极各边外围的四个相同的矩形感应电极;各感应电极以公共电极的中心为对称点两两对称;

在所述柔性印刷电路板上固定有一复合多介质层;所述复合多介质层由呈倒凹形的PDMS 介质层及位于 PDMS 层凹槽内的空气介质层构成;复合多介质层扣合在所述柔性印刷电路板的上方,所述公共电极及四个感应电极位于空气介质层内;在所述复合多介质层上设置有 PDMS 半球形触头。

2. 根据权利要求 1 所述的变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征在于:各感应电极的长边边长等于公共电极的边长,各感应电极的长边与和其相邻的公共电极的边平行。

3. 根据权利要求 1 所述的变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征在于:所述 PDMS 半球形触头通过一体化设置在其底面的 PDMS 平面与复合多介质层的上表面贴合。

4. 根据权利要求 1 所述的变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征在于:所述空气介质层的厚度不大于 PDMS 介质层顶面的厚度。

5. 根据权利要求 1 所述的变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特征在于:所述印刷电路板以聚酰亚胺为材质。

一种变介质式电容柔性三维力触觉传感器

技术领域

[0001] 本发明属于传感技术领域,涉及一种应用于人工智能皮肤的三维力触觉传感器。

背景技术

[0002] 触觉传感器在机器人领域的地位是举足轻重的,机器人依靠触觉传感器可以精确的感知外部信息,实现与外界环境的良好互动。特别是柔性多维触觉传感器,可以作为机器人的柔性敏感皮肤,更好的满足当前迅速发展的各种服务机器人的要求,实现良好的人机互动,更好地为人类服务。除此之外,触觉传感器在体育训练、康复医疗和人体生物力学等诸多领域均有广泛应用。在这些领域中非结构化的环境对触觉技术提出了更高的要求,具有良好的柔韧性和三维力检测性能的传感器已经成为智能机器人技术的一个重要研究领域。

[0003] 目前国内外已经研制出多种用于机器人皮肤三维力触觉传感器。例如:台湾国立大学的 Chih-Chieh Wen 等人用高分子压阻复合膜设计研制了传感范围和灵敏度可调整的三轴触觉传感器;伦敦大学的 Pinyo Puangmalii 等人设计了基于光波原理的能够检测三维力的触觉传感器,该传感器利用光的变化量来检测基底材料三维方向上的位移的变化,利用方程构建位移和三维力之间的关系;东京大学的 S. Wattanasarn 等人基于磁导式触觉传感器在外力作用下磁场发生变化的原理,把磁场的变化通过磁路系统转换为电信号,从而感受接触面上的压力信息,研制出利用电磁感应原理的柔性三维力触觉传感器。以上传感器作为非电容式三维力触觉传感器,在柔性化和三维力检测兼容性方面取得了重要进步,但尚存一定问题,很多研究工作集中于利用 MEMS 技术加工的硅片制备敏感单元,将其嵌入柔性材料中,或使用高分子材料将敏感单元覆盖,即依赖柔性材料进行力的传递实现柔性化,此结构使其在连续大面积测量方面受到一定限制,且硅片易碎,在受到较大变形和冲击力较大时传感器的测量精度将受到影响,这些都大大降低了柔性触觉传感器在实际应用中的普及性。

[0004] 首尔国立大学和美国明尼苏达大学的研究学者们利用 PDMS 材料作为基底层,通过上下嵌入电极和触头的特殊结构设计,合作研制了一种可同时检测法向力和切向力的电容式触觉传感器;台湾大学的研究人员分别使用 PDMS 材料和柔性印刷电路板作为驱动电极和敏感电极,制备得到一种电容敏感单元,利用微加工工艺和特殊触头设计实现正压力和切向力的检测。在现有的柔性电容式三维力触觉传感器中,大多采用上下电极的结构,将电极嵌入柔性衬底材料中或以柔性材料作为介质层的结构,实现了较高精度的三维力检测。上下电极结构使得该传感器在表面曲率较高或变形较大等场合不太适用,且由于其结构的限制,使得不易实现传感器结构的阵列化,降低了柔性触觉传感器在实际应用中的普及性。

发明内容

[0005] 为了解决上述现有的三维力传感器的制备工艺复杂、应用场合的局限性、难于阵

列化等缺点,本发明旨在提供一种用于智能机器人人工敏感皮肤的全柔性、灵敏度高、性能稳定、制备工艺简单、易于阵列化的电容式三维力触觉传感器。

[0006] 本发明为解决技术问题采用如下技术方案:

[0007] 本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特点在于:设置一柔性印刷电路板,在所述印刷电路板上印刷有一呈正方形的公共电极和等间距位于所述公共电极各边外围的四个相同的矩形感应电极;各感应电极以公共电极的中心为对称点两两对称;

[0008] 在所述柔性印刷电路板上固定有一复合多介质层;所述复合多介质层由呈倒凹形的 PDMS 介质层及位于 PDMS 层凹槽内的空气介质层构成;复合多介质层扣合在所述柔性印刷电路板的上方,所述公共电极及四个感应电极位于空气介质层内;在所述复合多介质层上设置有 PDMS 半球形触头。

[0009] 本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器,其特点也在于:各感应电极的长边边长等于公共电极的边长,各感应电极的长边与其相邻的公共电极的边平行。

[0010] 所述 PDMS 半球形触头通过一体化设置在其底面的 PDMS 平面与复合多介质层的上表面贴合。

[0011] 所述空气介质层的厚度不大于 PDMS 介质层顶面的厚度。

[0012] 所述印刷电路板以聚酰亚胺为材质。

[0013] 与已有技术相比,本发明有益效果体现在:

[0014] 1、本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器公共电极及各感应电极位于同一平面上,与传统上下电极结构的电容式触觉传感器相比,具有制作工艺简单,易于阵列化的优势;

[0015] 2、本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器以 PDMS 和聚酰亚胺为基材,具有很好的柔性,传感器可以实现弯曲变形,使整个触觉传感器能够可靠地黏附在各种曲面上,实现对三维力的检测,提高了其表面适应性;

[0016] 3、本发明的三维力触觉传感器以 PDMS 介质层和空气介质层构成复合多介质层,表面具有更高的柔弹性,在力的作用下,更易形变,提高了传感器的灵敏度;

[0017] 4、本发明的三维力触觉传感器通过改变空气介质层和 PDMS 介质层的厚度,可以调节三维力的量程和灵敏度,调节方式简单,易于控制。

附图说明

[0018] 图 1 为本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器的立体拆分示意图;

[0019] 图 2 为本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器的横截面结构示意图;

[0020] 图 3 为本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器的各结构示意图,其中 (a) 为电极结构示意图;(b) 为复合多介质层结构示意图;

[0021] 图 4 为本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器四个等效电容的位置分布示意图;

[0022] 图 5 为本发明变介质式电容柔性三维力触觉传感器在受力时的结构变化示意图;

[0023] 图中标号:1PDMS 半球形触头;2PDMS 介质层;22 空气介质层;3 印刷电路板;41 第一感应电极;42 第二感应电极;43 第三感应电极;44 第四感应电极;45 公共电极。

具体实施方式

[0024] 如图 1 和图 2 所示,本实施例的变介质式电容柔性三维力触觉传感器包括 PDMS 半球形触头 1、复合多介质层及由聚酰亚胺制作而成的柔性印刷电路板 3。

[0025] 如图 3a 所示,在印刷电路板上 3 通过铜箔印刷有一呈正方形的公共电极 45 和等间距位于公共电极各边外围的四个相同的矩形感应电极(第一感应电极 41;第二感应电极 42;第三感应电极 43;第四感应电极 44);各感应电极以公共电极的中心为对称点两两对称。各感应电极的长边边长等于公共电极的边长,各感应电极的长边与和其相邻的公共电极的边平行。电极结构的高度对称性,确保四个等效电容在初始值具有高度一致性,变化量具有对称性,有利于构建三维力矩阵式解析模型,且这种矩阵式的解析公式在大面积集成时有利于提高数据的处理速度。结合理论公式及仿真分析可知,在小尺寸结构中,电场强度主要受感应电极长边影响,宽边及公共电极与感应电极之间的距离影响较小。在确保传感器性能的基础上,尽可能降低传感器尺寸,因此公共电极采用正方形而四个感应电极采用相同矩形的电极结构。

[0026] 如图 3b 所示,复合多介质层由呈倒凹形的 PDMS 介质层 21 及位于 PDMS 层凹槽内的空气介质层 22 构成。

[0027] 复合多介质层扣合在柔性印刷电路板的上方,并通过高性能粘合剂粘粘贴固定,公共电极及四个感应电极位于空气介质层内;在复合多介质层上设置有 PDMS 半球形触头。为使固定更牢固,PDMS 半球形触头通过一体化设置在其底面的 PDMS 平面与复合多介质层的上表面粘合。

[0028] PDMS 半球形触头在制备时,首先采用 3D 打印技术,打印结构所需模具,然后将 PDMS 注入成模,最后脱模即得。复合多介质层的制备,也是首先基于 3D 打印技术打印结构所需模具,然后将 PDMS 注入成模,最后脱模获得。

[0029] 图 4 反映了本实施例的三维力触觉传感器的电容分布,在各反应电极与公共电极之间各分布有一电容,对三维力的检测也正是通过解析四个电容的变化来实现。

[0030] 具体检测机理如下:当三维力作用在 PDMS 半球形触头 1 上时,复合多介质层受力变形,各感应电极与公共电极之间的介质层结构发生变化,有效介电系数改变,使得传感器的四个等效电容 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 发生改变。通过对四个电容变化的测量可实现对三维力的检测。

[0031] 以公共电极的中心为原点、以向上垂直于印刷电路板上 3 的方向为 Z 轴正向、以垂直且指向第二感应电极 42 的方向为 X 轴正向,以垂直且指向第一感应电极 41 的方向为 Y 轴正向建立空间直角坐标系。

[0032] 如图 5 所示,当对 PDMS 半球形触头施加一沿 X 轴正向作用的剪切力 F_x 时,沿 F_x 方向的复合多介质层下压,空气介质层 22 压缩,PDMS 介质层 21 取代被压缩的空气介质层的位置,由于 PDMS 的介电系数大于空气的介电系数,使得第二感应电极 42 和公共电极 45 之间的有效介电系数增加, C_2 电容值增加,而 F_x 相反方向,复合多介质层上拉,空气介质层 22 厚度增加,使得第四感应电极 44 和公共电极 45 之间的有效介电系数减小, C_4 电容值减小。因为第一感应电极 41 及第三感应电极 43 和第二感应电极 42 及第四感应电极 44 正交,使得复合多介质层的形变相互抵消, C_1 、 C_3 几乎不变。

[0033] 当对 PDMS 半球形触头施加一沿 Y 轴正向作用的剪切力 F_y 时,沿 F_y 方向的复合多

介质层下压,空气介质层 22 压缩,PDMS 介质层 21 取代被压缩的空气介质层 22 的位置,由于 PDMS 的介电系数大于空气的介电系数,使得第一感应电极 41 和公共电极 45 之间的有效介电系数增加,C1 电容值增加,而 Fy 相反方向,复合多介质层上拉,空气介质层 22 厚度增加,使得第三感应电极 43 和公共电极 45 之间的有效介电系数减小,C3 电容值减小。因为第一感应电极 41 及第三感应电极 43 和第二感应电极 42 及第四感应电极 44 正交,使得复合多介质层的形变相互抵消,C2、C4 几乎不变。

[0034] 当对 PDMS 半球形触头施加一沿 Z 轴负向作用的法向力 Fz 时,在 Fz 的作用下,复合多介质层被整体下压,空气介质层 22 压缩,极板 41、42、43、44 四个感应电极与公共电极 45 之间的有效介电系数均增加,C1、C2、C3、C4 电容值等同增加。

[0035] 最后对三维力触觉传感器进行标定,即通过提取和处理三维接触力作用下输出的四个电容信号,经过线性解耦得到各方向受力。

[0036] 本发明中空气介质层的厚度应不大于 PDMS 介质层倒凹形顶面的厚度。由于本发明所采用的电极结构,通过 ansys 仿真可知,感应电极与公共电极的电场主要集中在印刷电路板正上方与正下方 2mm 处,在具体实施过程中,印刷电路板底部会加入一圈屏蔽电极,使电场主要集中在印刷电路板的正上方。空气层尽量位于电场区,可以确保在小量程范围内传感器具有较高的灵敏度,在具体实施过程中,空气介质层的厚度不大于 2mm。为了提高传感器的稳定性,在作用力满量程时,复合多介质层中空气腔厚度接近为零,PDMS 介质层厚度应满足不小于电场区厚度,这样可以减小外界干扰。传感器在满足工作性能下,整体的高度需要尽可能小,这样在运用到机器人皮肤时具有更好的灵活性。综合考虑上述因素,拟设定复合多介质层高度为 5mm,PDMS 介质层厚度不小于 3mm,柔性印刷电路板的厚度及通过铜箔印刷在其上的公共电极和各感应电极的厚度对电场基本没有影响,可忽略不计。空气介质层的厚度不大于 PDMS 介质层顶面的厚度,一方面确保传感器具有较高的灵敏度;另一方面,提高传感器的抗干扰能力。表 1 为 PDMS 介质层厚度与空气介质层厚度在不同比例关系下,所得传感器在各个方向上的灵敏度及量程。

[0037] 表 1

[0038]

复合多介质 厚度 (mm)	PDMS 介质层: 空 气介质层	灵敏度			量程(N)
		Z 轴	X 轴	Y 轴	
5mm	3: 2	0.095N ⁻¹	0.0053 N ⁻¹	0.0060 N ⁻¹	0-10
5mm	7: 3	0.103 N ⁻¹	0.0062 N ⁻¹	0.0064 N ⁻¹	0-8
5mm	4: 1	0.111 N ⁻¹	0.0070 N ⁻¹	0.0069 N ⁻¹	0-5
5mm	9: 1	0.130 N ⁻¹	0.0082 N ⁻¹	0.0085 N ⁻¹	0-4

[0039] 此外,在后期的具体实施中,可以将一些导电粒子(炭黑、碳纳米管等)填充于 PDMS 介质层中,能够提高其介电系数,进一步提高传感器的灵敏度。

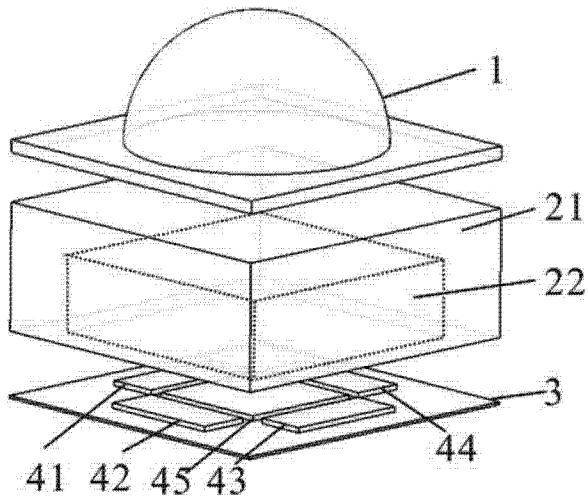


图 1

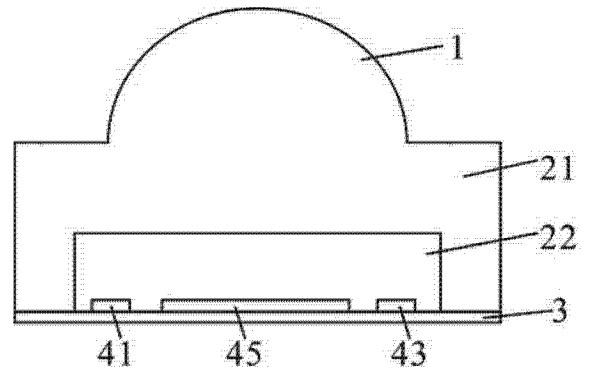


图 2

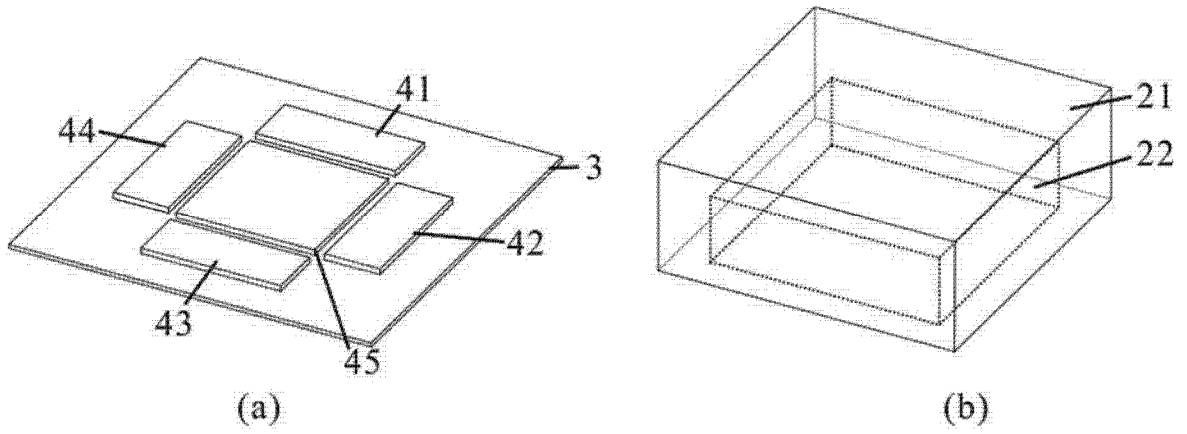


图 3

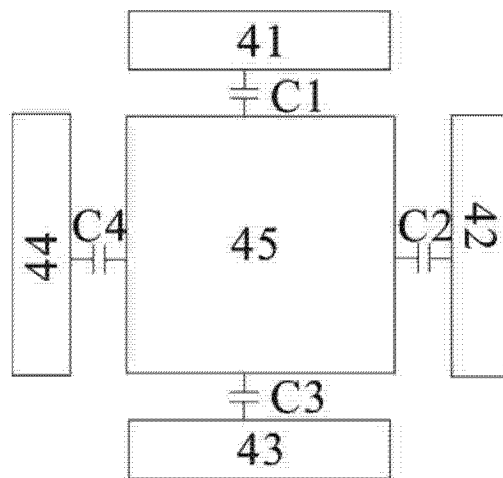
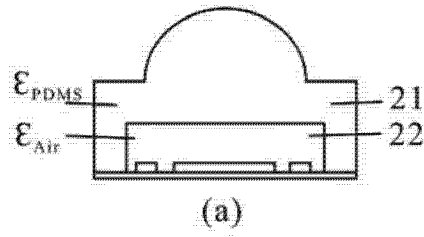


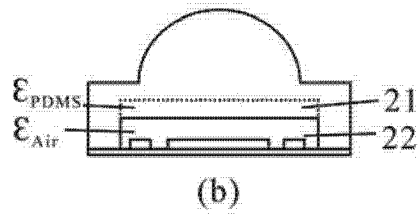
图 4

未加载力



加载法向力

$\downarrow F_Z$



加载剪切力

$\rightarrow F_X$

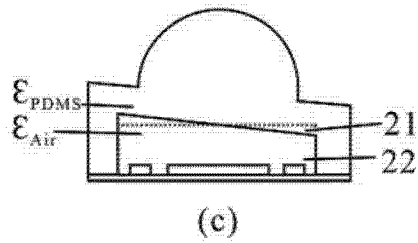


图 5