

说明书

发明名称: 可拉伸的刚柔互联件及其制作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及刚柔互联技术领域，具体涉及一种可拉伸的刚柔互联件及其制作方法。

背景技术

[0002] 刚柔互联件是指同时具有刚性电路系统和柔性电路系统，且两种电路系统之间需要进行电气互联的电子系统。其中，刚性电路系统通常是指硬性且不可拉伸的电路模块，而柔性电路系统通常是指软性且可拉伸的电路模块。随着科技的发展，刚柔互联件已广泛应用于医疗、军事和机器人等领域。尤其是可穿戴电子技术领域，软性且可拉伸的电路模块（即柔性电路系统）与硬质且不可拉伸的电路模块（即刚性电路系统）之间的互连几乎是不可避免的。

[0003] 目前，在刚柔互联件中，大都采用在柔性电路系统内部设计蛇形的蜿蜒线路的方式来减轻互联件的拉伸应力，从而实现可拉伸的刚柔互联件。然而，上述刚柔互联件仅柔性电路系统内部的蜿蜒线路可以拉伸，且其拉伸性能有限，而柔性电路系统的衬底本身仅能弯折而并不能拉伸，因此整个刚柔互联件的可拉伸性能不佳，无法满足现阶段可穿戴电子装置等刚柔互联电子产品的要求。

发明概述

技术问题

[0004] 本发明提供了一种可拉伸的刚柔互联件及其制作方法，以解决现有刚柔互联件仅内部线路可拉伸而衬底本身不可拉伸，进而导致可拉伸性能较差的问题。

技术解决方案

[0005] 本发明提供了一种可拉伸的刚柔互联件的制作方法，包括：

[0006] 提供可拉伸衬底，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构；其中，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层在交界处存在重叠区域；

- [0007] 提供密封剂，利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构；
- [0008] 提供支撑层，在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，得到目标刚柔互联件。
- [0009] 可选地，所述液态金属复合材料由银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物制成。
- [0010] 可选地，所述液态金属复合材料中所述银粉、所述液态金属和所述苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的重量百分比分别为28.2%、68.3%和3.4%。
- [0011] 可选地，所述液态金属具体为镓铟合金，且所述镓铟合金中镓和铟的重量比例为3:1。
- [0012] 可选地，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层之间的所述重叠区域在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向的长度大于或等于0.1mm。
- [0013] 可选地，所述可拉伸衬底由一层聚合物薄膜层和一层热熔性粘合胶层组成；
- [0014] 其中，所述聚合物薄膜层的厚度为75 μm ，和/或，所述热熔性粘合胶层的厚度为25 μm 。
- [0015] 可选地，所述聚合物薄膜层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种。
- [0016] 可选地，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构，包括：
- [0017] 提供所述银浆，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述银浆；
- [0018] 按照第一预设固化参数，对印刷有所述银浆的所述可拉伸衬底进行固化处理，形成所述不可拉伸电路层；
- [0019] 提供所述液态金属复合材料，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述液态金属复合材料；
- [0020] 按照预设干燥参数，对印刷有所述液态金属复合材料的所述可拉伸衬底进行干燥处理，形成与所述不可拉伸电路层之间处于电导通状态的所述可拉伸电路层，得到所述第一刚柔复合结构。

- [0021] 可选地，所述第一预设固化参数包括第一固化时间和第一固化温度；和/或，所述预设干燥参数包括干燥时间和干燥温度。
- [0022] 可选地，所述第一固化时间为30分钟；和/或，所述第一固化温度为80℃；所述干燥时间为60分钟；和/或，所述干燥温度为60℃。
- [0023] 可选地，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，包括：
- [0024] 将所述支撑层粘合在所述第二刚柔复合结构具有所述热熔性粘合胶层的一侧；
- [0025] 按照预设层压参数，对粘合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构进行热层压。
- [0026] 可选地，所述预设层压参数包括层压温度、层压时间和层压压强；
- [0027] 其中，所述层压温度的范围为100~120℃；和/或，所述层压时间的范围为10~30s；和/或，所述层压压强的范围为4~7Bar。
- [0028] 可选地，所述利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构，包括：
- [0029] 将所述密封剂印刷到所述第一刚柔复合结构具有所述可拉伸电路层的一侧；
- [0030] 按照第二预设固化参数，对印刷有所述密封剂的所述第一刚柔复合结构进行固化处理，在所述第一刚柔复合结构上形成所述密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层完全覆盖住，得到所述第二刚柔复合结构。
- [0031] 可选地，所述第二预设固化参数包括第二固化时间和第二固化温度；
- [0032] 其中，所述第二固化时间为2小时；和/或，所述第二固化温度为80℃。
- [0033] 可选地，所述不可拉伸电路层的厚度范围为1~100 μm ；和/或，所述可拉伸电路层的厚度范围为1~300 μm 。
- [0034] 可选地，所述密封层的厚度范围为0.1~2mm。
- [0035] 可选地，所述密封层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种或任几种组合而成的薄膜层。
- [0036] 可选地，所述支撑层在所述可拉伸衬底上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层在所述可拉伸衬底上的投影。

- [0037] 可选地，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层之后，还包括：
- [0038] 在贴合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构中的所述不可拉伸电路层上贴装电子元件，使得所述电子元件与所述不可拉伸电路之间形成电导通；
- [0039] 按照第三预设固化参数，对贴装所述电子元件后的所述第二刚柔复合结构进行固化处理。
- [0040] 可选地，所述第三预设固化参数包括第三固化时间和第三固化温度；
- [0041] 其中，所述第三固化时间为30min；和/或，所述第三固化温度为120℃。
- [0042] 此外，本发明还提供一种可拉伸的刚柔互联件，采用前述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法制作而成。

有益效果

- [0043] 本发明的有益效果：银浆具有导电性，可以被配成柔性的但不是可拉伸的，因此通过在可拉伸衬底的第一侧上印刷银浆，能形成不可拉伸电路层，便于后续结合可拉伸衬底和支撑层形成不可拉伸的刚性电路系统；液态金属复合材料不仅具有液态金属材料的特性，即具有软性且可拉伸，还能克服液态金属材料的缺点，即能避免快速形成氧化物层而对衬底的润湿造成阻碍，因此通过在可拉伸衬底的第一侧上印刷液态金属复合材料，能方便制作成品质优良的可拉伸电路层，结合可拉伸衬底的可拉伸性，能形成柔性电路系统，并确保形成的整个柔性电路系统均具有优良的可拉伸性能，而不仅只有内部线路可拉伸；其中，通过密封剂的封装，形成的密封层能将可拉伸电路层覆盖住，能避免液态金属复合材料的泄露或流出，对可拉伸电路层起到密封和保护作用；支撑层贴合在第二刚柔复合结构的第二侧，能对不可拉伸电路层起到支撑作用；
- [0044] 本发明的可拉伸的刚柔互联件及其制作方法，基于在交界处存在重叠区域的可拉伸电路层和不可拉伸电路层，能真正形成刚性电路系统和柔性电路系统之间电子互联的刚柔互联件，整个刚柔互联件在确保具有功能性的基础上，还具有优良的可拉伸性能，能满足现阶段可穿戴电子装置等刚柔互联电子产品的要求。

附图说明

- [0045] 通过参考附图会更加清楚的理解本发明的特征和优点，附图是示意性的而不理解为对本发明进行任何限制，在附图中：
- [0046] 图1示出了本发明实施例一中一种可拉伸的刚柔互联件的制作方法的流程图；
- [0047] 图2示出了本发明实施例一中可拉伸衬底上形成有不可拉伸电路层的俯视面结构图；
- [0048] 图3示出了本发明实施例一中得到的第一刚柔复合结构的俯视面结构图；
- [0049] 图4示出了本发明实施例一中第一刚柔复合结构的右半部分的剖视面结构图；
- [0050] 图5示出了本发明实施例一中第二刚柔复合结构的右半部分的剖视面结构图；
- [0051] 图6示出了本发明实施例一中第二刚柔复合结构的俯视面结构图；
- [0052] 图7示出了本发明实施例一中液态金属经过热层压前后的变化的模型图；
- [0053] 图8示出了本发明实施例一中贴合支撑层后的第二刚柔复合结构的俯视面结构图；
- [0054] 图9示出了本发明实施例一中贴合支撑层后的第二刚柔复合结构的右半部分的剖视面结构图；
- [0055] 图10示出了本发明实施例一中支撑层的第一种具体实施方式的剖视面结构图；
- [0056] 图11示出了本发明实施例一中支撑层的第二种具体实施方式的剖视面结构图；
- [0057] 图12示出了本发明实施例一中得到的目标刚柔互联件的俯视面结构图；
- [0058] 图13示出了本发明实施例一中制作出的样品的拉伸性测试曲线图。

本发明的实施方式

- [0059] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，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，本领域技术人员在没有作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。
- [0060] 在本发明的描述中，需要说明的是，术语“上”、“下”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发明和简化描述，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发明的限制。

[0061] 需要说明的是，在本发明中，诸如“第一”和“第二”等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

实施例一

[0062] 本实施例提供了一种可拉伸的刚柔互联件的制作方法，如图1所示，包括：

[0063] S1：提供可拉伸衬底，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构；其中，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层在交界处存在重叠区域；

[0064] S2：提供密封剂，利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构；

[0065] S3：提供支撑层，在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，得到目标刚柔互联件。

[0066] 在本实施例中，银浆具有导电性，可以被配成柔性的但不是可拉伸的，因此通过在可拉伸衬底的第一侧上印刷银浆，能形成不可拉伸电路层，便于后续结合可拉伸衬底和支撑层形成不可拉伸的刚性电路系统；液态金属复合材料不仅具有液态金属材料的特性，即具有软性且可拉伸，还能克服液态金属材料的缺点，即能避免快速形成氧化物层而对衬底的润湿造成阻碍，因此通过在可拉伸衬底的第一侧上印刷液态金属复合材料，能方便制作成品质优良的可拉伸电路层，结合可拉伸衬底的可拉伸性，能形成柔性电路系统，并确保形成的整个柔性电路系统均具有优良的可拉伸性能，而不仅只有内部线路可拉伸；其中，通过密封剂的封装，形成的密封层能将可拉伸电路层覆盖住，能避免液态金属复合材料的泄露或流出，对可拉伸电路层起到密封和保护作用；支撑层贴合在第二刚柔复合结构的第二侧，能对不可拉伸电路层起到支撑作用。

- [0067] 本实施例的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，基于在交界处存在重叠区域的可拉伸电路层和不可拉伸电路层，能真正形成刚性电路系统和柔性电路系统之间电子互联的刚柔互联件，整个刚柔互联件在确保具有功能性的基础上，还具有优良的可拉伸性能，能满足现阶段可穿戴电子装置的要求。
- [0068] 应理解，银浆、液态金属复合材料和密封剂均是在可拉伸衬底的第一侧制作，而支撑层是在可拉伸衬底的第二侧制作，因此本实施例上述S1~S2制作不可拉伸电路层、可拉伸电路层和密封层的步骤，与本实施例上述S3贴合支撑层的步骤的先后顺序不唯一，即既可以先按照步骤S1~S2来分别制作不可拉伸电路层、可拉伸电路层和密封层，然后按照步骤S3来贴合支撑层，也可以先按照步骤S3来贴合支撑层，然后再按照步骤S1~S2来分别制作不可拉伸电路层、可拉伸电路层和密封层，均可以形成本实施例中具有优良可拉伸性能的刚柔互联件。为便于说明，以下实施例以先按照步骤S1~S2来分别制作不可拉伸电路层、可拉伸电路层和密封层，然后按照步骤S3来贴合支撑层为例进行说明，对于先按照步骤S3来贴合支撑层，然后再按照步骤S1~S2来分别制作不可拉伸电路层、可拉伸电路层和密封层的情况，此处不再赘述。
- [0069] 下面针对本实施例可拉伸的刚柔互联件的制作方法的每个步骤进行详细说明。
- [0070] 在S1中，提供的所述可拉伸衬底由一层聚合物薄膜层和一层热熔性粘合胶层组成。
- [0071] 聚合物薄膜层具有更好的伸长率，利用该聚合物薄膜层能使得整个可拉伸衬底具有良好的拉伸性，便于与后续印刷的液态金属复合材料一起为柔性电路系统提供优良的可拉伸性能；利用热熔性粘合胶层，能方便后续轻松粘合支撑层，对可拉伸电路层提供良好的支撑性，形成品质优良的刚性电路系统。
- [0072] 优选地，所述聚合物薄膜层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种。
- [0073] 有机硅薄膜层（例如美国Smooth-On公司生产的Dragon Skin硅胶）主要由聚二甲基硅氧烷（PDMS）高分子聚合交联固化而成，其杨氏模量低，具有很好的柔韧性和拉伸性；其耐腐蚀性强，介电强度高，在广泛的使用温度范围内具有很好的透明性和稳定性，可用于大面积透明柔性电子器件或者热稳定性器件的基

底材料；此外，还容易与电子材料相结合，使电子材料固定于其表面，方便分别印刷银浆，形成不可拉伸电路层。

[0074] 丙烯酸聚合物薄膜层（例如3M公司生产的3M VHB胶）是由丙烯酸聚合物制成的薄膜材料层，具有优良的成膜性、优异的化学稳定性、良好的机械性能和良好的加工性能；聚氨酯薄膜层（例如Thermoplastic polyurethanes, TPU）是由聚氨酯（Polyurethane, 简称PU）这种高分子材料制成的薄膜，具有独特的嵌段分子结构，具有卓越的耐磨性能、柔韧性、抗撕裂性和良好的弹性，能够适应各种复杂的形变和拉伸。

[0075] 上述几种聚合物薄膜层，均能确保可拉伸衬底具有良好的拉伸性。

[0076] 在一个可选实施例中，可拉伸衬底选用TPU5855膜，即其中的聚合物薄膜层为TPU膜，其厚度为75 μm ，具有更好的伸长率，典型断裂伸长率超过500%，并且在100%应变后具有小于5%的良好恢复能力；其中的热熔性粘合胶层为FDS5855X1型号的热熔胶，其厚度为25 μm 。

[0077] 在本实施例S1中，银浆具有高导电性，且化学稳定性好，不易被氧化，即使其表面部分氧化，所得氧化物也可以导电，这使得银浆在电路层的应用中能够确保电流的顺畅传输；结合印刷工艺形成电路线材具有更高的分辨率、更好的导电性、更致密的结构以及更亮的表面，更耐潮湿和丝印铜线的腐蚀；对基材的附着力好，在可拉伸衬底上不易脱落，使得在可拉伸衬底上印刷结构更复杂、面积更大的电子产品成为可能。

[0078] 在一个可选实施例中，银浆可以选用ASH LS-411或ASH LS-453型号的银浆。

[0079] 液态金属是用于软性且可拉伸介质的良好电导体，然而，由于液态金属会快速形成氧化物层，阻碍衬底的润湿，因此难以直接用作导电油墨。本实施例采用液态金属复合材料（liquid metal polymer composite, 简称LMPC），既保持了液态金属的材料特性，即具有软性且可拉伸，还能克服液态金属的缺点，能避免快速形成氧化物层而对衬底的润湿造成阻碍。

[0080] 在本实施例S1中，所述液态金属复合材料由银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物制成。

- [0081] 在上述液态金属复合材料中，将片状银粉与兼容的可拉伸聚合物（即苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物）粘合剂一起添加，以及液态金属作为Ag/粘合剂基质中的双相，可以改善液态金属的可加工性。
- [0082] 优选地，所述液态金属复合材料中所述银粉、所述液态金属和所述苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的重量百分比分别为28.2%、68.3%和3.4%。
- [0083] 上述重量百分比的液态金属复合材料（LMPC）所形成的可拉伸电路层具有优良的可拉伸性能，能用于刚柔互联件中需要高拉伸应变的区域；既能用作柔性电路系统中的导电线，又能用作刚柔互联件的应变缓冲器；此外，LMPC中的液态金属充当“愈合”介质，以在其被拉伸分开时桥接分离的片状Ag粉，从而可保持电连续性。
- [0084] 具体地，所述液态金属具体为镓铟合金，且所述镓铟合金中镓和铟的重量比例为3:1。
- [0085] 当镓铟合金中镓和铟的重量比例为3:1时，具有熔点低、热稳定性好、电导率高以及良好的可塑性和延展性等优势，能更方便液态金属复合材料的制作，同时能确保形成的可拉伸电路层的功能性。
- [0086] 优选地，本实施例S1中，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构，包括：
- [0087] S11：提供所述银浆，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述银浆；
- [0088] S12：按照第一预设固化参数，对印刷有所述银浆的所述可拉伸衬底进行固化处理，形成所述不可拉伸电路层；
- [0089] S13：提供所述液态金属复合材料，采用点胶印刷或镂空版印刷的方法，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述液态金属复合材料；
- [0090] S14：按照预设干燥参数，对印刷有所述液态金属复合材料的所述可拉伸衬底进行干燥处理，形成与所述不可拉伸电路层之间处于电导通状态的所述可拉伸电路层，得到所述第一刚柔复合结构。

- [0091] 在S11中，银浆可以采用点胶印刷或丝网印刷的方法来印刷，点胶印刷（即dispense printing）是指利用点胶机将材料连续点涂在指定位置上，以实现连续印刷电子线路的工艺；丝网印刷（即screen printing，也叫丝印）是指利用丝网作为版基，并通过感光制版方法，制成带有图文的丝网印版，再利用该丝网印版来印刷电子线路的工艺。
- [0092] 在S13中，液态金属复合材料可以采用点胶印刷或镂空版印刷的方法来印刷，镂空版印刷（即Stencil Printing）是指在木片、纸板、金属或塑料等片材上刻画出图文，并挖空制成镂空版，通过刷涂或喷涂方法，使油墨透过通孔附着于承印物上，来实现电子线路印刷的工艺。
- [0093] 在S11中印刷银浆来制作不可拉伸电路层时，采用点胶印刷或丝网印刷的方法，能高效地、精准地控制不可拉伸电路层的位置和布局，当印刷之后，在S12中按照第一预设固化参数，对印刷有银浆的可拉伸衬底进行固化处理，能确保制作出的不可拉伸电路层符合设计要求，提升不可拉伸电路层的制作精度和制作效率。在S13中印刷液态金属复合材料时，采用点胶印刷或镂空版印刷的方法，能适配液态金属复合材料的特性，能高效地、精准地控制可拉伸电路层的位置和布局，当印刷之后，在S14中按照预设干燥参数对印刷有液态金属复合材料的可拉伸衬底进行干燥处理，同样能确保制作出的不可拉伸电路层符合设计要求，并有效提升可拉伸电路层的制作精度和制作效率。
- [0094] 具体地，所述第一预设固化参数包括第一固化时间和第一固化温度。
- [0095] 具体地，所述预设干燥参数包括干燥时间和干燥温度。
- [0096] 通过上述第一预设固化参数，能更好地适配银浆的材料特性，进而控制不可拉伸电路层的成型效果；同理，通过上述预设干燥参数，能更好地适配液态金属复合材料的材料特性，进而控制可拉伸电路层的成型效果。
- [0097] 在一个可选实施例中，对于银浆，所述第一固化时间为30分钟；和/或，所述第一固化温度为80℃。
- [0098] 在一个可选实施例中，对于液态金属复合材料，所述干燥时间为60分钟；和/或，所述干燥温度为60℃。

- [0099] 在一个可选实施例中，所述不可拉伸电路层的厚度范围为 $1\sim 100\mu\text{m}$ ；和/或，所述可拉伸电路层的厚度范围为 $1\sim 300\mu\text{m}$ 。
- [0100] 应理解，本实施例上述S11~S12制作不可拉伸电路层的步骤与上述S13~S14制作可拉伸电路层的步骤的先后顺序不唯一，既可以先制作不可拉伸电路层，也可以先制作可拉伸电路层。在一个可选实施例中，采用先制作不可拉伸电路层后制作可拉伸电路层的顺序，可拉伸衬底上形成有不可拉伸电路层的俯视面结构如图2所示，基于图2，可拉伸衬底上形成有可拉伸电路层，得到的第一刚柔复合结构的俯视面结构如图3所示，在图2和图3中，1为可拉伸衬底，2为不可拉伸电路层，3为可拉伸电路层。图3中第一刚柔复合结构的右半部分的剖视面结构如图4所示，在图4中，11为可拉伸衬底1中的聚合物薄膜层，12为可拉伸衬底1中的热熔性粘合胶层，其左半部分的剖视面结构与该图4所示的剖视面结构对称，此处不再展示。
- [0101] 在图3中，可拉伸衬底1的两端均形成有不可拉伸电路层2，而可拉伸电路层3形成于两端的不可拉伸电路层2之间，且可拉伸电路层3与两端的不可拉伸电路层2之间均形成电导通。在实际过程中，也可以可拉伸衬底1的一端形成有不可拉伸电路层2，而可拉伸电路层3与该不可拉伸电路层之间形成电导通。不可拉伸电路层2和可拉伸电路层3的位置、数量和布局均视具体产品设计而定，且需保证不可拉伸电路层2和可拉伸电路层3之间形成电导通。
- [0102] 优选地，在S1中，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层之间的所述重叠区域在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向的长度大于或等于 0.1mm 。
- [0103] 在图4中，可拉伸衬底1的第一侧是指可拉伸衬底1上表面所在的区域，第二侧则是指可拉伸衬底1下表面所在的区域。可拉伸电路层3的拉伸方向即为图4中的x方向，则不可拉伸电路层2与可拉伸电路层3在交界处存在重叠区域，即图4中100，该重叠区域100沿x方向的长度 $L\geq 0.1\text{mm}$ 。
- [0104] 通过上述重叠区域长度的限制，能更好保证柔性电路系统和刚性电路系统之间的互联接口处的电子互联，进而有效保证刚柔互联件的功能性；同时还方便后续密封剂更好地填满可拉伸电路层的边缘，更好地对可拉伸电路层进行封装或封闭，确保形成的密封层起到更好的密封作用。

- [0105] 在本实施例S2中，由于液态金属复合材料的可流动性，在可拉伸电路层的拉伸期间，液态金属复合材料可能会从基质中泄漏或流出，通过提供密封剂，利用密封剂的封装，能够控制这种情况，对印刷形成的导电LMPC迹线（即可拉伸电路层）进行封装或封闭。
- [0106] 提供的密封剂包括有机硅、丙烯酸聚合物和聚氨酯中的任一种或任几种。
- [0107] 通过上述密封剂，既能对可拉伸电路层起到封装或封闭作用，还能确保密封剂也具备一定的可拉伸性，方便随着可拉伸电路层一起被拉伸，实现具有优良可拉伸性能的刚柔互联件。
- [0108] 基于上述密封剂，形成的密封层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种或任几种组合而成的薄膜层。
- [0109] 在一个可选实施例中，密封剂选用ecoflex-010型号的有机硅，可以更方便与镂空版印刷工艺相兼容。
- [0110] 优选地，在本实施例S2中，利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构，包括：
- [0111] S21：将所述密封剂印刷到所述第一刚柔复合结构具有所述可拉伸电路层的一侧；
- [0112] S22：按照第二预设固化参数，对印刷有所述密封剂的所述第一刚柔复合结构进行固化处理，在所述第一刚柔复合结构上形成所述密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层完全覆盖住，得到所述第二刚柔复合结构。
- [0113] 在S21中，具体采用镂空版印刷的方法来将密封剂印刷到第一刚柔复合结构具有可拉伸电路层的一侧，能够轻松实现不同形状和尺寸的密封剂印刷，能适配不同形状和尺寸的可拉伸电路层，使得后续形成的密封层能将可拉伸电路层完全覆盖住，起到优良的密封作用；当印刷密封剂之后，在S22中按照第二预设固化参数进行固化处理，能高效地形成密封层，进而能进一步确保密封层起到优良的密封作用。
- [0114] 其中，由于可拉伸电路层与不可拉伸电路层在交界处存在重叠区域，为确保可拉伸电路层被密封层完全覆盖住，密封层的边缘还可以延伸到不可拉伸电路层

上。如图5所示的第二刚柔复合结构右半部分的剖视面结构图，密封层4覆盖于可拉伸电路层3，并且密封层4的边缘延伸到了不可拉伸电路层2上。

[0115] 本实施例第二刚柔复合结构的俯视面结构如图6所示。

[0116] 具体地，所述第二预设固化参数包括第二固化时间和第二固化温度。

[0117] 与第一预设固化参数同理，通过上述第二预设固化参数，能更好地适配密封剂的材料特性，进而控制密封层的成型效果。

[0118] 在一个可选实施例中，所述第二固化时间为2小时；和/或，所述第二固化温度为80℃。

[0119] 在一个可选实施例中，所述密封层的厚度范围为0.1~2mm。

[0120] 在一个可选实施例中，所述密封层的厚度具体取0.25mm。

[0121] 优选地，在本实施例S3中，通过在可拉伸衬底的第二侧贴合支撑层，能对可拉伸衬底第一侧的不可拉伸电路层起到支撑作用，确保在可拉伸电路层被拉伸时，不可拉伸电路层更好地固定于可拉伸衬底上，进而有效保证不可拉伸电路层的功能性，真正实现刚性电路系统与柔性电路系统之间的电子互联。

[0122] 在本实施例S3中，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，包括：

[0123] S31：将所述支撑层粘合在所述第二刚柔复合结构具有所述热熔性粘合胶层的一侧；

[0124] S32：按照预设层压参数，对粘合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构进行热层压。

[0125] 基于可拉伸衬底中的热熔性粘合胶层，利用热层压的方法，能轻松将支撑层粘合在可拉伸衬底的第二侧，确保支撑层对可拉伸电路层起到支撑作用；同时在热层压压力下，可拉伸电路层中的液态金属将受到“挤压”并填充液态金属复合材料中的银粉之间的间隙，如图7所示，会带来更好的导电性，也会进一步使得液态金属复合材料被压实，形成品质更好的可拉伸电路层，进而提升最终形成的目标刚柔互联件的品质。

[0126] 在图7中，5为液态金属复合材料中的银粉，6为液态金属复合材料中的液态金属。

- [0127] 具体地，所述预设层压参数包括层压温度、层压时间和层压压强。
- [0128] 通过上述预设层压参数，能确保形成符合要求的支撑层，确保支撑层的功能性。
- [0129] 在一个可选实施例中，所述层压温度的范围为100~120℃；和/或，所述层压时间的范围为10~30s；和/或，所述层压压强的范围为4~7Bar。
- [0130] 上述参数能确保高效地贴合支撑层，同时也能激活可拉伸电路层中的液态金属填料，提升可拉伸电路层的导电性。
- [0131] 优选地，所述支撑层在所述可拉伸衬底上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层在所述可拉伸衬底上的投影。
- [0132] 支撑层在可拉伸衬底上的投影覆盖于不可拉伸电路层在可拉伸衬底上的投影，能使得支撑层更好地对不可拉伸电路层提供支撑性，避免刚性电路系统在柔性电路系统被拉伸时随之一起被拉伸，造成刚性电路系统中的电子元件被拉坏，确保最终的目标刚柔互联件的功能性。
- [0133] 本实施例贴合支撑层后的第二刚柔复合结构的俯视面结构如图8所示，其对应的右半部分的剖视面结构如图9所示，在图8和图9中，7为支撑层。
- [0134] 在图9中，当支撑层7在可拉伸衬底1上的投影覆盖于不可拉伸电路层2在可拉伸衬底1上的投影时，指支撑层7靠近可拉伸电路层3的边缘线（如图9中的B线）与不可拉伸电路层2与可拉伸电路层3之间的交界线（如图9中的A线）平齐，或支撑层7靠近可拉伸电路层3的边缘线（如图9中的B线）超出不可拉伸电路层2与可拉伸电路层3之间的交界线（如图9中的A线），即支撑层7靠近可拉伸电路层3的边缘线（B线）相对于不可拉伸电路层2与可拉伸电路层3之间的交界线（A线），更靠近可拉伸电路层3。
- [0135] 本实施例中的支撑层可以是刚性的材料层（如图9所示），即弹性模量较大的材料层，包括钢层（由钢材制成）、补强层（由有机玻璃纤维补强材料制成，有机玻璃纤维补强材料由玻璃纤维和环氧树脂组成）、FR-4基材层（由玻璃纤维增强的环氧树脂制成）、聚碳酸酯层（由PC制成，PC即Polycarbonate，一种热塑性塑料）、聚对苯二甲酸乙二醇酯层（由PET制成，PET即Polyethylene

Terephthalate，是一种热塑性聚酯）和聚酰亚胺层（由PI制成，PI即Polyimide）中的任一种。

- [0136] 本实施例中的支撑层也可以是由至少一层柔性的材料层和一层刚性的材料层组合而成的具有梯度刚度的支撑层，柔性的材料层按照指定的顺序堆叠在可拉伸衬底的第二侧，刚性的材料层则可以堆叠在所有柔性的材料层的外侧（如图10所示，图10中柔性的材料层有2层），也可以嵌设在其中一层柔性的材料层的内部（如图11所示，图11中柔性的材料层有1层），在图10和图11中，71为刚性的材料层，72为柔性的材料层。对于该种情况，支撑层在可拉伸衬底上的投影覆盖于不可拉伸电路层在可拉伸衬底上的投影，具体是指刚性的材料层在可拉伸衬底上的投影覆盖于不可拉伸电路层在可拉伸衬底上的投影。
- [0137] 其中，柔性的材料层是指弹性模量较小的材料层，包括有机硅层、丙烯酸聚合物层和聚氨酯层中的任一种。
- [0138] 在一个可选实施例中，支撑层具体为0.125 mm的硬PET薄膜。
- [0139] 优选地，在本实施例S3中，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层之后，还包括：
- [0140] S33：在贴合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构中的所述不可拉伸电路层上贴装电子元件，使得所述电子元件与所述不可拉伸电路层之间形成电导通；
- [0141] S34：按照第三预设固化参数，对贴装所述电子元件后的所述第二刚柔复合结构进行固化处理。
- [0142] 通过上述步骤可以在不可拉伸电路层上贴装电子元件，能按照设计要求所需，形成最终的刚性电路系统，进而确保制作出符合设计要求的目标刚柔互联件。
- [0143] 在一个可选实施例中，贴装电子元件可以使用导电胶来贴装电子元件（如电阻、电容等元件）。为了提高强度，还可以使用SMT胶（贴片胶或表面贴装胶黏剂），按照SMT贴装技术（即Surface Mount Technology，表面贴装技术）来贴装。其中，SMT贴装技术为常规贴装技术，具体细节此处不再赘述。
- [0144] 具体地，第三预设固化参数包括第三固化时间和第三固化温度。
- [0145] 与第一预设固化参数和第二预设固化参数同理，通过上述第三预设固化参数能更好地控制电子元件的贴装效果，确保符合设计要求。

- [0146] 在一个可选实施例中，所述第三固化时间为30min；和/或，所述第三固化温度为120℃。
- [0147] 在实际制作过程中，若产品设计中，不可拉伸电路中有需要保护或隔离的电路系统，则在可拉伸衬底的第一侧印刷银浆之后，还需要在银浆的上面涂一层介电油墨层，起到绝缘和隔离保护的作用。
- [0148] 本实施例得到的目标刚柔互联件的俯视面结构如图12所示，在图12中，8为电子元件。
- [0149] 采用本实施例的制作方法制作样品，将硬PET薄膜作为支撑层，层压在可拉伸衬底的底侧。对于制造出的样品，在不同的应变速率下进行拉伸测试。为了易于测试，样品没有组装电子元件，并且仅将一个仅具有单个可拉伸导电迹线的可拉伸电路层互连到不可拉伸电路层中的焊盘上。拉伸性测试得到的拉伸性测试曲线图如图13所示，其中，拉伸性测试是在100%应变和3mm/sec的拉伸速率下进行的。在图13中，本实施例制作方法所制造的样品在约10000次反复拉伸后的电阻比值（即 R/R_0 ，指反复拉伸后可拉伸导电迹线的电阻与拉伸之前的初始电阻之间的比值）是稳定的，在第9823次反复拉伸时约为2.20（其中， R_0 在1-2Ω的范围内，这适于大多数电子应用），体现出了较优良的拉伸性能和稳定性。
- [0150] 实施例二
- [0151] 本实施例提供一种可拉伸的刚柔互联件，采用实施例一所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法制作而成。
- [0152] 本实施例制作而成的可拉伸的刚柔互联件，在确保具有功能性的基础上，还具有优良的可拉伸性能，能满足现阶段可穿戴电子装置的要求。
- [0153] 本实施例中可拉伸的刚柔互联件所采用的制作方法与实施例一所述的方法步骤相同，因此本实施例的未尽细节，详见实施例一及图1~图13的具体描述，本实施例不再赘述。
- [0154] 虽然结合附图描述了本发明的实施例，但是本领域技术人员可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下作出各种修改和变型，这样的修改和变型均落入由所附权利要求所限定的范围之内。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，包括：
- 提供可拉伸衬底，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构；其中，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层在交界处存在重叠区域；
- 提供密封剂，利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构；
- 提供支撑层，在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，得到目标刚柔互联件。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述液态金属复合材料由银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物制成。
- [权利要求 3] 根据权利要求2所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述液态金属复合材料中所述银粉、所述液态金属和所述苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的重量百分比分别为28.2%、68.3%和3.4%。
- [权利要求 4] 根据权利要求2所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述液态金属具体为镓铟合金，且所述镓铟合金中镓和铟的重量比例为3:1。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层之间的所述重叠区域在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向的长度大于或等于0.1mm。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述可拉伸衬底由一层聚合物薄膜层和一层热熔性粘合胶层组成；

其中，所述聚合物薄膜层的厚度为75 μm ，和/或，所述热熔性粘合胶层的厚度为25 μm 。

[权利要求 7] 根据权利要求6所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述聚合物薄膜层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种。

[权利要求 8] 根据权利要求6所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，在所述可拉伸衬底的第一侧上分别印刷银浆和液态金属复合材料，分别形成不可拉伸电路层和可拉伸电路层，得到第一刚柔复合结构，包括：

提供所述银浆，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述银浆；

按照第一预设固化参数，对印刷有所述银浆的所述可拉伸衬底进行固化处理，形成所述不可拉伸电路层；

提供所述液态金属复合材料，在所述可拉伸衬底具有所述聚合物薄膜层的一侧印刷所述液态金属复合材料；

按照预设干燥参数，对印刷有所述液态金属复合材料的所述可拉伸衬底进行干燥处理，形成与所述不可拉伸电路层之间处于电导通状态的所述可拉伸电路层，得到所述第一刚柔复合结构。

[权利要求 9] 根据权利要求8所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述第一预设固化参数包括第一固化时间和第一固化温度；和/或，所述预设干燥参数包括干燥时间和干燥温度。

[权利要求 10] 根据权利要求9所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述第一固化时间为30分钟；和/或，所述第一固化温度为80℃；所述干燥时间为60分钟；和/或，所述干燥温度为60℃。

[权利要求 11] 根据权利要求6所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层，包括：

将所述支撑层粘合在所述第二刚柔复合结构具有所述热熔性粘合胶层的一侧；

按照预设层压参数，对粘合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构进行热层压。

[权利要求 12] 根据权利要求11所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述预设层压参数包括层压温度、层压时间和层压压强；其中，所述层压温度的范围为100~120℃；和/或，所述层压时间的范围为10~30s；和/或，所述层压压强的范围为4~7Bar。

[权利要求 13] 根据权利要求1所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述利用所述密封剂对所述第一刚柔复合结构进行封装，形成密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层覆盖住，得到第二刚柔复合结构，包括：

将所述密封剂印刷到所述第一刚柔复合结构具有所述可拉伸电路层的一侧；

按照第二预设固化参数，对印刷有所述密封剂的所述第一刚柔复合结构进行固化处理，在所述第一刚柔复合结构上形成所述密封层，使得所述可拉伸电路层被所述密封层完全覆盖住，得到所述第二刚柔复合结构。

[权利要求 14] 根据权利要求13所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述第二预设固化参数包括第二固化时间和第二固化温度；其中，所述第二固化时间为2小时；和/或，所述第二固化温度为80℃。

[权利要求 15] 根据权利要求1至14任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述不可拉伸电路层的厚度范围为1~100 μm；和/或，所述可拉伸电路层的厚度范围为1~300 μm。

[权利要求 16] 根据权利要求1至14任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述密封层的厚度范围为0.1~2mm。

- [权利要求 17] 根据权利要求1至14任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述密封层包括有机硅薄膜层、丙烯酸聚合物薄膜层和聚氨酯薄膜层中的任一种或任几种组合而成的薄膜层。
- [权利要求 18] 根据权利要求1至14任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述支撑层在所述可拉伸衬底上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层在所述可拉伸衬底上的投影。
- [权利要求 19] 根据权利要求1至14任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述在所述第二刚柔复合结构的第二侧贴合所述支撑层之后，还包括：
在贴合有所述支撑层的所述第二刚柔复合结构中的所述不可拉伸电路层上贴装电子元件，使得所述电子元件与所述不可拉伸电路层之间形成电导通；
按照第三预设固化参数，对贴装所述电子元件后的所述第二刚柔复合结构进行固化处理。
- [权利要求 20] 根据权利要求19所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法，其特征在于，所述第三预设固化参数包括第三固化时间和第三固化温度；其中，所述第三固化时间为30min；和/或，所述第三固化温度为120℃。
- [权利要求 21] 一种可拉伸的刚柔互联件，其特征在于，采用如权利要求1至20任一项所述的可拉伸的刚柔互联件的制作方法制作而成。