



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109788586 A

(43)申请公布日 2019.05.21

(21)申请号 201910072558.3

(22)申请日 2019.01.25

(71)申请人 陕西科技大学

地址 710021 陕西省西安市未央大学园区

(72)发明人 马忠雷 康松磊 马建中 邵亮

魏阿静 董点点 邓倩 向小莲

(74)专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214

代理人 王蕊转

(51)Int.Cl.

H05B 3/12(2006.01)

H05B 3/34(2006.01)

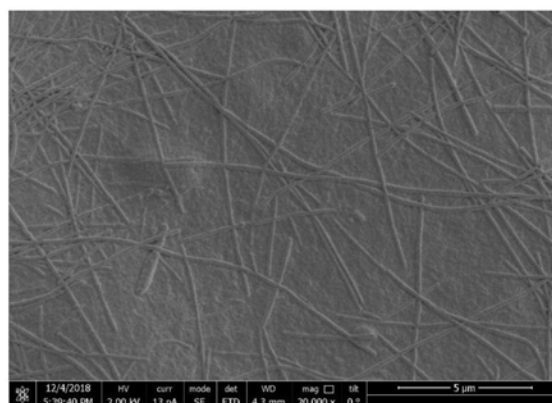
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜,包括银纳米线,银纳米线均匀嵌在芳纶纳米纤维基体表面,芳纶纳米纤维与银纳米线相互连接形成高效导电网络作为电发热载体。本发明还公开了上述复合电热膜的制备方法,该方法制得的电热膜具有良好的柔性、宽的发热温度范围、快速响应及优异的耐热型和力学性能,满足在可穿戴热疗、个人热管理、除雾除冰、交通取暖、军用加热设备和人工智能等领域的应用。



1. 一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜,其特征在於:包括银纳米线,银纳米线均匀嵌在芳纶纳米纤维基体表面,芳纶纳米纤维与银纳米线相互连接形成高效导电网络作为电发热载体。

2. 根据权利要求1所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜,其特征在於:所述芳纶纳米纤维是以对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种为原料,在氢氧化钾和二甲基亚砷混合溶液体系中制备而成,且芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m。

3. 根据权利要求1所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜,其特征在於:所述银纳米线直径为20~50nm,长径比为500~1000,银纳米线的面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>。

4. 根据权利要求1所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜,其特征在於:所述芳纶纳米纤维复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

5. 一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特征在於:具体包括如下步骤:

步骤1,将对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,并在室温下搅拌得到深红色芳纶纳米纤维分散液;芳纶纳米纤维分散液中芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;

步骤2,将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经超声分散得到银纳米线分散液;

步骤3,将步骤1所得芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22~0.45 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;

步骤4,向步骤3所得的芳纶纳米纤维薄片上加入步骤2所得银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

步骤5,将步骤4所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在60~120 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

步骤6,在步骤5所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在60~100 $^{\circ}$ C温度下固化20~60min,即得银纳米线面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>的柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜。

6. 根据权利要求5所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特征在於:所述步骤1中对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维任意一种与氢氧化钾和二甲基亚砷比例为1g:1.5g:500ml。

7. 根据权利要求6所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特征在於:所述步骤1中的芳纶纳米纤维分散液能够均匀地分散在水中,芳纶纳米纤维分散液的浓度为0.2~2mg/mL。

8. 根据权利要求5所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特征在於:所述步骤1中搅拌速度为500~1000r/min,搅拌时间为3~7天。

9. 根据权利要求5所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特征在於:所述步骤2中银纳米线分散液中的银纳米线的浓度为0.5~5mg/mL,且超声处理功率为200~300W,超声处理时间30min。

10. 根据权利要求5所述的一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,其特

征在于:所述步骤6中所得的芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

## 一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电热膜制备技术领域,具体涉及一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜,本发明还涉及上述电热膜的制备方法。

### 背景技术

[0002] 电热膜是一种可实现瞬间电热转换的功能材料,具有发热效率高、散热条件好、表面功率密度高等优点,在可穿戴热疗、个人热管理、除雾除冰、交通取暖、军用加热设备和人工智能等领域具有广泛的应用价值。传统的金属电加热膜和无机电加热膜虽然具有良好的电发热性能,但是电热转化效率低,加热速率小,柔韧性较差,不易弯曲且制备工艺复杂。聚合物基柔性电热膜兼具柔性、耐化学腐蚀和易加工成型等优异性能,在电发热领域具有重要的应用前景。

[0003] 目前聚合物基柔性电热膜主要以炭黑、石墨烯、碳纳米管、金属纳米线、金属颗粒和导电聚合物等为导电填料,以柔性聚合物(如聚烯烃、聚酯、聚乙烯醇、橡胶弹性体等)为基体复合而成,制备方法主要包括共混法、浸涂法、旋涂法、喷涂法、刮涂法和气相沉积法等。导电填料对聚合物基柔性电热膜电性能和发热性能的影响主要包括导电填料的用量和几何特征(如形态、各向异性比、尺寸分布等)。例如一维纳米材料(如金属纳米线、碳纳米管)和二维纳米材料(如石墨烯)具有极高的各向异性比和电导率,在新型聚合物基柔性电热膜的开发中备受青睐。然而,上述常用聚合物基体的耐热性和力学性能较低,大大限制了导电填料发热潜力的发挥,难以达到高温和高强度柔性电热膜的应用需求。此外,所制备的电热膜电阻较大,施加电压高,发热温度低且响应时间长,并且聚合物与导电材料之间的相互作用较弱容易造成导电材料脱落,从而影响电热膜的发热稳定性和使用寿命。

[0004] 因此,目前急需在低导电材料含量下简单有效地制备极高柔性、低电压、宽发热温度范围、快速响应且力学性能优异的聚合物基复合电热膜。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜,该电热膜具有良好的柔性、宽的发热温度范围、快速响应及优异的耐热型和力学性能,满足在可穿戴热疗、个人热管理、除雾除冰、交通取暖、军用加热设备和人工智能等领域的应用。

[0006] 本发明的另一目的是提供一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法。

[0007] 本发明所采用的第一种技术方案是,一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜,包括银纳米线,银纳米线均匀嵌在芳纶纳米纤维基体表面,芳纶纳米纤维与银纳米线相互连接形成高效导电网络作为电发热载体。

[0008] 本发明所采用的第一种技术方案的特点还在于,

[0009] 芳纶纳米纤维是以对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种为原料,在氢氧化钾和二甲基亚砷混合溶液体系中制备而成,且芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m。

[0010] 银纳米线直径为20~50nm,长径比为500~1000,银纳米线的面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>。

[0011] 芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

[0012] 本发明所采用的第二种技术方案是,一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,具体包括如下步骤:

[0013] 步骤1,将对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,并在室温下搅拌得到深红色芳纶纳米纤维分散液;芳纶纳米纤维分散液中芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;

[0014] 步骤2,将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经超声分散得到银纳米线分散液;

[0015] 步骤3,将步骤1所得芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22~0.45 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;

[0016] 步骤4,向步骤3所得的芳纶纳米纤维薄片上加入步骤2所得银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

[0017] 步骤5,将步骤4所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在60~120 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

[0018] 步骤6,在步骤5所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在60~100 $^{\circ}$ C温度下固化20~60min,即得银纳米线面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>的柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜。

[0019] 本发明第二种技术方案的特点还在于,

[0020] 步骤1中对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维任意一种与氢氧化钾和二甲基亚砷比例为1g:1.5g:500ml。

[0021] 步骤1中的芳纶纳米纤维分散液能够均匀地分散在水中,芳纶纳米纤维分散液的浓度为0.2~2mg/mL。

[0022] 步骤1中搅拌速度为500~1000r/min,搅拌时间为3~7天。

[0023] 步骤2中银纳米线分散液中的银纳米线的浓度为0.5~5mg/mL,且超声处理功率为200~300W,超声处理时间30min。

[0024] 步骤6中所得的芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

[0025] 本发明的有益效果是,本发明以具有纳米尺度结构、大长径比、高耐热和高力学性能的芳纶纳米纤维为基体,赋予芳纶纳米纤维基复合电热膜优异的柔性、耐热性能和力学性能;以银纳米线为导电填料均匀分布于芳纶纳米纤维基体表面并相互连接形成高效导电网络作为电发热载体,从而赋予芳纶纳米纤维基复合电热膜高电导率和高发热温度;同时银纳米线部分嵌入芳纶纳米纤维薄膜中,银纳米线表面的聚乙烯吡咯烷酮与芳纶纳米纤维之间形成强的氢键结构,从而产生良好的界面结合,进一步增强复合电热膜的力学性能。本发明所采用的制备方法简单有效,操作可控性强,可规模化制造且易于商业化生产。所制备的芳纶纳米纤维基复合电热膜具有良好的柔性、宽的发热温度范围、快速响应及优异的耐热性能和力学性能,适合用于可穿戴热疗、个人热管理、除雾除冰、交通取暖、军用加热设备和人工智能等领域。

## 附图说明

[0026] 图1是本发明一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜制备方法的实施例3所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜提供的数码照片；

[0027] 图2是本发明一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜制备方法的实施例3所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜提供的表面电子扫描电镜 (SEM) 图；

[0028] 图3是本发明一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜制备方法的实施例3所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜提供的断面电子扫描电镜 (SEM) 图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0030] 本发明一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜,包括银纳米线,银纳米线均匀嵌入芳纶纳米纤维基体表面,芳纶纳米纤维与银纳米线相互连接形成高效导电网络作为电发热载体。

[0031] 芳纶纳米纤维是以对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种为原料,在氢氧化钾和二甲基亚砷混合溶液体系中制备而成,且芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m。

[0032] 银纳米线直径为20~50nm,长径比为500~1000,银纳米线的面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>。

[0033] 芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

[0034] 本发明一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,具体包括以下步骤:

[0035] 步骤1,将对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维中的任意一种加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,并在室温下搅拌得到深红色芳纶纳米纤维分散液;芳纶纳米纤维分散液中芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;

[0036] 步骤1中对位芳纶纱线纤维、对位芳纶短切纤维、对位芳纶织物纤维任意一种与氢氧化钾和二甲基亚砷比例为1g:1.5g:500ml。

[0037] 芳纶纳米纤维分散液能够均匀地分散在水中,芳纶纳米纤维分散液的浓度为0.2~2mg/mL。步骤1中搅拌速度为500~1000r/min,搅拌时间为3~7天。

[0038] 步骤2,将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经超声分散得到银纳米线分散液;

[0039] 步骤2中银纳米线分散液中的银纳米线的浓度为0.5~5mg/mL,且超声处理功率为200~300W,超声处理时间30min。

[0040] 步骤3,将步骤1所得芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22~0.45 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;

[0041] 步骤4,向步骤3所得的芳纶纳米纤维薄片上加入步骤2所得银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

[0042] 步骤5,将步骤4所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在60~120 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;

[0043] 步骤6,在步骤5所得芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导

电银浆,并在60~100℃温度下固化20~60min,即得银纳米线面密度为0.1~1g/m<sup>2</sup>的柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜。芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1~5MPa。

#### [0044] 实施例1

[0045] 一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,包括如下过程:将对位芳纶纱线纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下,以1000r/min搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10μm;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经200W超声处理30min得到浓度为2.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22μm的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在80℃温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.1g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在70℃温度下固化30min即得柔性芳纶纳米纤维基复合电热膜。所得芳纶纳米纤维基复合电热膜的方阻为390Ω/sq,拉伸强度为211MPa,拉伸模量为2.54GPa,芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为1MPa。

#### [0046] 实施例2

[0047] 一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,包括以下过程:将对位芳纶短切纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下,以800r/min搅拌3天后,加入去离子水得到浓度为0.2mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10μm;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经300W超声处理30min得到浓度为0.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.45μm的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在60℃温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.15g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在60℃温度下固化60min即得柔性芳纶纳米纤维基复合电热膜。所得芳纶纳米纤维基复合电热膜的方阻为135Ω/sq,拉伸强度为235MPa,拉伸模量为3.46GPa,芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为3MPa。

#### [0048] 实施例3

[0049] 一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,包括以下过程:将对位芳纶织物纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下,以500r/min搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10μm;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经200W超声处理30min得到浓度为2.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22μm的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿

芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在80℃温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.3g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在70℃温度下固化30min即得柔性芳纶纳米纤维复合电热膜。所得芳纶纳米纤维复合电热膜的方阻为3.2Ω/sq,拉伸强度为270MPa,拉伸模量为6.19GPa。芳纶纳米纤维复合电热膜的热压压强为5MPa。

[0050] 本实施例所得芳纶纳米纤维复合电热膜的数码照片如图1所示;本实施例所得柔性芳纶纳米纤维复合电热膜的表面和断面电子扫描电镜(SEM)图分别如图2和图3所示。

#### [0051] 实施例4

[0052] 一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,包括以下步骤:将对位芳纶纱线纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下,以500r/min搅拌5天后,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10μm;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经200W超声处理30min得到浓度为2.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22μm的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在80℃温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.4g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在70℃温度下固化20min即得柔性芳纶纳米纤维复合电热膜。所得芳纶纳米纤维复合电热膜的方阻为0.7Ω/sq,拉伸强度为285MPa,拉伸模量为6.51GPa,芳纶纳米纤维复合电热膜的热压压强为2MPa。

#### [0053] 实施例5

[0054] 一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,包括如下过程:将对位芳纶短切纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下,以500r/min搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为1mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10μm;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经250W超声处理30min得到浓度为5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.3μm的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在120℃温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.5g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在100℃温度下固化30min即得柔性芳纶纳米纤维复合电热膜。所得芳纶纳米纤维复合电热膜的方阻为0.4Ω/sq,拉伸强度为253MPa,拉伸模量为6.64GPa,芳纶纳米纤维复合电热膜的热压压强为4MPa。

#### [0055] 实施例6

[0056] 一种柔性高强芳纶纳米纤维复合电热膜的制备方法,包括以下过程:将对位芳纶短切纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室

温下搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为2mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经200W超声处理30min得到浓度为2.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.45 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;向芳纶纳米纤维薄片上加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在80 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为1g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在70 $^{\circ}$ C温度下固化60min即得柔性芳纶纳米纤维基复合电热膜。所得芳纶纳米纤维基复合电热膜的方阻为0.13 $\Omega$ /sq,拉伸强度为245MPa,拉伸模量为7.57GPa,芳纶纳米纤维基复合电热膜的热压压强为2MPa。

[0057] 对比例1

[0058] 一种柔性高强柔性芳纶纳米纤维薄膜的制备方法,包括以下过程:将对位芳纶短切纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到湿芳纶纳米纤维薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维薄膜在80 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到芳纶纳米纤维薄膜。所得芳纶纳米纤维薄膜为绝缘材料,拉伸强度为180MPa,拉伸模量为2.15GPa。

[0059] 对比例2

[0060] 一种柔性高强芳纶纳米纤维基复合电热膜的制备方法,包括以下步骤:将对位芳纶短切纤维加入到氢氧化钾和二甲基亚砷溶液体系中,控制三者比例为1g:1.5g:500mL,室温下搅拌7天后,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,加入去离子水得到浓度为0.5mg/mL的深红色芳纶纳米纤维分散液,芳纶纳米纤维直径为5~20nm,长度为5~10 $\mu$ m;将直径为20~50nm、长径比为500~1000的银纳米线分散到去离子水中,经200W超声处理30min得到浓度为2.5mg/mL的银纳米线分散液;将芳纶纳米纤维分散液通过孔径为0.22 $\mu$ m的尼龙滤膜进行第一次真空辅助抽滤,得到胶体状芳纶纳米纤维薄片;缓慢加入银纳米线分散液进行第二次真空辅助抽滤并使用去离子水清洗,得到湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;将所得湿芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜在80 $^{\circ}$ C温度下热压干燥24h,得到银纳米线面密度为0.3g/m<sup>2</sup>的芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜;在芳纶纳米纤维/银纳米线复合薄膜银纳米线面的两端涂刷导电银浆,并在70 $^{\circ}$ C温度下固化30min即得柔性芳纶纳米纤维基复合电热膜。所得芳纶纳米纤维基复合电热膜的方阻为7.2 $\Omega$ /sq,拉伸强度为203MPa,拉伸模量为4.42GPa。

[0061] 表1所示为制备柔性芳纶纳米纤维基复合电热膜的实施例和比较例,及所制备复合电热膜的方阻、不同施加电压条件下的发热温度及拉伸性能对比。

[0062] 表1

[0063]

材料	银纳米线面 密度 (g/m <sup>2</sup> )	方阻 (Ω/sq)	发热温度 (°C)									拉伸强度 (MPa)	拉伸模量 (GPa)
			0V	0.5 V	1V	1.5 V	2V	2.5 V	3V	4V	5V		
实施例 1	0.1	390	28	—	29	—	30	—	33	38	42	211	2.54
实施例 2	0.15	135	28	—	32	—	41	—	58	79	104	235	3.46
实施例 3	0.3	3.2	28	33	47	72	99	130	—	—	—	270	6.19
实施例 4	0.4	0.7	28	35	55	93	137	180	—	—	—	285	6.51
实施例 5	0.5	0.4	28	36	58	102	153	201	—	—	—	253	6.64
实施例 6	1	0.13	28	38	69	137	186	265	—	—	—	245	7.57
对比例 1	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	2.15
对比例 2	0.3	7.2	28	30	41	58	69	108	—	—	—	203	4.42

[0064] 由表1可见,实施例1~6以芳纶纳米纤维为基体,以银纳米线为负载导电填料,经两步真空辅助抽滤和热压处理得到芳纶纳米纤维/银纳米线复合电热膜,而对比例1芳纶纳米纤维薄膜未负载银纳米线,对比例2未经热压处理。实施例1中银纳米线面密度较低,使电热膜方阻较大,发热温度较低;实施例2~6中银纳米线面密度较大,银纳米线之间相互连接形成高效导电网络结构,使电热膜方阻大大降低,随着银纳米线面密度增大而逐渐减小,且在低电压下具有高的发热温度;与对比例1中的芳纶纳米纤维薄膜和对比例2中的芳纶纳米纤维/银纳米线复合电热膜相比,实施例1~6中的芳纶纳米纤维/银纳米线复合电热膜具有更高的拉伸强度和拉伸模量,保持良好的柔性,且在低施加电压下具有突出的发热性能。

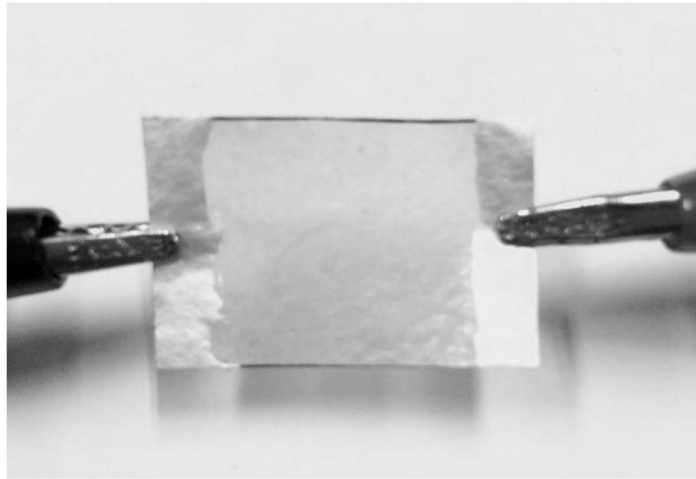


图1

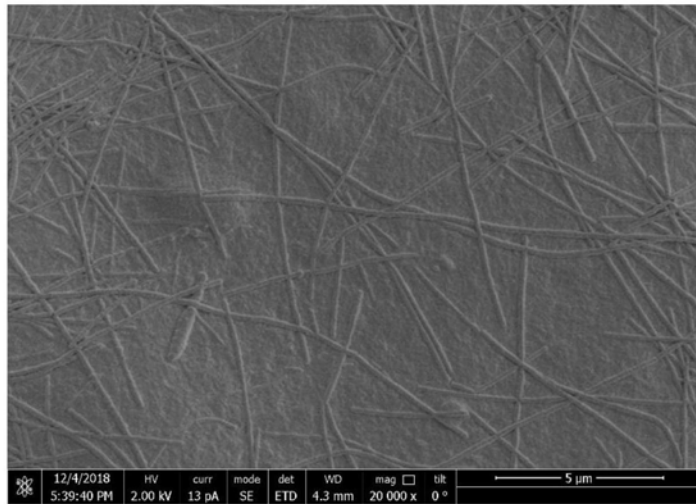


图2

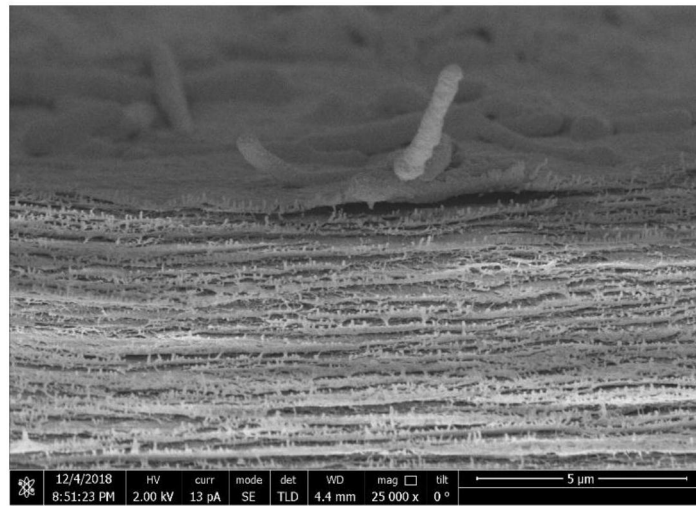


图3