

说明书

发明名称: 具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构

技术领域

[0001] 本发明涉及刚柔互联技术领域，具体涉及一种具有梯度刚度的刚柔互联结构。

背景技术

[0002] 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。其中，刚柔互联件是指同时具有刚性电路系统（指硬性且不可拉伸的电路系统）和柔性电路系统（指软性且可拉伸的电路系统），且两种电路系统之间需要进行电气互联的电子系统。

[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或者直接采用可拉伸的银浆制作电路的方式来减轻互联件的拉伸应力，从而使得刚柔互联件具有可拉伸的能力。然而，上述刚柔互联件很少关注刚性电路系统与柔性电路系统在互联接口处的设计，而具有刚柔互联件的可穿戴电子装置在反复拉伸之后所产生的累积应变损伤，通常是发生在刚性电路系统与柔性电路系统的互联接口处，即反复拉伸（例如反复拉伸250次）之后易导致互联接口处发生脱离和断裂，进而造成可穿戴电子装置等刚柔互联电子产品的稳定性和可靠性较差。

发明概述

技术问题

[0004] 本发明提供了一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，以解决现有刚柔互联结构在反复拉伸多次后互联接口处易发生脱离和断裂，进而导致产品的稳定性和可靠性较差的问题。

技术解决方案

- [0005] 本发明提供了一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，包括：
- [0006] 支撑体；
- [0007] 可拉伸衬底，设置在所述支撑体的一侧；

- [0008] 可拉伸电路层和不可拉伸电路层，均设置在所述可拉伸衬底背离所述支撑体的一侧，且所述不可拉伸电路层与支撑体相对设置；所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层电连接；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，且所述支撑体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；以及
- [0009] 密封层，设置在所述可拉伸电路层背离所述可拉伸衬底的一侧，并覆盖于所述可拉伸电路层；
- [0010] 其中，所述可拉伸电路层具有拉伸方向和法线方向，所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度，或者，所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的法线方向上具有梯度刚度。
- [0011] 可选地，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的法线方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：
- [0012] 一个第一材料层和至少两个第二材料层；其中，所述第一材料层的弹性模量大于或等于所述第二材料层的弹性模量，且所述第一材料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；
- [0013] 所有所述第二材料层按照第一预设顺序依次叠设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层的一侧，且所述第一材料层叠设于最远离所述不可拉伸电路层的一个所述第二材料层的外侧。
- [0014] 可选地，在所述支撑体中，按照所述第一预设顺序，所有所述第二材料层与所述可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第二间距依次增加，且所述第一材料层与所述可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第一间距，大于最远离所述不可拉伸电路层的一个所述第二材料层与所述可拉伸电路层之间的所述第二间距，使得所有所述第二材料层靠近所述可拉伸电路层的外边缘与所述第一材料层靠近所述可拉伸电路层的外边缘一起形成台阶式叠构。
- [0015] 可选地，所有所述第二材料层的弹性模量均相同，或者，所有所述第二材料层的弹性模量按照所述第一预设顺序依次增加。
- [0016] 可选地，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：

- [0017] 一个第一材料层和一个第二材料层；其中，所述第一材料层的弹性模量大于或等于所述第二材料层的弹性模量，且所述第一材料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；
- [0018] 所述第二材料层设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层的一侧，所述第一材料层嵌设于所述第二材料层的内部。
- [0019] 可选地，所述第一材料层的厚度和所述第二材料层的厚度均大于0.1mm。
- [0020] 可选地，所述第一材料层的弹性模量和所述第二材料层的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底的弹性模量。
- [0021] 可选地，所述第二材料层的弹性模量小于0.1GPa。
- [0022] 可选地，所述第二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。
- [0023] 可选地，当所述第一材料层的弹性模量大于所述第二材料层的弹性模量时，所述第一材料层包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种。
- [0024] 可选地，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：
- [0025] 至少两个按照第二预设顺序依次铺设于所述可拉伸衬底背离所述可拉伸电路层一侧的第三材料层，所有所述第三材料层均共面且相邻两个所述第三材料层在交界处的边缘线均重合；
- [0026] 按照所述第二预设顺序，所有所述第三材料层的弹性模量依次增加，且具有最大弹性模量的所述第三材料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。
- [0027] 可选地，所有所述第三材料层的厚度均大于0.1mm。
- [0028] 可选地，所有所述第三材料层的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底的弹性模量。
- [0029] 可选地，所有所述第三材料层中具有最高弹性模量的所述第三材料层的弹性模量大于0.1GPa，其余所述第三材料层的弹性模量均小于0.1GPa。

- [0030] 可选地，所有所述第三材料层中具有最高弹性模量的所述第三材料层包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种，其余所述第三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。
- [0031] 可选地，所述可拉伸衬底包括：
- [0032] 依次叠设的聚合物薄膜层和热熔胶层，所述可拉伸电路层和所述不可拉伸电路层与所述聚合物薄膜层的外侧均贴合，所述支撑体与所述热熔胶层的外侧贴合；
- [0033] 其中，所述聚合物薄膜层的厚度为 $75\mu\text{m}$ ，和/或，所述热熔胶层的厚度为 $25\mu\text{m}$ 。
- [0034] 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。
- [0035] 可选地，所述可拉伸电路层由液态金属复合材料制成；
- [0036] 其中，所述液态金属复合材料具体为银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的混合物，且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%。
- [0037] 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。
- [0038] 可选地，所述不可拉伸电路层由银浆制成。

有益效果

- [0039] 本发明的有益效果：在支撑体的一侧设置可拉伸衬底，在可拉伸衬底背离支撑体的一侧分别设置可拉伸电路层和不可拉伸电路层，这两个电路层分别形成柔性电路系统和刚性电路系统，二者之间电连接且在交界处存在重叠区域，组成了可拉伸的刚柔互联结构；其中，不可拉伸电路层与支撑体相对设置，且支撑体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，能更好地利用支撑体为不可拉伸电路层提供良好的支撑性，有效避免刚柔互联结构在被拉伸时刚性电路系统被拉坏；梯度刚度是指材料的刚度不是唯一不变的，

而是梯度变化的，因此进一步地，支撑体具有沿拉伸方向上的梯度刚度或沿可拉伸电路层的法线方向上梯度刚度，可以在刚柔互联结构被拉伸时，使得互联接口处的应力集中强度得到分散，也可以将可拉伸衬底传递到不可拉伸电路层的应力进行缓冲，降低刚性电路系统中所接收到的应力，从而降低了在反复拉伸多次后互联接口处刚性电路系统与柔性电路系统之间脱离和断裂的风险，有效保证了应用刚柔互联结构的电子产品的稳定性和可靠性；其中，设置在可拉伸电路层背离可拉伸衬底一侧的密封层，能对可拉伸电路层起到密封和保护作用，进一步提升产品的稳定性和可靠性；

[0040] 本发明的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，基于具有梯度刚度的支撑体，能够在反复拉伸多次后，降低刚柔互联结构中互联接口处易发生脱离和断裂的风险，稳定性和可靠性高。

附图说明

[0041] 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应理解为对本发明进行任何限制，在附图中：

[0042] 图1示出了本发明实施例中一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的俯视图；

[0043] 图2示出了本发明实施例中具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的部分剖视图；

[0044] 图3示出了本发明中支撑体在第一个可选实施例下的剖视图；

[0045] 图4示出了本发明中支撑体在第二个可选实施例下的剖视图；

[0046] 图5示出了本发明中支撑体在第三个可选实施例下的剖视图；

[0047] 图6示出了本发明实施例中可拉伸衬底的剖视图；

[0048] 图7示出了本发明实施例中另一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的俯视图；

[0049] 图8示出了本发明实施例第一组对比实验中实施例样品的拉伸性测试曲线图；

[0050] 图9A示出了本发明实施例第一组对比实验中实施例样品的实物图；

[0051] 图9B示出了本发明实施例第一组对比实验中实施例样品对应的互连接口处的放大图；

- [0052] 图10示出了本发明实施例第一组对比实验中对比样品1的实物图；
- [0053] 图11A和图11B分别示出了本发明实施例第一组对比实验中对比样品1两个互连接口处的放大图；
- [0054] 图12示出了本发明实施例第二组对比实验中实施例样品和对比样品2的拉伸性测试统计图；
- [0055] 图13A示出了本发明实施例第二组对比实验中对比样品2在可拉伸衬底上表面的应力分布图；
- [0056] 图13B示出了本发明实施例第二组对比实验中实施例样品在可拉伸衬底上表面的应力分布图；
- [0057] 图14A示出了本发明实施例第二组对比实验中对比样品2在可拉伸衬底下表面的应力分布图；
- [0058] 图14B示出了本发明实施例第二组对比实验中实施例样品在可拉伸衬底下表面的应力分布图。

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

- [0062] 本实施例提供了一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，如图1所示和图2所示，图1为该互联结构的俯视面结构图，图2为其中互联接口处的剖视面结构图，该互联结构包括：
- [0063] 支撑体1；
- [0064] 可拉伸衬底2，设置在所述支撑体1的一侧；
- [0065] 可拉伸电路层3和不可拉伸电路层4，均设置在所述可拉伸衬底2背离所述支撑体1的一侧，且所述不可拉伸电路层4与支撑体1相对设置；所述不可拉伸电路层4与所述可拉伸电路层3电连接；所述不可拉伸电路层4与所述可拉伸电路层3在交界处存在重叠区域5，且所述支撑体1在所述可拉伸衬底2上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层4在所述可拉伸衬底2上的投影；以及
- [0066] 密封层6，设置在所述可拉伸电路层3背离所述可拉伸衬底2的一侧，并覆盖于所述可拉伸电路层3；
- [0067] 其中，所述可拉伸电路层3具有拉伸方向和法线方向，所述支撑体1在沿所述可拉伸电路层3的拉伸方向上具有梯度刚度，或者，所述支撑体1在沿所述可拉伸电路层3的法线方向上具有梯度刚度。
- [0068] 在本实施例中，在支撑体的一侧设置可拉伸衬底，在可拉伸衬底背离支撑体的一侧分别设置可拉伸电路层和不可拉伸电路层，这两个电路层分别形成柔性电路系统和刚性电路系统，二者之间电连接且在交界处存在重叠区域，组成了可拉伸的刚柔互联结构；其中，不可拉伸电路层与支撑体相对设置，且支撑体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，能更好地利用支撑体为不可拉伸电路层提供良好的支撑性，有效避免刚柔互联结构在被拉伸时刚性电路系统被拉坏；梯度刚度是指材料的刚度不是唯一不变的，而是梯度变化的，因此进一步地，支撑体具有沿拉伸方向上的梯度刚度或沿可拉伸电路层的法线方向上梯度刚度，可以在刚柔互联结构被拉伸时，使得互联接口

处的应力集中强度得到分散，也可以将可拉伸衬底传递到不可拉伸电路层的应力进行缓冲，降低刚性电路系统中所接收到的应力，从而降低了在反复拉伸多次后互联接口处刚性电路系统与柔性电路系统之间脱离和断裂的风险，有效保证了应用刚柔互联结构的电子产品的稳定性和可靠性；其中，设置在可拉伸电路层背离可拉伸衬底一侧的密封层，能对可拉伸电路层起到密封和保护作用，进一步提升产品的稳定性和可靠性。

- [0069] 本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，基于具有梯度刚度的支撑体，能够在反复拉伸多次后，降低刚柔互联结构中互联接口处易发生脱离和断裂的风险，稳定性和可靠性高。
- [0070] 在本实施例中，材料的刚度是指材料在受力时抵抗弹性变形的能力。它是材料的一种机械性质，表示材料在受力时其形状和尺寸改变的难易程度。刚度越大，表示材料在受到相同的作用力时，其变形越小。刚度可以用弹性模量来衡量，弹性模量描述了材料在单向应力下的应力和应变之间的比例关系，因此刚度是弹性模量和结构尺寸共同决定的。在结构尺寸固定的情况下，弹性模量越大，则刚度越大。
- [0071] 下面对本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的每个组件部分进行详细说明。
- [0072] 在图2中，可拉伸电路层3的拉伸方向具体是图2中的x方向，其法线方向包括法线向上的方向和法线向下的方向，本实施例是指法线向下的方向，即图2中的y方向。
- [0073] 对于支撑体1，其在x方向上具有梯度刚度，或在y方向上具有梯度刚度，都可以使得互联接口处的应力集中强度得到分散，也可以将可拉伸衬底传递到不可拉伸电路层的应力进行缓冲，降低刚性电路系统中所接收到的应力，从而降低互联接口处脱离和断裂的风险。当然，在更精细的设计中，支撑体1也可以同时具有x方向上的梯度刚度和y方向上的梯度刚度。
- [0074] 优选地，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的法线方向（即y方向）上具有梯度刚度时，所述支撑体1包括：

- [0075] 一个第一材料层11和至少两个第二材料层12；其中，所述第一材料层11的弹性模量大于或等于所述第二材料层12的弹性模量，且所述第一材料层11在所述可拉伸衬底2上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层4在所述可拉伸衬底2上的投影；
- [0076] 所有所述第二材料层12按照第一预设顺序依次叠设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层4的一侧，且所述第一材料层11叠设于最远离所述不可拉伸电路层4的一个所述第二材料层12的外侧。
- [0077] 第二材料层的数量为两个或两个以上，可以得到精细的支撑体结构，进而可以将应力集中强度分散得更均匀，将可拉伸衬底传递到不可拉伸电路层的应力进行逐步缓冲，在确保刚柔互联结构具有优良的可拉伸性能的基础上，有效降低互联接口处脱离和断裂的风险。其中，第一材料层的弹性模量大于或等于第二材料层的弹性模量，而第一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，能确保对不可拉伸电路层起到支撑作用的是支撑体中具有最大弹性模量的材料层，进而确保支撑体对不可拉伸电路层起到有效的支撑作用，有效避免刚柔互联结构在被拉伸时刚性电路系统被拉坏。
- [0078] 上述结构为支撑体的第一个可选实施例，如图3所示，第二材料层12的数量为2个时，2个第二材料层12按照第一预设顺序依次叠设于可拉伸衬底2背离不可拉伸电路层4的一侧，且第一材料层11叠设于最远离不可拉伸电路层4的一个第二材料层12的外侧，即叠设于最外层的一个第二材料层12上，最外层的一个第二材料层12具体为图3中最下面的一个第二材料层12。
- [0079] 在上述第一个可选实施例中，多个第二材料层依次叠设在可拉伸衬底背离可拉伸电路层的一侧，且第二材料层叠设于最外层的一个第二材料层上；第一材料和第二材料层采用多级叠设的方式，可以基于第一材料层和多个第二材料层的厚度叠加，实现法线方向上的梯度刚度，进而使得整个支撑体具有法线方向上的梯度刚度，实现互联接口处脱离和断裂的风险的有效降低。
- [0080] 应理解，图3只展示了2个第二材料层，第二材料层的其他数量的情况与此类似，此处不再列举。
- [0081] 优选地，在上述第一个可选实施例的所述支撑体1中，按照所述第一预设顺序，所有所述第二材料层12与所述可拉伸电路层3之间在沿拉伸方向上的第二间距

依次增加，且所述第一材料层11与所述可拉伸电路层3之间在沿拉伸方向上的第一间距，大于最远离所述不可拉伸电路层4的一个所述第二材料层12与所述可拉伸电路层3之间的所述第二间距，使得所有所述第二材料层12靠近所述可拉伸电路层3的外边缘与所述第一材料层11靠近所述可拉伸电路层3的外边缘一起形成台阶式叠构。

- [0082] 第一材料层与可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第一间距，是指在沿x方向上，第一材料层与可拉伸电路层之间的中心间距；同理第二材料层与可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第二间距，指在沿x方向上，第二材料层与可拉伸电路层之间的中心间距。在上述第一个可选实施例中，第二间距依次增加，且第一间距大于第二间距，相当于第二材料层相对于所有第一材料层，在x方向上更接近可拉伸电路层；两种材料层靠近可拉伸电路层的外边缘一起组成的台阶式叠构，可以使得刚度沿着拉伸方向越来越小，而朝着不可拉伸电路层的方向越来越大，即形成沿拉伸方向的梯度刚度，进而可以在互联接口处起到应变缓冲器的作用，实现将可拉伸衬底传递到不可拉伸电路层的应力进行分级缓冲。
- [0083] 优选地，在上述第一个可选实施例中，所有所述第二材料层12的弹性模量均相同，或者，所有所述第二材料层12的弹性模量按照所述第一预设顺序依次增加。
- [0084] 对于依次叠设的第二材料层，各层的弹性模量既可以相同，也可以沿着第一预设顺序（即叠设顺序，具体指图3中的y方向）依次增加，均可以保证得到沿y方向的梯度刚度的支撑体。
- [0085] 优选地，当所述支撑体1在沿所述可拉伸电路层3的拉伸方向上具有梯度刚度时，如图4所示，所述支撑体1包括：
- [0086] 一个第一材料层11和一个第二材料层12；其中，所述第一材料层11的弹性模量大于或等于所述第二材料层12的弹性模量，且所述第一材料层11在所述可拉伸衬底2上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层4在所述可拉伸衬底2上的投影；
- [0087] 所述第二材料层12设于所述可拉伸衬底2背离所述不可拉伸电路层4的一侧，所述第一材料层11嵌设于所述第二材料层12的内部。

- [0088] 在上述第二个可选实施例中，第一材料层嵌设于第二材料层的内部，即第一材料层和第二材料层采用嵌设的方式，可以基于两个材料层的弹性模量的叠加，实现拉伸方向上的梯度刚度，进而使得整个支撑体具有拉伸方向上的梯度刚度，同样可以在互联接口处起到应变缓冲器的作用，实现互联接口处脱离和断裂的风险的有效降低。
- [0089] 对于上述两个可选实施例的支撑体，如图3~图4所示，第一材料层11在可拉伸衬底2上的投影覆盖于不可拉伸电路层4在可拉伸衬底2上的投影，是指图3~图4中第一材料层11靠近可拉伸电路层3的边缘线B1与不可拉伸电路层4与可拉伸电路层3之间的交界线A平齐，或B1线超出A线。
- [0090] 在上述两个可选实施例中，所述第一材料层11的厚度和所述第二材料层12的厚度均大于0.1mm。
- [0091] 通过上述厚度范围的第一材料层和第二材料层，既能起到对不可拉伸电路层的支撑作用，又能方便形成具有法线方向上的梯度刚度的支撑体，确保起到应力缓冲的作用。
- [0092] 在一个具体实施方式中，第一材料层11的厚度具体为0.125mm，选用0.125 mm的硬PET薄膜。
- [0093] 在上述两个可选实施例中，所述第一材料层11的弹性模量和所述第二材料层12的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底3的弹性模量。
- [0094] 即支撑体中第一材料层和第二材料层的弹性模量都需要比可拉伸衬底的弹性模量大，能确保支撑体相对于可拉伸衬底的刚度更大，进而确保对可拉伸衬底上的不可拉伸电路层起到支撑作用。
- [0095] 在上述两个可选实施例中，所述第二材料层12的弹性模量小于0.1GPa。
- [0096] 通过该范围的弹性模量，可以保证越靠近可拉伸电路层的支撑体的刚度越小，越远离可拉伸电路层的支撑体的刚度越大，进而既符合刚柔互联接口处的所需要的可拉伸性，又能确保在柔性电路系统被拉伸时，对传输到刚性电路系统的应力得到有效缓冲。
- [0097] 在上述两个可选实施例中，所述第二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。

- [0098] 上述材料的弹性模量较小，可以形成符合要求的支撑体。
- [0099] 其中，有机硅（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。
- [0100] 丙烯酸聚合物（例如3M公司生产的3M VHB胶）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（Polyurethane，简称PU，例如Thermoplastic polyurethanes，TPU）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。
- [0101] 在上述两个可选实施例中，当所述第一材料层的弹性模量大于所述第二材料层的弹性模量时，所述第一材料层包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种。
- [0102] 当第一材料层的弹性模量大于第二材料层的弹性模量时，第一材料层选用上述材质，可以确保得到支撑体在第二材料层所在的区域表现出较大的刚度，进而得到符合要求的梯度刚度的支撑体。
- [0103] 其中，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，是一种热塑性塑料；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；聚酰亚胺层由PI制成，PI即Polyimide，聚酰亚胺。
- [0104] 优选地，如图5所示，当所述支撑体1在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度时，所述支撑体1包括：
- [0105] 至少两个按照第二预设顺序依次铺设于所述可拉伸衬底2背离所述可拉伸电路层3一侧的第三材料层13，所有所述第三材料层13均共面且相邻两个所述第三材料层在交界处的边缘线均重合；

- [0106] 按照所述第二预设顺序，所有所述第三材料层13的弹性模量依次增加，且具有最大弹性模量的所述第三材料层13在所述可拉伸衬底2上的投影覆盖于所述不可拉伸电路层4在所述可拉伸衬底2上的投影。
- [0107] 上述结构是支撑体的第三个可选实施例，所有第三材料层均共面且相邻两个第三材料层在交界处的边缘线均重合，即可以得到连续且平铺形式的支撑体；这些第三材料层沿着第二预设顺序（具体指朝着不可拉伸电路层的方向，即图中x方向的反方向），弹性模量依次增加，可以使得整个支撑体的刚度朝着拉伸方向依次减小，朝着不可拉伸电路层的方向依次增加；基于这些材料的弹性模量，实现拉伸方向上的梯度刚度，实现互联接口处脱离和断裂的风险的有效降低。
- [0108] 对于上述第三个可选实施例的支撑体，如图5所示，具有最大弹性模量的第三材料层13在可拉伸衬底2上的投影覆盖于不可拉伸电路层4在可拉伸衬底2上的投影，是指图5中最右边的一个第三材料层13靠近可拉伸电路层3的边缘线B2与不可拉伸电路层4与可拉伸电路层3之间的交界线A平齐，或B2线超出A线。
- [0109] 应理解，图5仅展示了2个第三材料层的情况，第三材料层的其他数量的情况与此类似，此处不再展示。
- [0110] 在上述第三个可选实施例中，所有所述第三材料层13的厚度均大于0.1mm。
- [0111] 与前述两个可选实施例类似，通过上述厚度范围的第三材料层，既能起到对不可拉伸电路层的支撑作用，又能方便形成具有法线方向上的梯度刚度的支撑体，确保起到应力缓冲的作用。
- [0112] 在一个具体实施方式中，所有所述第三材料层13中具有最高弹性模量的所述第三材料层13的厚度为0.125mm，选用0.125 mm的硬PET薄膜。
- [0113] 在上述第三个可选实施例中，所有所述第三材料层13的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底2的弹性模量。
- [0114] 支撑体中所有第三材料层的弹性模量都需要比可拉伸衬底的弹性模量大，能确保整个支撑体相对于可拉伸衬底的刚度更大，进而确保对可拉伸衬底上的不可拉伸电路层起到支撑作用。

- [0115] 在上述第三个可选实施例中，所有所述第三材料层13中具有最高弹性模量的所述第三材料层13的弹性模量大于0.1GPa，其余所述第三材料层13的弹性模量均小于0.1GPa。
- [0116] 通过上述弹性模量的第三材料层，可以保证越靠近可拉伸电路层的支撑体的刚度越小，越远离可拉伸电路层的支撑体的刚度越大，进而既符合刚柔互联接口处的所需要的可拉伸性，又能确保在柔性电路系统被拉伸时，对传输到刚性电路系统的应力得到有效缓冲。
- [0117] 在上述第三个可选实施例中，所有所述第三材料层13中具有最高弹性模量的所述第三材料层13包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种，其余所述第三材料层13包括有机硅层、丙烯酸聚合物层和聚氨酯层中的任一种。
- [0118] 通过上述材料的第三材料层，同样可以保证越靠近可拉伸电路层的支撑体的刚度越小，越远离可拉伸电路层的支撑体的刚度越大，进而既符合刚柔互联接口处的所需要的可拉伸性，又能确保在柔性电路系统被拉伸时，对传输到刚性电路系统的应力得到有效缓冲。
- [0119] 优选地，如图6所示，所述可拉伸衬底2包括：
- [0120] 依次叠设的聚合物薄膜层21和热熔胶层22，所述可拉伸电路层3和所述不可拉伸电路层4与所述聚合物薄膜层21的外侧均贴合，所述支撑体1与所述热熔胶层22的外侧贴合。
- [0121] 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，便于结合可拉伸电路层一起为形成优良的可拉伸性能的柔性电路系统；热熔胶层，能够提供良好的粘合力，能方便后续轻松贴合支撑层，确保其对不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。
- [0122] 应理解，当聚合物薄膜层21和热熔胶层22依次叠设时，聚合物薄膜层21的外侧和热熔胶层22的外侧即为整个可拉伸衬底2的两个外表面（即图6中可拉伸衬底2的上下表面）。

- [0123] 优选地，所述聚合物薄膜层21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。
- [0124] 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。
- [0125] 在一个具体实施方式中，可拉伸衬底2选用TPU5855膜，即其中的聚合物薄膜层21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；其中的热熔胶层22为FDS5855X1型号的热熔胶，其厚度为25 μm 。
- [0126] 优选地，所述可拉伸电路层3由液态金属复合材料制成；
- [0127] 其中，所述液态金属复合材料具体为银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的混合物。
- [0128] 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。本实施例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。
- [0129] 具体地，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%。
- [0130] 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。
- [0131] 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。

- [0132] 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。
- [0133] 在一个具体实施方式中，所述可拉伸电路层3的厚度范围为1~300 μm 。
- [0134] 优选地，如图2所示，所述不可拉伸电路层4与所述可拉伸电路层3之间的所述重叠区域5在沿所述可拉伸电路层3的拉伸方向的长度大于或等于0.1mm。
- [0135] 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；同时还方便密封层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，起到更好的密封作用。
- [0136] 在图2中，可拉伸电路层3的拉伸方向为图示中的x方向，不可拉伸电路层4与可拉伸电路层3在交界处的重叠区域5沿x方向的长度 $L \geq 0.1\text{mm}$ 。
- [0137] 优选地，所述不可拉伸电路层4由银浆制成。
- [0138] 银浆具有导电性，可以被配成柔性的但不是可拉伸的；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；对基材的附着力好，在可拉伸衬底上不易脱落，因此能形成品质优良且不具有可拉伸性的刚性电路系统。
- [0139] 在一个具体实施方式中，不可拉伸电路层4中的银浆可以选用ASH LS-411或ASH LS-453型号的银浆，当应变保持在10%以内时，可维持良好的导电性。
- [0140] 在一个具体实施方式中，不可拉伸电路层4的厚度范围为1~100 μm 。
- [0141] 优选地，所述密封层6包括有机硅层、丙烯酸聚合物层和聚氨酯层中的任一种或任几种组合而成的薄膜层。
- [0142] 通过上述密封层，既能对可拉伸电路层起到封装或封闭作用，还能确保密封层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结构。
- [0143] 在一个具体实施方式中，所述密封层6选用ecoflex-010型号的有机硅层，其厚度为0.25mm。
- [0144] 优选地，如图7所示，还包括：

- [0145] 多个电子元件7，贴装于所述不可拉伸电路层4背离所述可拉伸衬底2的一侧，每个所述电子元件7与所述不可拉伸电路层4均电连接。
- [0146] 通过贴装的电子元件，以及电子元件与不可拉伸电路层之间的电连接，能按照实际产品设计要求，形成最终的刚性电路系统，进而得到稳定性和可靠性高的刚柔互联结构。
- [0147] 本实施例电子元件是指电阻、电容、二极管等电子元件，其具体类型视具体产品设计而定。
- [0148] 为呈现出本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的优势，本实施例还分别做了以下两组对比实验：
- [0149] 第一组：对比样品1与本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的样品（为便于说明，简称实施例样品）进行对比，其中对比样品1仅包括电路层和可拉伸衬底，指采用可拉伸的银浆（如商用可拉伸油墨LS-453）作为电路层，并将该电路层直接施加到本实施例中所述的可拉伸衬底上；
- [0150] 第二组：对比样品2与本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的样品（为便于说明，简称实施例样品）进行对比，其中对比样品2与本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构的样品仅支撑体部分不同，其他部分的结构和材料均相同，对比样品2的支撑体为硬PET薄膜，其不具有梯度刚度。
- [0151] 对于第一组对比实验，分别对第一组样品中两种样品（即对比样品1和实施例样品）进行拉伸性测试，其中实施例样品的拉伸性测试是在100%应变和3mm/sec的拉伸速率下进行的，而对比样品1的拉伸性测试是在50%应变、以及分别在0.6mm/sec和6mm/sec的拉伸速率下进行的。
- [0152] 实施例样品的拉伸性测试曲线图如图8所示，在图8中，实施例样品在约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1-2 Ω 的范围内，这适于大多数电子应用），且在拉伸2000次时刚性电路系统与柔性电路系统之间的互联接口处没有显示出开裂的迹象，如图9A和图9B所示，图9A为实施例样品在拉伸2000次时的实物图，图9B为实施例样品在拉伸

2000次时对应的互联接口处的放大图，在图9A和图9B中，虚线框指示的为互联接口8。

[0153] 对比样品1的拉伸性测试结果如表1所示，从表1可以看出，对比样品1显示出非常大的 R/R_0 ，并且在互连接口处发生开裂，如图10所示，图10为对比样品1的实物图，虚线框同样指互联接口8，图11A和图11B则是该对比样品1的两个互联接口8处的放大图。这表明本实施例的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构增强了可拉伸性能和接合性能，可以广泛用于可拉伸电子装置中。

[0154] 表1 对比样品1的拉伸性测试结果

[0155]

拉伸性测试（250 次反复拉伸；50%应变）				
编号	拉伸速度 (mm/s)	R_0 (Ω)	R/R_0 (拉伸时)	R/R_0 (松弛时)
1	0.6	2.43	33.4	8.5
2	0.6	3.26	68.8	8.8
3	6.0	3.25	在第 49 次反复拉伸时电路不导通	

[0156] 对于第二组对比实验，分别对第二组样品中两种样品（即对比样品2和实施例样品）进行拉伸性测试，两种样品的拉伸性测试是均在100%应变和3mm/sec的拉伸速率下进行的。拉伸性测试的统计图如图12所示，从图12可以看出，对比样品2在反复拉伸500次时发生脱离，而实施例样品在反复拉伸10000次时仍未发生脱离；拉伸性测试的对比数据表如表2所示，从表2可以看出，对比样品2在不到1千次的循环拉伸时，线路就断开了，电阻也变成无穷大，而实施例样品在大于1万次的循环拉伸时，电子线路也没有断开。

[0157] 表2 对比样品2与实施例样品的拉伸性测试对比数据表

[0158]

对比样品 2	电子线路在小于 1,000 个循环拉伸会断开，电阻变成无穷大
实施例样品	电子线路在大于 10,000 个循环拉伸也不会断开，依然连通

[0159] 对于第二组对比实验，还分别对第二组样品中的两种样品进行应力分布模拟，应力分布模拟包括对可拉伸衬底上表面（即可拉伸衬底与可拉伸电路层、不可拉伸电路层之间的界面）的应力分布的模拟以及可拉伸衬底下表面（即可拉伸

衬底与支撑体之间的界面)的应力分布的模拟。对比样品2在可拉伸衬底上表面的应力分布图如图13A所示,其最大平均应力为41MPa;实施例样品图在可拉伸衬底上表面的应力分布图如图13B所示,其最大平均应力为34MPa。对比样品2在可拉伸衬底下表面的应力分布图如图14A所示,其最大平均应力为58MPa;实施例样品图在可拉伸衬底上表面的应力分布图如图14B所示,其最大平均应力为36MPa。

[0160] 因此,本实施例具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构不仅具有更为优良的可拉伸性能,还可以有效降低最大平均应力,发生脱离和断裂的风险更小,稳定性和可靠性更高。

[0161] 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]

在一种具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，包括：

支撑体；

可拉伸衬底，设置在所述支撑体的一侧；

可拉伸电路层和不可拉伸电路层，均设置在所述可拉伸衬底背离所述支撑体的一侧，且所述不可拉伸电路层与支撑体相对设置；所述不可拉伸电路层与所述可拉伸电路层电连接；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，且所述支撑体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；以及

密封层，设置在所述可拉伸电路层背离所述可拉伸衬底的一侧，并覆盖于所述可拉伸电路层；

其中，所述可拉伸电路层具有拉伸方向和法线方向，所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度，或者，所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的法线方向上具有梯度刚度。
- [权利要求 2]

根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的法线方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：

一个第一材料层和至少两个第二材料层；其中，所述第一材料层的弹性模量大于或等于所述第二材料层的弹性模量，且所述第一材料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；

所有所述第二材料层按照第一预设顺序依次叠设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层的一侧，且所述第一材料层叠设于最远离所述不可拉伸电路层的一个所述第二材料层的外侧。
- [权利要求 3]

根据权利要求2所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，在所述支撑体中，按照所述第一预设顺序，所有所述第二材料层与所述可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第二间距依次增

- 加，且所述第一材料层与所述可拉伸电路层之间在沿拉伸方向上的第一间距，大于最远离所述不可拉伸电路层的一个所述第二材料层与所述可拉伸电路层之间的所述第二间距，使得所有所述第二材料层靠近所述可拉伸电路层的外边缘与所述第一材料层靠近所述可拉伸电路层的外边缘一起形成台阶式叠构。
- [权利要求 4] 根据权利要求2所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所有所述第二材料层的弹性模量均相同，或者，所有所述第二材料层的弹性模量按照所述第一预设顺序依次增加。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：
一个第一材料层和一个第二材料层；其中，所述第一材料层的弹性模量大于或等于所述第二材料层的弹性模量，且所述第一材料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；
所述第二材料层设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层的一侧，所述第一材料层嵌设于所述第二材料层的内部。
- [权利要求 6] 根据权利要求2或5所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述第一材料层的厚度和所述第二材料层的厚度均大于0.1mm。
- [权利要求 7] 根据权利要求2或5所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述第一材料层的弹性模量和所述第二材料层的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底的弹性模量。
- [权利要求 8] 根据权利要求7所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述第二材料层的弹性模量小于0.1GPa。
- [权利要求 9] 根据权利要求2或5所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述第二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。

- [权利要求 10] 根据权利要求2或5所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，当所述第一材料层的弹性模量大于所述第二材料层的弹性模量时，所述第一材料层包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种。
- [权利要求 11] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，当所述支撑体在沿所述可拉伸电路层的拉伸方向上具有梯度刚度时，所述支撑体包括：
至少两个按照第二预设顺序依次铺设于所述可拉伸衬底背离所述不可拉伸电路层一侧的第三材料层，所有所述第三材料层均共面且相邻两个所述第三材料层在交界处的边缘线均重合；
按照所述第二预设顺序，所有所述第三材料层的弹性模量依次增加，且具有最大弹性模量的所述第三材料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 12] 根据权利要求11所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所有所述第三材料层的厚度均大于0.1mm。
- [权利要求 13] 根据权利要求11所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所有所述第三材料层的弹性模量均大于或等于所述可拉伸衬底的弹性模量。
- [权利要求 14] 根据权利要求11所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所有所述第三材料层中具有最高弹性模量的所述第三材料层的弹性模量大于0.1GPa，其余所述第三材料层的弹性模量均小于0.1GPa。
- [权利要求 15] 根据权利要求11所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所有所述第三材料层中具有最高弹性模量的所述第三材料层包括钢层、补强层、FR-4基材层、聚碳酸酯层、聚对苯二甲酸乙二醇酯层和聚酰亚胺层中的任一种，其余所述第三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。

- [权利要求 16] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述可拉伸衬底包括：
依次叠设的聚合物薄膜层和热熔胶层，所述可拉伸电路层和所述不可拉伸电路层与所述聚合物薄膜层的外侧均贴合，所述支撑体与所述热熔胶层的外侧贴合；
其中，所述聚合物薄膜层的厚度为75 μm ，和/或，所述热熔胶层的厚度为25 μm 。
- [权利要求 17] 根据权利要求16所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，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 18] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述可拉伸电路层由液态金属复合材料制成；
其中，所述液态金属复合材料具体为银粉、液态金属和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物的混合物，且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 19] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，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 20] 根据权利要求1所述的具有梯度刚度的可拉伸刚柔互联结构，其特征在于，所述不可拉伸电路层由银浆制成。