

证书号第 4871601 号



发明专利证书

发明名称：一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法

发明人：陈小明;王硕;邵金友;王春江;张洁;李祥明;田洪淼

专利号：ZL 2020 1 1640019.4

专利申请日：2020 年 12 月 31 日

专利权人：西安交通大学

地址：710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号

授权公告日：2021 年 12 月 28 日

授权公告号：CN 112768141 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

证书号 第4871601号



专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年12月31日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

西安交通大学

发明人：

陈小明；王硕；邵金友；王春江；张洁；李祥明；田洪淼



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112768141 B

(45) 授权公告日 2021.12.28

(21) 申请号 202011640019.4

B33Y 30/00 (2015.01)

(22) 申请日 2020.12.31

B33Y 80/00 (2015.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 王娜

申请公布号 CN 112768141 A

(43) 申请公布日 2021.05.07

(73) 专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 陈小明 王硕 邵金友 王春江

张洁 李祥明 田洪淼

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

代理人 杨晔

(51) Int. Cl.

H01B 13/00 (2006.01)

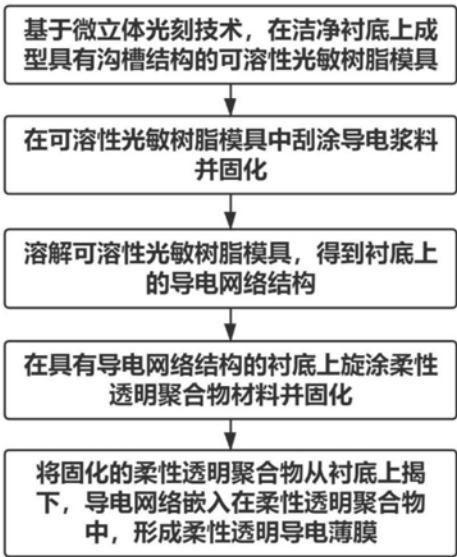
权利要求书4页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法

(57) 摘要

一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,在洁净衬底上制造出具有沟槽结构的可溶性光敏树脂模具;在其沟槽结构中刮涂导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具中的导电网络;将可溶性光敏树脂模具在溶解剂中溶解以去除模具,得到裸露在洁净衬底表面的导电网络;在具有导电网络的洁净衬底上旋涂柔性透明聚合物,然后抽真空保证导电网络良好地嵌入在柔性透明聚合物中,固化柔性透明聚合物;将固化好的柔性透明聚合物从洁净衬底上揭下,嵌入在柔性透明聚合物中导电网络伴随柔性透明聚合物一起从洁净衬底上揭下,从而形成柔性透明导电薄膜;解决使用导电浆料的局限性,提供了通过结构设计提高导电薄膜性能的方法;具有成本低廉、工艺简单、适用性广、可大规模、大面积制造的优点。



1. 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:具体步骤如下:

第一步:将洁净衬底(3)置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,在洁净衬底(3)上打印具有沟槽结构(1)的可溶性光敏树脂模具(2);

第二步:使用医用刮刀将导电浆料刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构(1)中,填满沟槽,然后将其置于60-80℃烘台上加热5-15分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步:将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度1-3%的NaOH溶液中,浸泡1.5-2.5h,溶解可溶性光敏树脂模具(2),得到裸露在洁净衬底(3)表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于60-80℃的烘台上加热5-15分钟烘干导电网络(4);

第四步:将第三步中得到的具有导电网络(4)的洁净衬底(3)置于匀胶机上旋涂3-5ml柔性透明聚合物(5),旋涂参数为低速600-700rad/min,10-12s,高速1000-1200rad/min,30-40s,然后置于真空干燥箱中抽真空10-15分钟,使导电网络(4)完全嵌入在柔性透明聚合物(5)中,再置于75-85℃的真空干燥箱中加热1-2h固化柔性透明聚合物(5);

第五步:将第四步中得到的固化的柔性透明聚合物(5)从洁净衬底(3)上揭下,其中导电网络(4)完全嵌入在柔性透明聚合物(5)中,伴随柔性透明聚合物(5)一起从洁净衬底(3)上揭下,形成了柔性透明导电薄膜(6)。

2. 根据权利要求1所述的一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:所述的第一步中洁净衬底(3)为刚性洁净衬底,包括硅片。

3. 根据权利要求1所述的一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:所述的第一步中沟槽结构(1)的形状结构通过用于微立体光刻技术的模型自由设计构建。

4. 根据权利要求1所述的一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:所述的第二步中用于刮涂的导电浆料包括碳纳米管溶液、石墨烯溶液、导电银浆或液态金属。

5. 根据权利要求1所述的一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:所述的第四步中柔性透明聚合物(5)为能通过交联反应从液态固化为固态,且固化后具有透明、柔性性质的聚合物,包括聚二甲基硅氧烷。

6. 根据权利要求1至5任一项所述的一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,其特征在于:具体步骤如下:

第一步,选用硅片作为洁净衬底(3),将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构(1)为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具(2),打印沟槽线宽为10 μ m,间距为90 μ m,深度为15 μ m;

第二步,以10wt%的碳纳米管溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中刮涂10wt%的碳纳米管溶液,具体步骤为使用医用刮刀将10wt%的碳纳米管溶液刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于60℃的烘台上加热10分钟,

固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步,将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度1%的NaOH溶液中,浸泡2.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于60℃的烘台上加热15分钟烘干导电网络(4);

第四步,柔性透明聚合物(5)采用聚二甲基硅氧烷,将第三步所得具有导电网络(4)的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷,具体为:将聚二甲基硅氧烷本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后,取3ml浇筑在具有导电网络(4)的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速600rad/min,12s,高速1000rad/min,40s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,再将其置于75℃烘箱中加热2h,使聚二甲基硅氧烷固化;

第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷从硅片上揭下,其中导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,会伴随聚二甲基硅氧烷一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜(6)。

7.一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

第一步,选用硅片作为洁净衬底(3),将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构(1)为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具(2),打印沟槽线宽为10 μ m,间距为90 μ m,深度为15 μ m;

第二步,以7wt%的碳纳米管溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中刮涂7wt%的碳纳米管溶液,具体步骤为:使用医用刮刀将7wt%的碳纳米管溶液刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于65℃的烘台上加热15分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步,将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度1.5%的NaOH溶液中,浸泡2.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于65℃的烘台上加热15分钟烘干导电网络(4);

第四步,柔性透明聚合物(5)采用聚二甲基硅氧烷,将第三步所得具有导电网络(4)的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷,具体为:将聚二甲基硅氧烷本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取3.5ml浇筑在具有导电网络(4)的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速600rad/min,12s,高速1000rad/min,40s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,再将其置于80℃烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷固化;

第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷从硅片上揭下,其中导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,会伴随聚二甲基硅氧烷一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜(6)。

8.一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

第一步,选用硅片作为洁净衬底(3),将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方

格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构(1)为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具(2),打印沟槽线宽为 $10\mu\text{m}$,间距为 $90\mu\text{m}$,深度为 $15\mu\text{m}$;

第二步,以5wt%的石墨烯溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中刮涂5wt%的石墨烯溶液,具体步骤为使用医用刮刀将5wt%的石墨烯溶液刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于 70°C 的烘台上加热10分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步,将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度2%的NaOH溶液中,浸泡2h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于 70°C 的烘台上加热10分钟烘干导电网络(4);

第四步,柔性透明聚合物(5)采用聚二甲基硅氧烷,将第三步所得具有导电网络(4)的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷,具体为:将聚二甲基硅氧烷本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取4ml浇筑在具有导电网络(4)的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速 $650\text{rad}/\text{min}$,11s,高速 $1100\text{rad}/\text{min}$,35s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,再将其置于 80°C 烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷固化;

第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷从硅片上揭下,其中导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,会伴随聚二甲基硅氧烷一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜(6)。

9.一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

第一步,选用硅片作为洁净衬底(3),将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构(1)为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具(2),打印沟槽线宽为 $10\mu\text{m}$,间距为 $90\mu\text{m}$,深度为 $15\mu\text{m}$;

第二步,以导电银浆为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中刮涂导电银浆,具体步骤为使用医用刮刀将导电银浆刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于 75°C 的烘台上加热10分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步,将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度2.5%的NaOH溶液中,浸泡1.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于 75°C 的烘台上加热10分钟烘干导电网络(4);

第四步,柔性透明聚合物(5)采用聚二甲基硅氧烷,将第三步所得具有导电网络(4)的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷,具体为:将聚二甲基硅氧烷本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取4.5ml浇筑在具有导电网络(4)的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速 $650\text{rad}/\text{min}$,11s,高速 $1100\text{rad}/\text{min}$,35s,置于真空干燥箱中抽真空15min,使导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,再将其置于 80°C 烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷固化;

第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷从硅片上揭下,其中导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,会伴随聚二甲基硅氧烷一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜

(6)。

10.一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

第一步,选用硅片作为洁净衬底(3),将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构(1)为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具(2),打印沟槽线宽为 $10\mu\text{m}$,间距为 $90\mu\text{m}$,深度为 $15\mu\text{m}$;

第二步,以液态金属为导电浆料,液态金属采用镓合金液态金属,在可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中刮涂镓合金液态金属,具体步骤为使用医用刮刀将镓合金液态金属刮入可溶性光敏树脂模具(2)的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于 80°C 的烘台上加热5分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具(2)中的导电网络(4);

第三步,将第二步中内部形成了导电网络(4)的可溶性光敏树脂模具(2)置于质量浓度3%的NaOH溶液中,浸泡1.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络(4),用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于 80°C 的烘台上加热5分钟烘干导电网络(4);

第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷,将第三步所得具有导电网络(4)的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷,具体为:将聚二甲基硅氧烷本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取5ml浇筑在具有导电网络(4)的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速 $700\text{rad}/\text{min}$,10s,高速 $1200\text{rad}/\text{min}$,30s,置于真空干燥箱中抽真空15min,使导电网络(4)完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,再将其置于 85°C 烘箱中加热1h,使聚二甲基硅氧烷固化;

第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷中,会伴随聚二甲基硅氧烷一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜(6)。

一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法

技术领域

[0001] 本发明属于柔性电子器件技术领域,特别涉及一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法。

背景技术

[0002] 透明导电膜在可见光范围内具有高的透过率和高导电率,在发光器件、传感器、显示器、电磁屏蔽、防静电膜等领域具有广泛的应用。目前,已经在市场上大规模商品化的柔性导电膜主要是基于金属材料与柔性基底的金属型导电薄膜,应用最广泛的是ITO透明导电薄膜,但是该材料比较脆,且制备温度较高;此外因为膜中含有金属In,是一种稀有金属,既稀缺、价格昂贵成本高,又有毒,会污染环境。因此探索新型无毒的材料和简单的工艺,制造绿色环保、成本低廉、性能良好的柔性透明导电薄膜具有重要意义。

[0003] 传统制备柔性透明导电薄膜的方法主要分为物理沉积技术和化学沉积技术两大类,其中物理沉积技术主要包括离子镀膜、真空蒸发镀膜、磁控溅射、丝印和喷墨打印法等;化学沉积技术主要包括化学气相沉积、溶胶凝胶、喷雾热解以及分子束外延等。过去制备ITO薄膜使用最多的为磁控溅射镀膜法,考虑到ITO薄膜的上述缺点,近年来一些研究通过将纳米级导电材料,如石墨烯、碳纳米管、银纳米颗粒等材料溶解在溶剂中形成导电浆料,通过打印或印刷的方式沉积在柔性透明衬底上,实现柔性透明导电薄膜的制备。这种方法的缺陷是会受打印和印刷工艺制约,存在分辨率较低或者导电浆料不能用于打印的情况。因此最近的一些研究通过压印技术在柔性基底上制备沟槽结构,或者通过光刻得到模板后翻模得到沟槽结构后,然后将导电浆料填充到沟槽结构中或者通过蒸镀、溅射金属等方法制备得到柔性透明导电薄膜。而这种方法存在成本高、光刻工艺复杂,受光刻掩模版或压印模具的制作限制,不能实现大规模、大面积制造等问题,并且每次更改柔性透明导电膜内部导电通路结构,都要重新制作掩模版或者压印模具,成本高且周期长。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,解决了部分导电浆料不能用于打印或印刷等制备技术的问题,任意导电浆料都可适用,且可以设计三维形状结构的导电网络,具有成本低廉、工艺简单、适用性广、可大规模、大面积制造的优点。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0007] 第一步:将洁净衬底3置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,在洁净衬底3上打印具有沟槽结构1的可溶性光敏树脂模具2;

[0008] 第二步:使用医用刮刀将导电浆料刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构1中,填满沟槽,然后将其置于60-80℃烘台上加热5-15分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光

敏树脂模具2中的导电网络4;

[0009] 第三步:将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度1-3%NaOH溶液中,浸泡1.5-2.5h溶解可溶性光敏树脂模具2,得到裸露在洁净衬底3表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于60-80℃的烘台上加热5-15分钟烘干导电网络4;

[0010] 第四步:将第三步中得到的具有导电网络4的洁净衬底3置于匀胶机上,旋涂3-5ml柔性透明聚合物5,旋涂参数为低速600-700rad/min,10-12s,高速1000-1200rad/min,30-40s,然后置于真空干燥箱中抽真空10-15分钟,使导电网络4完全嵌入在柔性透明聚合物5中,再置于75-85℃的真空干燥箱中加热1-2h固化柔性透明聚合物5;

[0011] 第五步:将第四步中得到的固化的柔性透明聚合物5从洁净衬底3上揭下,其中导电网络4完全嵌入在柔性透明聚合物5中,伴随柔性透明聚合物5一起从洁净衬底3上揭下,形成了柔性透明导电薄膜6。

[0012] 所述的第一步中洁净衬底3为刚性洁净衬底,优选地使用硅片。

[0013] 所述的第一步中沟槽结构1的形状结构通过用于微立体光刻技术的模型自由设计构建。

[0014] 所述的第二步中用于刮涂的导电浆料包括但不限于碳纳米管(CNT)溶液、石墨烯溶液、导电银浆、液态金属。

[0015] 所述的第四步中柔性透明聚合物5为能通过交联反应从液态固化为固态,且固化后具有透明、柔性性质的聚合物,优选地使用聚二甲基硅氧烷(PDMS)。

[0016] 与已有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0017] 本发明方法解决了部分导电浆料不能用于打印或印刷等制备技术的问题,任意导电浆料都可适用于这种制备柔性透明导电薄膜的方法。

[0018] 本发明方法制备柔性透明导电薄膜时,内部导电网络结构可任意设计构建,并且相较于光刻、压印等方法只能设计二维形状结构的导电网络,该方法可以制得三维形状结构的导电网络,提供了通过不同的结构设计构建三维形状结构的导电网络提高导电薄膜性能的方法,适用性广。

[0019] 本发明方法在需要更改柔性透明导电薄膜内部导电网络结构时,只需修改用于微立体光刻技术的模型即可,而不需要重新制造掩模版或者压印模具。

[0020] 综上,本发明具有成本低廉、工艺简单、适用性广、可大规模、大面积制造的优点。

附图说明

[0021] 图1是基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法的流程图。

[0022] 图2是在洁净衬底上通过微立体光刻技术形成的可溶性光敏树脂模具示意图。

[0023] 图3是在洁净衬底上通过微立体光刻技术形成的可溶性光敏树脂模具俯视图。

[0024] 图4是在可溶性光敏树脂模具中刮涂了导电浆料的示意图。

[0025] 图5是溶解可溶性光敏树脂模具后形成的导电网络的结构示意图。

[0026] 图6是在具有导电网络结构的衬底上旋涂柔性透明聚合物材料的示意图。

[0027] 图7是揭下嵌有导电网络结构的柔性透明聚合物示意图。

[0028] 其中:1、沟槽结构;2、可溶性光敏树脂模具;3、洁净衬底;4、导电网络;5、柔性透明

聚合物;6、柔性透明导电薄膜。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步详细描述:

[0030] 实施例一:

[0031] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0032] 第一步,选用硅片作为洁净衬底3,将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构1为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具2,打印沟槽线宽为10 μm ,间距为90 μm ,深度为15 μm ,正视图如图2所示,俯视图如图3所示;

[0033] 第二步,以10wt%的碳纳米管(CNT)溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中刮涂10wt%的碳纳米管(CNT)溶液,具体步骤为使用医用刮刀将10wt%的碳纳米管(CNT)溶液刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于60 $^{\circ}\text{C}$ 的烘台上加热10分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具2中的导电网络4,如图4所示;

[0034] 第三步,将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度1%的NaOH溶液中,浸泡2.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于60 $^{\circ}\text{C}$ 的烘台上加热15分钟烘干导电网络4,如图5所示;

[0035] 第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷(PDMS),将第三步所得具有导电网络4的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷(PDMS),具体为:将聚二甲基硅氧烷(PDMS)本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后,取3ml浇筑在具有导电网络4的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速600rad/min,12s,高速1000rad/min,40s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,再将其置于75 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中加热2h,使聚二甲基硅氧烷(PDMS)固化,如图6所示;

[0036] 第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷(PDMS)从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,会伴随聚二甲基硅氧烷(PDMS)一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜6,如图7所示。

[0037] 所述微立体光刻技术为现有技术。

[0038] 实施例二:

[0039] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0040] 第一步,选用硅片作为洁净衬底3,将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构1为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具2,打印沟槽线宽为10 μm ,间距为90 μm ,深度为15 μm ;

[0041] 第二步,以7wt%的碳纳米管(CNT)溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中刮涂7wt%的碳纳米管(CNT)溶液,具体步骤为:使用医用刮刀将7wt%的碳纳米管(CNT)溶液刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于65 $^{\circ}\text{C}$ 的烘台上加热15分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具2中的导电网络4;

[0042] 第三步,将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度1.5%的NaOH溶液中,浸泡2.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于65℃的烘台上加热15分钟烘干导电网络4;

[0043] 第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷(PDMS),将第三步所得具有导电网络4的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷(PDMS),具体为:将聚二甲基硅氧烷(PDMS)本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取3.5ml浇筑在具有导电网络4的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速600rad/min,12s,高速1000rad/min,40s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,再将其置于80℃烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷(PDMS)固化;

[0044] 第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷(PDMS)从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,会伴随聚二甲基硅氧烷(PDMS)一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜6。

[0045] 实施例三:

[0046] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0047] 第一步,选用硅片作为洁净衬底3,将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构1为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具2,打印沟槽线宽为10 μ m,间距为90 μ m,深度为15 μ m;

[0048] 第二步,以5wt%的石墨烯溶液为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中刮涂5wt%的石墨烯溶液,具体步骤为使用医用刮刀将5wt%的石墨烯溶液刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于70℃的烘台上加热10分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具2中的导电网络4;

[0049] 第三步,将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度2%的NaOH溶液中,浸泡2h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于70℃的烘台上加热10分钟烘干导电网络4;

[0050] 第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷(PDMS),将第三步所得具有导电网络4的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷(PDMS),具体为:将聚二甲基硅氧烷(PDMS)本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取4ml浇筑在具有导电网络4的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速650rad/min,11s,高速1100rad/min,35s,置于真空干燥箱中抽真空10min,使导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,再将其置于80℃烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷(PDMS)固化;

[0051] 第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷(PDMS)从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,会伴随聚二甲基硅氧烷(PDMS)一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜6。

[0052] 实施例四:

[0053] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0054] 第一步,选用硅片作为洁净衬底3,将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构1为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具2,打印

沟槽线宽为10 μ m,间距为90 μ m,深度为15 μ m;

[0055] 第二步,以导电银浆为导电浆料,在可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中刮涂导电银浆,具体步骤为使用医用刮刀将导电银浆刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于75℃的烘台上加热10分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具2中的导电网络4;

[0056] 第三步,将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度2.5%的NaOH溶液中,浸泡1.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于75℃的烘台上加热10分钟烘干导电网络4;

[0057] 第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷(PDMS),将第三步所得具有导电网络4的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷(PDMS),具体为:将聚二甲基硅氧烷(PDMS)本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取4.5ml浇筑在具有导电网络4的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速650rad/min,11s,高速1100rad/min,35s,置于真空干燥箱中抽真空15min,使导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,再将其置于80℃烘箱中加热1.5h,使聚二甲基硅氧烷(PDMS)固化;

[0058] 第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷(PDMS)从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,会伴随聚二甲基硅氧烷(PDMS)一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜6。

[0059] 实施例五:

[0060] 一种基于微立体光刻技术制备柔性透明导电薄膜的方法,具体步骤如下:

[0061] 第一步,选用硅片作为洁净衬底3,将硅片置于微立体光刻3D打印系统的打印平台上并固定,然后用可溶性光敏树脂作为3D打印材料,根据微立体光刻技术的模型设计构建方格网络结构,并在硅片上打印沟槽结构1为方格网络结构的可溶性光敏树脂模具2,打印沟槽线宽为10 μ m,间距为90 μ m,深度为15 μ m;

[0062] 第二步,以液态金属为导电浆料,液态金属采用镓合金液态金属,在可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中刮涂镓合金液态金属,具体步骤为使用医用刮刀将镓合金液态金属刮入可溶性光敏树脂模具2的沟槽结构中,填满沟槽,然后将其置于80℃的烘台上加热5分钟,固化导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具2中的导电网络4;

[0063] 第三步,将第二步中内部形成了导电网络4的可溶性光敏树脂模具2置于质量浓度3%的NaOH溶液中,浸泡1.5h溶解可溶性光敏树脂模具,得到裸露在硅片表面的导电网络4,用去离子水轻轻冲洗残余的NaOH溶液后,置于80℃的烘台上加热5分钟烘干导电网络4;

[0064] 第四步,柔性透明聚合物5采用聚二甲基硅氧烷(PDMS),将第三步所得具有导电网络4的硅片置于匀胶机上旋涂聚二甲基硅氧烷(PDMS),具体为:将聚二甲基硅氧烷(PDMS)本体:固化剂按质量比为10:1比例混合均匀后取5ml浇筑在具有导电网络4的硅片上,用匀胶机旋涂,旋涂参数为低速700rad/min,10s,高速1200rad/min,30s,置于真空干燥箱中抽真空15min,使导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,再将其置于85℃烘箱中加热1h,使聚二甲基硅氧烷(PDMS)固化;

[0065] 第五步,将固化的聚二甲基硅氧烷(PDMS)从硅片上揭下,其中导电网络4完全嵌入在聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,会伴随聚二甲基硅氧烷(PDMS)一起从硅片上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜6。

[0066] 本发明基于微立体光刻技术,在洁净衬底上制造出具有沟槽结构的可溶性光敏树脂模具;在可溶性光敏树脂模具的沟槽结构中刮涂导电浆料,形成嵌入在可溶性光敏树脂模具中的导电网络;将可溶性光敏树脂模具溶解以去除模具,得到裸露在洁净衬底表面的导电网络;在具有导电网络的洁净衬底上旋涂柔性透明聚合物,然后抽真空保证导电网络良好地嵌入在柔性透明聚合物中,固化柔性透明聚合物;将固化好的柔性透明聚合物从洁净衬底上揭下,嵌入在柔性透明聚合物中导电网络伴随柔性透明聚合物一起从洁净衬底上揭下,从而形成了柔性透明导电薄膜。

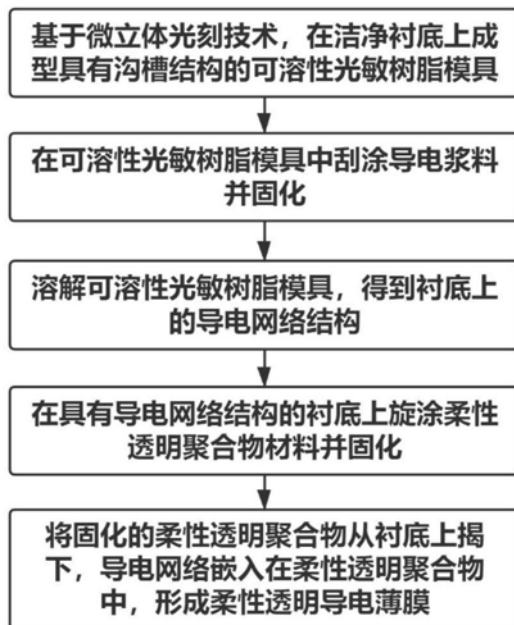


图1

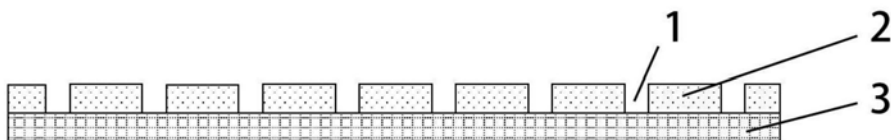


图2

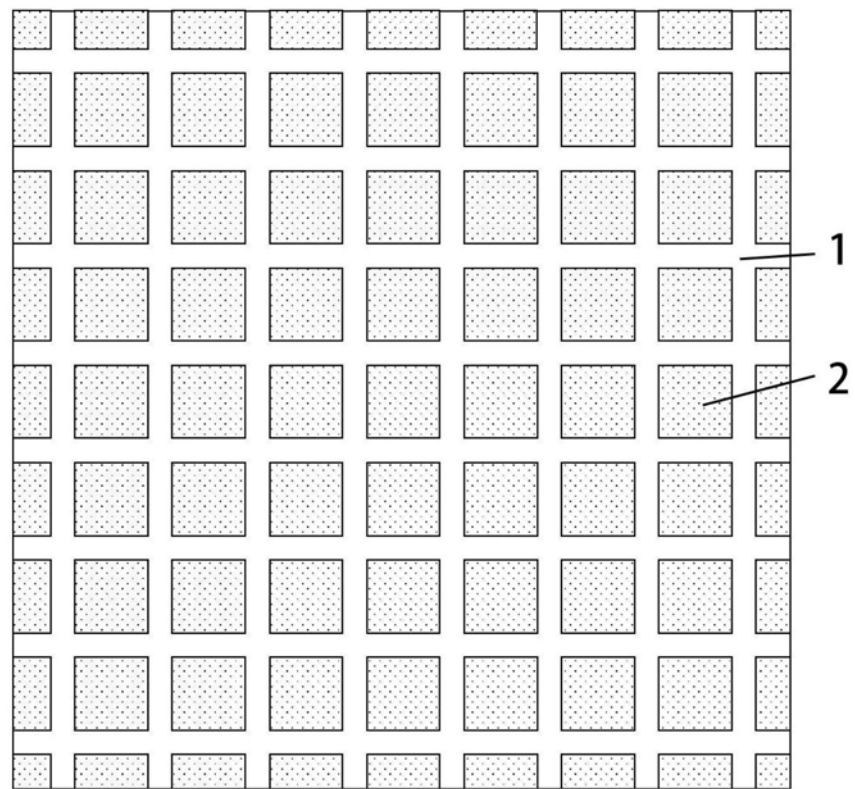


图3

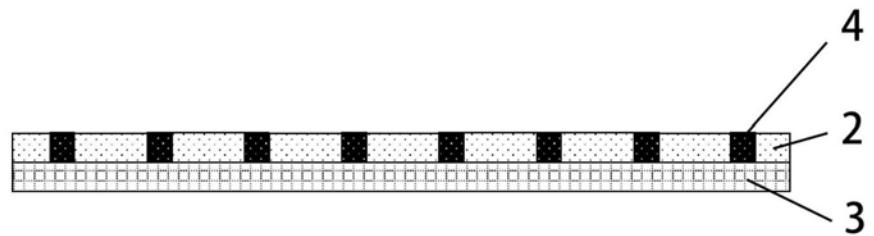


图4

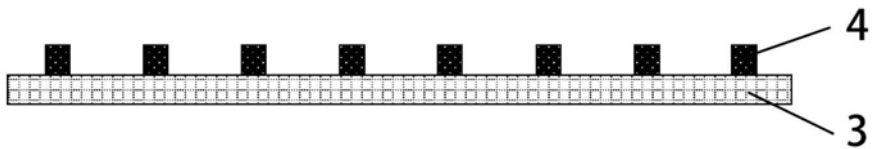


图5

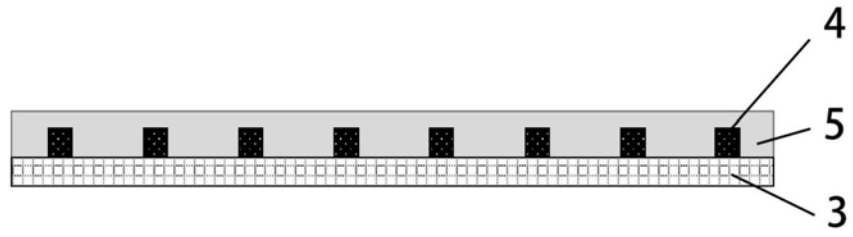


图6

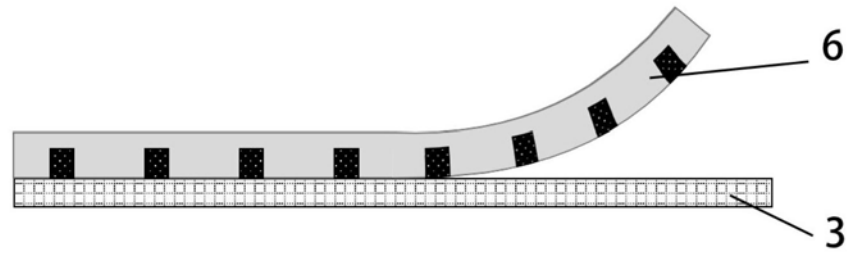


图7