



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103373719 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201210122627. 5

(22) 申请日 2012. 04. 25

(73) 专利权人 北京富纳特创新科技有限公司

地址 100084 北京市海淀区清华大学学研综合楼 B 座 1115 号

(72) 发明人 冯辰 潜力 王昱权 刘亮

(51) Int. Cl.

C01B 31/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101239712 A, 2008. 08. 13, 全文 .

CN 101585533 A, 2009. 11. 25, 全文 .

CN 101823688 A, 2010. 09. 08, 全文 .

CN 101880036 A, 2010. 11. 10, 全文 .

CN 101923912 A, 2010. 12. 22, 全文 .

CN 102086035 A, 2011. 06. 08, 权利要求 1、3、10、18, 说明书 0008、0045 段, 附图 5、10-11.

审查员 王蕾

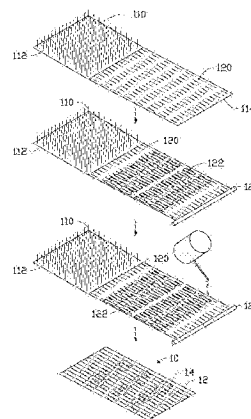
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

碳纳米管膜的制备方法

(57) 摘要

本发明提供一种碳纳米管膜的制备方法, 其包括以下步骤: 提供一初始碳纳米管膜, 该初始碳纳米管膜包括多个碳纳米管, 该多个碳纳米管通过范德华力首尾相连且沿第一方向择优取向延伸; 图案化所述初始碳纳米管膜, 使所述初始碳纳米管膜在所述第一方向上形成至少一行通孔, 且每行上至少有两个间隔设置的通孔; 以及采用溶剂处理所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜, 使该形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜收缩。



1. 一种碳纳米管膜的制备方法,其包括:

提供一初始碳纳米管膜,该初始碳纳米管膜包括多个碳纳米管,该多个碳纳米管通过范德华力首尾相连且沿第一方向择优取向延伸;

图案化所述初始碳纳米管膜,使所述初始碳纳米管膜在所述第一方向上形成至少一行通孔,且每行上至少有两个间隔设置的通孔;以及

采用溶剂处理所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜,使该形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜收缩。

2. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述图案化所述初始碳纳米管膜的方法为:采用激光照射或电子束照射所述初始碳纳米管膜,使该初始碳纳米管膜形成所述多个通孔。

3. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述通孔的形状为四边形、椭圆形、三角形或圆形。

4. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述通孔的形状为长方形、菱形或正方形。

5. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,相邻的通孔之间的间距大于等于 0.1 毫米。

6. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述通孔的有效直径大于等于 0.1 毫米。

7. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述图案化所述初始碳纳米管膜的步骤为:在该初始碳纳米管膜上形成多个间隔设置的通孔,该多个间隔设置的通孔在该初始碳纳米管膜中沿所述第一方向排列成一行。

8. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述图案化所述初始碳纳米管膜的步骤为:在所述初始碳纳米管膜上形成的多个通孔,该多个通孔沿所述第一方向排列成多行排布。

9. 如权利要求 8 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述多个通孔沿一第二方向排列成多列,且位于同一排上的通孔沿第二方向间隔设置,该第二方向与所述第一方向的夹角大于 0 度,且小于等于 90 度。

10. 如权利要求 9 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述通孔在第一方向上的长度大于相邻的通孔在第二方向上的间距。

11. 如权利要求 9 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,在第二方向上相邻的通孔之间的间距大于所述通孔在第二方向上的长度。

12. 如权利要求 8 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述多个通孔在一第二方向上交错排列,且该第二方向与所述第一方向交叉设置。

13. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述采用溶剂处理所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜的方法为:将所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜悬空设置;以及将所述溶剂滴入或喷洒到该形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜的表面。

14. 如权利要求 13 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述溶剂包括水、乙醇、甲醇、丙酮、二氯乙烷或氯仿。

15. 如权利要求 1 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述初始碳纳米管膜通过提供一碳纳米管阵列;以及沿一方向拉伸所述碳纳米管阵列而得到。

16. 如权利要求 15 所述的碳纳米管膜的制备方法,其特征在于,所述图案化所述初始碳纳米管膜的步骤为:先将所述初始碳纳米管膜远离所述碳纳米管阵列的一端固定于一固定体,且使得位于该固定体与所述碳纳米管阵列之间的初始碳纳米管膜悬空设置;然后采用激光照射或电子束照射处理所述悬空设置的初始碳纳米管膜,在该初始碳纳米管膜上形成所述至少一开通孔。

碳纳米管膜的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种碳纳米管膜的制备方法。

背景技术

[0002] 透明导电膜是指对可见光的光透过率较高,电导率高的薄膜。自 1907 年 Badker 报道了通过溅射镉并使之热氧化形成氧化镉制备出透明导电薄膜以来,透明导电薄膜的研究受到普遍重视。随着科学的不断发展,透明导电薄膜在液晶显示、触摸屏、电致变色器件、飞机热窗、除霜玻璃等领域起着重要的作用。

[0003] 目前,常用的透明导电膜氧化铟锡、氧化锌等金属氧化物薄膜,这些透明导电膜的制备方法主要包括蒸发法、溅射法等方法。蒸发法、溅射法属于玻璃深加工方法,设备复杂、成本较高、不适合大规模生产。且,由于采用上述方法形成透明导电膜时,均需经过一个较高的退火过程,对透明导电膜的基底造成损害,无法在熔点较低的基底上形成,限制了透明导电膜的应用。

[0004] 人们研究发现碳纳米管具有优异的导电特性,且人们可以通过从碳纳米管阵列中采用拉伸的方法制备出一种碳纳米管膜,该碳纳米管膜不但具有导电性,而且还具有一定的透光度。但该碳纳米管膜是直接从一碳纳米管阵列中拉取获得的,该碳纳米管膜中的相邻的碳纳米管之间的间隙比较小,从而使得该碳纳米管膜的透光度不够高,不利于该碳纳米管膜的广泛应用。

发明内容

[0005] 有鉴于此,确有必要提供一种制备具有较高透光度的碳纳米管膜的方法。

[0006] 一种碳纳米管膜的制备方法,其包括以下步骤:提供一初始碳纳米管膜,该初始碳纳米管膜包括多个碳纳米管,该多个碳纳米管通过范德华力首尾相连且沿第一方向择优取向延伸;图案化所述初始碳纳米管膜,使所述初始碳纳米管膜在所述第一方向上形成至少一行通孔,且每行上至少有两个间隔设置的通孔;以及采用溶剂处理所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜,使该形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜收缩。

[0007] 与现有技术相比较,由本发明提供的制备方法所得到的碳纳米管膜包括多个间隔设置的碳纳米管线及多个碳纳米管团簇,且该多个碳纳米管团簇通过该多个碳纳米管线隔开,位于相邻的碳纳米管线之间的碳纳米管团簇也是间隔设置的,所以该碳纳米管膜中形成多个孔隙,因此,该碳纳米管膜具有较高的透光度。

附图说明

[0008] 图 1 为本发明提供的碳纳米管膜的制备流程图。

[0009] 图 2 为本发明提供的初始碳纳米管膜的扫描电镜照片。

[0010] 图 3 为本发明提供的形成有一行通孔的初始碳纳米管膜的平面结构示意图。

[0011] 图 4 为本发明提供的形成有多行通孔的初始碳纳米管膜的平面结构示意图。

[0012] 图 5 为本发明第一实施例提供的碳纳米管膜的结构示意图,且该碳纳米管膜中的碳纳米管团簇成阵列排列。

[0013] 图 6 为本发明第一实施例提供的碳纳米管膜的结构示意图,且该碳纳米管膜中的碳纳米管团簇交错排列。

[0014] 图 7 是本发明第一实施例提供的碳纳米管膜的制备工艺流程图。

[0015] 图 8 是本发明第一实施例提供的形成有通孔的初始碳纳米管膜的平面结构示意图。

[0016] 图 9 为图 8 所示的形成有通孔的初始碳纳米管膜的部分光学显微镜照片。

[0017] 图 10 为本发明第一实施例提供的碳纳米管膜的光学显微镜照片。

[0018] 图 11 为本发明第一实施例提供的碳纳米管膜与各种膜的透光度比较图。

[0019] 图 12 是本发明第二实施例提供的碳纳米管膜的结构示意图。

[0020] 图 13 是本发明第二实施例提供的碳纳米管膜的光学显微镜照片。

[0021] 主要元件符号说明

[0022]

碳纳米管膜	10 ;20
碳纳米管阵列	110
基底	112
胶带	114
碳纳米管线	12
初始碳纳米管膜	120
通孔	122
连接部	124
延伸部	126
固定体	128
滴瓶	130
乙醇	132
碳纳米管团簇	14 ;24
第二碳纳米管	242

[0023] 如下具体实施方式将结合上述附图进一步说明本发明。

具体实施方式

[0024] 本发明提供一种碳纳米管膜,该碳纳米管膜包括多个间隔设置的碳纳米管线以及多个碳纳米管团簇,该多个碳纳米管线与多个碳纳米管团簇通过范德华力相互连接。该多个碳纳米管团簇通过该多个碳纳米管线隔开,且位于相邻的两个碳纳米管线之间的碳纳米管团簇间隔设置。

[0025] 所述多个碳纳米管线基本沿第一方向延伸且相互间隔设置。优选地,该多个碳纳米管线平行且等间距设置,该多个碳纳米管线设置于一个平面内。每个碳纳米管线的直径大于等于 0.1 微米,且小于等于 100 微米。优选地,每个碳纳米管线的直径大于等于 5 微米,且小于等于 50 微米。该多个碳纳米管线之间的间隔不限,优选地,相邻的碳纳米管线之间的间距大于 0.1 毫米。所述多个碳纳米管线的直径及间隔可以根据实际需要确定。优选地,该多个碳纳米管线的直径基本相等。每个碳纳米管线包括多个第一碳纳米管,该多个第一碳纳米管基本沿所述第一方向择优取向排列,即,该多个第一碳纳米管沿所述碳纳米管线的轴向择优取向排列。位于所述碳纳米管线的轴向上的相邻的第一碳纳米管通过范德华

力首尾相连。优选地,该多个碳纳米管的轴向基本与该碳纳米管线的轴向平行。其中,所述第一方向基本平行于所述碳纳米管线的轴向及所述第一碳纳米管的轴向。

[0026] 所述多个碳纳米管团簇间隔设置,且搭接于相邻的碳纳米管线之间,使得该碳纳米管膜具有自支撑特性,为一自支撑结构。所谓“自支撑”是指该碳纳米管膜不需要支撑体支撑就可以保持其固有的形状。该多个碳纳米管团簇在第二方向上间隔设置,且通过所述多个碳纳米管线区分开。也可以说,位于该第二方向上的多个碳纳米管团簇通过该多个碳纳米管线连接在一起。位于第二方向上的多个碳纳米管团簇可以交错排列,不成行排列,由此,通过所述多个碳纳米管线连接在第二方向上形成非直线形的导电通路。位于该第二方向上的多个碳纳米管团簇整齐排列成行,通过该多个碳纳米管线形成一连续的直线形导电通路。优选地,该多个碳纳米管团簇在该碳纳米管膜中呈阵列排布。其中,该第二方向与所述第一方向相交设置,优选地,该第二方向与第一方向垂直设置。每个碳纳米管团簇在所述第二方向上的长度基本与与该碳纳米管团簇相连的碳纳米管线的间距相等。所以,该碳纳米管团簇在第二方向上的长度优选地大于 0.1 毫米。另外,位于相邻的碳纳米管线之间的多个碳纳米管团簇间隔设置,即,该多个碳纳米管团簇在所述第一方向上间隔设置。优选地,相邻的碳纳米管团簇在第一方向上的间距大于等于 1 毫米。

[0027] 所述碳纳米管团簇包括多个第二碳纳米管,该多个第二碳纳米管通过范德华力相互作用在一起。该多个第二碳纳米管的轴向可以基本平行于所述第一方向,即,该多个第二碳纳米管的轴向可以基本平行于所述碳纳米管线的轴向。该多个第二碳纳米管的轴向也可以与所述第一方向相交设置,因此,该碳纳米管团簇中的第二碳纳米管可以交叉设置形成网状结构。

[0028] 由此可见,所述碳纳米管膜包括多个碳纳米管,该多个碳纳米管分别形成所述多个碳纳米管线及多个碳纳米管团簇。优选地,该碳纳米管膜仅由碳纳米管组成。该碳纳米管膜还包括多个孔隙,该多个孔隙主要是由该碳纳米管膜中的多个碳纳米管线及多个碳纳米管团簇间隔设置形成的。所以,当该多个碳纳米管线及多个碳纳米管团簇有规率排列时,该多个孔隙也有规律排列。如,当所述多个碳纳米管团簇及碳纳米管线呈阵列排布时,该多个孔隙也会随之呈阵列排布。该碳纳米管膜中的碳纳米管线与碳纳米管团簇的面积之和与所述多个孔隙的面积比值大于 0,且小于等于 1 : 19。也可以说,该碳纳米管膜中的多个碳纳米管与所述多个孔隙的面积比大于 0,且小于等于 1 : 19。优选地,该碳纳米管膜中的碳纳米管的面积与该多个孔隙的面积比大于 0,且小于等于 1 : 49。所以,该碳纳米管膜的透光度大于等于 95%,优选地,该碳纳米管膜的透光度大于等于 98%。该多个碳纳米管线沿第一方向延伸,从而使得该碳纳米管膜在第一方向上形成一第一导电通路;该多个碳纳米管团簇可以在第二方向上形成一第二导电通路;从而使得该碳纳米管膜为导电异向性膜,且在第一方向及第二方向上具有不同的导电异向性。该碳纳米管膜在第二方向上的电阻与其在第一方向上的电阻的比值大于等于 10。优选地,该碳纳米管膜在第二方向上的电阻大于等于其在第一方向上的电阻的 20 倍。如,该碳纳米管膜在第二方向上的电阻可以高于其在第一方向上的电阻的 50 倍。另外,该碳纳米管膜中的碳纳米管线通过其中的碳纳米管团簇连接一起,从而使得该碳纳米管膜具有较好的强度及稳定性,不易破坏。

[0029] 需要说明的是,该碳纳米管膜中的碳纳米管线及碳纳米管团簇的周围还存在有少量的碳纳米管,但这些碳纳米管的存在基本上不会影响该碳纳米管膜的性质。

[0030] 请参阅图 1, 本发明上述碳纳米管膜的制备方法包括以下步骤:

[0031] S10, 提供一初始碳纳米管膜, 该初始碳纳米管膜包括多个碳纳米管, 该多个碳纳米管通过范德华力首尾相连且沿第一方向择优取向延伸;

[0032] S20, 图案化所述初始碳纳米管膜, 使所述初始碳纳米管膜在所述第一方向上形成至少一行通孔, 且每行上至少有两个间隔设置的通孔; 以及

[0033] S30, 采用溶剂处理所述形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜, 使该形成有至少一行通孔的初始碳纳米管膜收缩。

[0034] 请参阅图 2, 步骤 S10 中的初始碳纳米管膜中的碳纳米管沿第一方向择优取向延伸。该初始碳纳米管膜可以通过从一碳纳米管阵列中拉伸而获得。具体地, 该初始碳纳米管膜的制备方法包括以下步骤: S11, 提供一碳纳米管阵列, 且该碳纳米管阵列包括多个彼此平行的碳纳米管; 以及 S12, 从所述碳纳米管阵列中选定一定宽度的碳纳米管片段, 并拉取该具有一定宽度的碳纳米管片段得到所述初始碳纳米管膜。

[0035] 其中, 优选地, 所述碳纳米管阵列为超顺排碳纳米管阵列, 即该碳纳米管阵列包括多个基本相互平行的碳纳米管。该碳纳米管阵列形成于一基底, 且该碳纳米管阵列中的碳纳米管基本垂直于该基底。在上述拉伸过程中, 该碳纳米管阵列中的选定的碳纳米管在拉力作用下沿拉伸方向逐渐脱离基底的同时, 由于范德华力作用, 该选定的碳纳米管分别与碳纳米管阵列中的其他碳纳米管通过范德华力首尾相连地连续地被拉出形成所述初始碳纳米管膜。该初始碳纳米管膜中的碳纳米管的延伸方向基本平行于碳纳米管膜的拉伸方向。因此, 该初始碳纳米管膜是由碳纳米管组成, 且通过碳纳米管之间的范德华力的作用, 使得该初始碳纳米管膜具有自支撑特性, 为一自支撑膜。该初始碳纳米管膜中的碳纳米管之间会形成多个微孔, 该微孔的有效直径小于 100 纳米。

[0036] 所述步骤 S20 对初始碳纳米管膜进行图案化处理的目的是在所述初始碳纳米管膜上沿第一方向上形成成行排列且间隔设置的通孔。该步骤可以采用激光照射处理或电子束照射处理等方法在所述初始碳纳米管膜上形成所述多个通孔。当该步骤 S20 采用激光照射法对该预制碳纳米管进行图案化处理时, 该步骤 S20 具体可以包括以下分步骤: 首先, 提供一激光器, 该激光器的激光束的照射路径可通过电脑程序控制。其次, 将所述待形成多个通孔的碳纳米管膜的形状输入电脑程序中, 以便控制激光器中的激光束的照射路径, 在所述初始碳纳米管膜上烧蚀形成多个通孔。然后, 开启激光器, 采用激光束照射所述初始碳纳米管膜, 在该初始碳纳米管膜上形成所述多个通孔。可以理解, 还可以通过固定激光束, 移动所述初始碳纳米管膜使激光束照射该初始碳纳米管膜的表面, 控制该初始碳纳米管膜的运动路径, 在该初始碳纳米管膜上烧蚀形成多个通孔。其中, 所述激光束的功率密度为 10000-100000 瓦 / 平方毫米, 扫描速度为 800-1500 毫米 / 秒。优选地, 该激光束的功率密度为 70000-80000 瓦 / 平方毫米, 扫描速度为 1000-1200 毫米 / 秒。

[0037] 所述步骤 S20 中形成的通孔的形状可以为四边形、圆形、椭圆形或三角形等图形。优选地, 该四边形具有至少一对平行边, 如, 平行四边形、梯形、长方形、菱形等。更优选地, 该通孔的形成为长方形。当长方形的宽度比较小时, 可以认为该长方形为一直线, 即可以认为该通孔的形状为直线形。所述通孔的有效直径大于所述初始碳纳米管膜中的微孔的有效直径。优选地, 该通孔的有效直径大于等于 0.1 毫米。相邻的通孔之间的间距大于所述初始碳纳米管膜中的微孔的有效直径。优选地, 该相邻通孔之间的间距大于等于 0.1 毫米。所

述通孔的形状、有效直径以及相邻的通孔之间的间距可以根据实际需要确定。

[0038] 该步骤 S20 中对所述初始碳纳米管膜进行图案化处理,在该初始碳纳米管膜上形成的通孔可以按照下面的几种方式分布:

[0039] (1) 请参阅图 3,在所述初始碳纳米管膜 120 上形成多个间隔设置的通孔 122,该多个间隔设置的通孔 122 在该初始碳纳米管膜中沿所述第一方向 X 排列成一行。其中,该第一方向 X 基本平行于该初始碳纳米管膜 120 中的碳纳米管的轴向延伸方向。该多个通孔将该初始碳纳米管膜 120 分成多个连接部 124 以及两个延伸部 126,该初始碳纳米管膜的连接部 124 为同一行中相邻的通孔 122 之间的部分,也就是说,该初始碳纳米管膜 120 的连接部 124 间隔设置且通过通孔 122 隔开,并与该多个通孔 122 交替排布。该初始碳纳米管膜 120 的两个延伸部 126 指的是该初始碳纳米管膜 120 中除了所述连接部 124 外的其它部分,且分别位于所述多个连接部 124 的两侧。也可以说,在与第一方向 X 相交的第二方向 Y 上,该两个延伸部 126 通过该多个连接部 124 隔开。所以,该多个连接部 124 与两个延伸部 126 是一体结构,该两个延伸部 126 通过该多个连接部 124 连接在一起。优选地,该第二方向 Y 垂直于第一方向 X。每个延伸部 126 基本沿所述第一方向 X 连续延伸。

[0040] (2) 请参阅图 4,在所述初始碳纳米管膜 120 上形成多个通孔 122,该多个通孔 122 沿所述第一方向 X 排列成多行,且位于同一行中的通孔 122 沿所述第一方向 X 间隔排列。该多个通孔 122 在所述第二方向 Y 上可以交错设置。所谓“交错设置”指的是,该多个通孔 122 在第二方向 Y 上没有成列排布。可以理解,所述多个通孔 122 也可以沿该第二方向 Y 排列成多列,且位于同一列上的通孔 122 沿该第二方向 Y 间隔排列,所以,该多个通孔 122 呈阵列状,行列排布。即,该多个通孔 122 在该初始碳纳米管膜 120 上排列成多行多列。

[0041] 该多个通孔 122 将该初始碳纳米管膜 120 分成多个连接部 124 及多个延伸部 126。该多个连接部 124 位于同一行中相邻的通孔 122 之间,该多个连接部 124 的排列方式与该多个通孔 122 的排列方式相同,同一行的连接部 124 沿第一方向 X 间隔设置,并通过同一行的通孔 122 隔开。每个连接部 124 在第二方向 Y 上的长度等于其相邻的通孔 122 在第二方向 Y 上的长度,每个连接部 124 沿第一方向上的长度基本等于与其位于同一行并与其相邻的两个通孔 122 之间的间距。所述多个延伸部 126 在第一方向 X 上是一连续的整体,且位于相邻行的通孔 122 及所述初始碳纳米管膜 120 的连接部 124 之间。每个延伸部 126 在第二方向 Y 上的长度为其相邻两行的通孔 122 在第二方向 Y 上的间距,且将与其相邻的两行中的多个连接部 124 隔开。同样地,该多个连接部 124 与该多个延伸部 126 为一体结构,该多个延伸部 126 通过该多个连接部 124 连接在一起。优选地,每个通孔 122 在第一方向 X 上的有效长度大于其相邻的通孔 122 在第二方向 Y 上的间距。

[0042] 需要说明的是,本文所谓的“位于同一行的通孔”指的是至少有一条基本平行于所述第一方向 X 的直线可以同时贯穿该位于同一行中的通孔;本文中所谓的“位于同一列中的通孔”指的是至少有一条基本平行于所述第二方向 Y 的直线可以同时贯穿该位于同一列中的通孔。所述初始碳纳米管膜 120 中的连接部 124 的排列方式与该初始碳纳米管膜中的通孔的排列方式基本相同。由于受到制备工艺的影响,每个通孔的周围可能会有少量碳纳米管毛刺存在,从而使得通孔的边缘存在参差不齐的现象。

[0043] 在步骤 S30 中,所述图案化的初始碳纳米管膜优选地悬空设置。该步骤 S30 可以为,将所述溶剂滴落或喷洒在悬空设置的形成有多个通孔的初始碳纳米管膜的表面,以

浸润该具有至少一行通孔的初始碳纳米管膜,使该具有至少一行通孔的初始碳纳米管膜收缩。由于该初始碳纳米管膜中的每个延伸部中的碳纳米管首尾相邻且基本沿第一方向排列,且每个延伸部在第一方向上为一个连续的整体,所以,在表面张力的作用下,该初始碳纳米管膜中的多个延伸部收缩分别形成多个碳纳米管线,也就是说,该初始碳纳米管膜的每个延伸部向其中心收缩形成一个碳纳米管线,同时使得位于该延伸部两侧的通孔的有效直径增大,从而形成多个间隔设置的碳纳米管线。同时,每个延伸部在收缩成碳纳米管线的过程中会对其邻近的连接部产生一个拉力,使得该连接部形成所述碳纳米管团簇,从而形成所述碳纳米管膜,使得该碳纳米管膜包括多个间隔的碳纳米管线,及被该多个碳纳米管线隔开的多个碳纳米管团簇。因此,该碳纳米管膜中相邻的碳纳米管线之间的间距大于其对应的初始碳纳米管膜上相邻的延伸部之间夹持的通孔在第二方向上的长度,大于 0.1 毫米;且每个碳纳米管线由多个通过范德华力首尾相连且基本沿同一方向延伸的碳纳米管构成,该多个碳纳米管基本沿第一方向延伸。该多个碳纳米管团簇将相邻的碳纳米管线通过范德华力连接在一起形成所述碳纳米管膜。

[0044] 根据所述溶剂的挥发性的不同,该溶剂对所述初始碳纳米管膜的表面张力也不同,该初始碳纳米管膜的延伸部在收缩成碳纳米管线的过程中对其相邻的连接部产生的拉力的大小也不同,从而使得该初始碳纳米管膜的连接部中的碳纳米管的排列方式不同,进而使得所述碳纳米管团簇的结构也不同。

[0045] 当所述溶剂为有机溶剂,乙醇、甲醇、丙酮、二氯乙烷或氯仿等具有较高挥发性的溶剂时,对该初始碳纳米管膜的表面张力就比较大,该初始碳纳米管膜的延伸部在收缩成碳纳米管线的过程中对其相邻的连接部产生的拉力就比较大,可以使得该连接部中的碳纳米管的由基本沿第一方向延伸转变为与该第一方向相交的方向延伸,形成第二碳纳米管;同时在表面张力的作用下,每个连接部中的碳纳米管会收缩形成一网状结构,该网状结构即为所述碳纳米管团簇。所以,该多个连接部形成多个具有网状结构的碳纳米管团簇。优选地,该第二碳纳米管的轴向与所述第一方向具有较大的第一夹角,且该第一夹角大于等于 45 度,且小于等于 90 度。

[0046] 当所述溶剂为水,或具有一定浓度的水与有机溶剂的混合溶液时,该溶剂对该初始碳纳米管膜的表面张力相对比较小,该初始碳纳米管膜的延伸部在收缩成碳纳米管线的过程中对其相邻的连接部产生的拉力相对比较小,对该初始碳纳米管膜的连接部中的碳纳米管的拉力就相对比较小,从而使得该多个连接部中的碳纳米管的轴向基本不发生改变或改变较小,形成多个碳纳米管团簇,此时,该碳纳米管团簇中的碳纳米管的轴向基本平行于所述碳纳米管线中的碳纳米管的轴向及所述第一方向,或该碳纳米管团簇中的碳纳米管的轴向与该碳纳米管线中的碳纳米管及第一方向具有较小的第二夹角,且该第二夹角小于等于 30 度。优选地,该夹角小于等于 15 度。如,当溶剂为水时,所述初始碳纳米管膜的连接部中的碳纳米管的排列方向基本不发生改变,从而使得该碳纳米管团簇中的碳纳米管的排列方向基本平行于所述第一方向。

[0047] 可以理解,当步骤 S20 中的通孔呈多行排布时,在所述碳纳米管膜中,由所述初始碳纳米管膜的延伸部形成的多个碳纳米管线基本平行设置。另,当该初始碳纳米管膜中的通孔呈多行多列排布时,所述初始碳纳米管膜中的多个延伸部会形成多个碳纳米管线,该多个碳纳米管线沿第一方向轴向延伸,且沿第二方向相互平行且间隔设置;且该初始碳纳

米管膜中的多个连接部会形成多个碳纳米管团簇,该碳纳米管团簇会沿着所述第二方向通过所述碳纳米管线搭接在一起,且沿第一方向间隔设置。所以,此时,该碳纳米管膜中的多个碳纳米管线相互平行地沿第一方向延伸且沿第二方向间隔设置,形成多个间隔设置的第一导电通路;该碳纳米管膜中的多个碳纳米管团簇沿所述第一方向间隔设置,并沿所述第二方向通过碳纳米管线连接形成所述多个间隔设置的第二导电通路。

[0048] 可以理解,通过控制沿第二方向排列的通孔之间的间距以及通孔的形状可以控制所述碳纳米管线的直径;通过控制位于第二方向上的相邻通孔之间的间距以及通孔的宽度可以控制相邻的碳纳米管线之间的间距。当所述通孔为长方形,该通孔的在第二方向的长度分别相等,且位于同一列上的相邻通孔之间的间距相等时,所述多个碳纳米管线的直径相等,且相邻的碳纳米管线之间的间距也相等;进一步,当该多个通孔的在第一方向的长度分别相等,所述多个碳纳米管团簇基本沿第二方向排列,甚至该多个碳纳米管团簇的形状基本相同。因此,本发明提供的碳纳米管膜的制备方法可以有效地、简单地控制其中的碳纳米管线之间的间距及碳纳米管线的直径。

[0049] 在其它条件相同,在第一方向上的通孔数量基本不影响所述碳纳米管膜在第一方向上的电阻。在第一方向上的通孔数量越多,所述碳纳米管膜在第二方向上的电阻可能就越高;在第二方向上的通孔数量越少,该碳纳米管膜在第二方向上的电阻可能就越低。在其它条件相同,在第二方向上的通孔数量基本不影响该碳纳米管膜在第二方向上的电阻。在第二方向上的通孔数量越多,所述碳纳米管膜在第一方向上的电阻就越高;当第二方向上的通孔数量越少,所述碳纳米管膜在第一方向上的电阻就越低。因此,可以通过调整所述通孔的数量来改变所述碳纳米管膜的电阻,尤其是改变该碳纳米管膜的导电异向性,也就是说,可以根据对所述碳纳米管膜的电阻的需求来进行步骤 S20。

[0050] 需要说明的是,通孔的相关参数影响该碳纳米管膜的导电性。其中,假定所述初始碳纳米管膜上的通孔均匀分布,且每个通孔为长方形,每个通孔在第一方向上的长度为 a ,每个通孔在第二方向上的长度为 b ,相邻的通孔在第一方向上的间距为 c ,相邻的通孔在第二方向上的间距为 d 。优选地,参数 a 大于参数 d 。其中,所述参数 b 相对于参数 a 相当小时,参数 b 可以认为是 0,该通孔可以被认为直线。具体地,通孔的相关参数对碳纳米管膜的电阻及导电异向性的影响如下:

[0051] (1) 当通孔的参数 c 和 d 固定,改变参数 a 和 b 时,该碳纳米管膜在第二方向与第一方向上的电阻的比值随着参数 a 和 b 的比值(a/b)的增大而变大。也就是说,该碳纳米管膜的导电异向性与参数 a 和 b 的比值成正比。

[0052] (2) 当通孔的参数 a 和 c 固定,改变参数 b 和 d 时,该碳纳米管膜在第一方向的电阻基本随着参数 b 与 d 的比值(b/d)的增大而变大。

[0053] (3) 当通孔的参数 b 和 d 固定,改变参数 a 和 c 时,该碳纳米管膜在第二方向上的电阻随着参数 a 与参数 c 的比值(a/c)增大而增大;另,可以通过减小参数 a 与 c 的比值的方法来提高该碳纳米管膜的导电异向性。

[0054] 可以理解,所述步骤 S20 中的初始碳纳米管膜在图案化处理之前,应该事先固定该初始碳纳米管膜,优选地,将该初始碳纳米管膜是悬空设置的。如,当该初始碳纳米管膜直接从一碳纳米管阵列中拉取获得时,可以先固定该初始碳纳米管膜远离该碳纳米管阵列的一端于一固定体,然后再图案化处理该初始碳纳米管膜形成所述多个通孔,之后再有用有

机溶剂处理该图案化的初始碳纳米管膜。另外,当收集该碳纳米管膜时,尤其是采用一可转动的收集轴收集该碳纳米管膜时,转动该收集轴,可以一边将制备好的碳纳米管膜收集在该收集轴上,一边不断的从所述碳纳米管阵列中拉取获得所述预制的碳纳米管膜,从而可以实现自动化生产所述碳纳米管膜。

[0055] 下面将以具体实施例进一步说明本发明提供的碳纳米管膜及其制备方法。

[0056] 请参阅图 5,本发明第一实施例提供一碳纳米管膜 10,该碳纳米管膜 10 为一自支撑结构,且包括多个碳纳米管线 12 以及多个碳纳米管团簇 14,该多个碳纳米管团簇 14 通过范德华力搭接于相邻的碳纳米管线 12 之间,且该多个碳纳米管线 12 隔开。

[0057] 该多个碳纳米管线 12 沿第二方向 Y 基本相互平行且并排间隔设置,该多个碳纳米管线 12 的轴向基本沿第一方向 X 延伸,形成一第一导电通路。其中,第二方向 Y 垂直于第一方向 X。每个碳纳米管线 12 由多个通过范德华力首尾相连且沿第一方向 X 排列的碳纳米管构成。每个碳纳米管线的直径大约为 10 微米。且相邻的碳纳米管线 12 之间的间距大于 1 毫米。

[0058] 该多个碳纳米管团簇 14 呈阵列排列。具体地,该多个碳纳米管团簇 14 沿第一方向 X 间隔设置,且在第二方向 Y 上成行整齐排列并通过该多个碳纳米管线 12 连接形成直线形第二导电通路。每个碳纳米管团簇 14 中的碳纳米管交叉设置形成网状结构。每个碳纳米管团簇中的碳纳米管的轴向延伸方向与第一方向 X 相交,且夹角大于等于 60 度,且小于等于 90 度。

[0059] 另,在第一方向上相邻的碳纳米管团簇 14 之间以及碳纳米管线 12 的周围都存在少量的碳纳米管。也就是说,该碳纳米管膜 10 中也存在有少量的无规则排列的碳纳米管。

[0060] 由此可见,该碳纳米管膜 10 在第一方向 X 及第二方向 Y 上的性质不同,尤其是其在该两个方向上具有较好的导电异性。该碳纳米管膜 10 在第二方向 Y 上的电阻大约为其在第一方向 X 上的电阻的 50 倍。该碳纳米管膜 10 也具有较高的透光度,其透光度在可见光区达到 98.43%。

[0061] 可以理解,本发明提供的碳纳米管膜 10 中的碳纳米管团簇 14 在第二方向上也可以交错排列,如图 6 所示。

[0062] 请参阅图 7,本发明第一实施例提供上述碳纳米管膜 10 的制备方法,该碳纳米管膜 10 的制备方法包括以下步骤:

[0063] 提供一碳纳米管阵列 110,该碳纳米管阵列 110 生长于一基底 112,采用一胶带 114 从该碳纳米管阵列 110 中拉伸出一初始碳纳米管膜 120,该初始碳纳米管膜 120 包括多个碳纳米管,该多个碳纳米管通过范德华力首尾相连且沿同一方向排列。其中,该初始碳纳米管膜 120 中的碳纳米管的延伸方向为第一方向 X。

[0064] 移除所述胶带 114,并将所述初始碳纳米管膜 120 远离所述碳纳米管阵列 110 的一端于一固定体 128,同时,保证位于该固定体 128 及碳纳米管阵列 110 之间的初始碳纳米管膜 120 悬空设置;然后,采用功率密度大约为 70000 瓦/平方毫米,扫描速度大约为 1100 毫米/秒的激光束对该初始碳纳米管膜 120 进行图案化处理,在该初始碳纳米管膜 120 上形成多个长方形的通孔 122,该多个通孔 122 均匀分布且排列成多行多列,并将该初始碳纳米管膜 120 分成多个连接部 124 及多个延伸部 126,如图 8 及图 9 所示。该多个连接部 124 的排列方式基本与所述多个通孔 122 的排列方式一样,呈阵列状、多行多列排布。其中,该

多个通孔 122 沿第一方向 X 及第二方向 Y 上的间距均为 1 毫米,每个通孔 122 沿第一方向 X 的长度大约为 3 毫米,每个通孔 122 沿第二方向 Y 的长度大约为 1 毫米;该多个通孔 122 的参数 a、b、c、d 分别为 3 毫米、1 毫米、1 毫米、1 毫米。因此,该初始碳纳米管膜 120 的连接部 124 沿第二方向 Y 的长度基本为 1 毫米,沿第一方向 X 的长度基本为 1 毫米。该初始碳纳米管膜 120 的延伸部 126 沿第二方向 Y 的长度等于位于同一列上的相邻的两个通孔 122 在第二方向 Y 上的长度,所以,该延伸部 126 沿第二方向 Y 上的长度基本为 1 毫米。

[0065] 将一滴瓶 130 放置于所述经过激光处理的初始碳纳米管膜 120 的上方,乙醇 132 从该滴瓶 130 滴落于该经过激光处理的初始碳纳米管膜 120 的表面。在表面张力的作用下,所述初始碳纳米管膜 120 的每个延伸部 126 在其中间位置形成碳纳米管线 12。同时,该初始碳纳米管膜 120 的延伸部 126 的收缩会对该连接部 124 产生一拉力,使得该连接部 124 中的大部分碳纳米管由沿第一方向排列变为沿与该第一方向相交的方向排列;同时在该多个连接部 124 自身的表面张力的作用下,该多个连接部 124 形成多个碳纳米管团簇 14,且该多个碳纳米管团簇 14 沿第二方向通过所述多个碳纳米管线连接,且沿第一方向间隔设置。由此形成所述碳纳米管膜 10。

[0066] 由于激光在处理初始碳纳米管膜 120 形成通孔 122 的过程中,该初始碳纳米管膜 120 中的通孔 122 的边缘受激光自身条件的限制,该通孔 122 的边缘可能会参差不齐。所以,经过溶剂处理后,得到的碳纳米管膜 10 中的碳纳米管线 12 及碳纳米管团簇 14 的周围可能有少量的不规则排列的碳纳米管存在,如,图 10 所示的该碳纳米管膜 10 的显微镜照片。

[0067] 可以理解,当所述通孔如图 4 所示的在第二方向 Y 上交错排列时,最终制备得到的碳纳米管膜中的碳纳米管团簇也会交错排列,就如同图 6 所示的碳纳米管膜。

[0068] 该碳纳米管膜 10 具有较好的透光度及电导率。本实施例通过测量样品 1—初始碳纳米管膜 120、样品 2—激光处理的初始碳纳米管膜 120 (激光处理的初始碳纳米管膜指的是上述经过激光处理形成有多个通孔 122 的初始碳纳米管膜 120)、样品 3—酒精处理的初始碳纳米管膜 120 以及样品 4—所述碳纳米管膜 10 的透光度以及用他们在第一方向 X 及第二方向 Y 上的电阻来表示各个样品的导电各向异性。该碳纳米管膜 10 的电阻及各个波长下的透光度,具体如下表所示。其中,下表 1 中的各个样品的电阻是通过将各个样品固定在 PET 片上并制成 3 毫米 × 3 毫米的方块而测得的,其中并未测定样品 3 的电阻,且各个样品是通过将体积比为 1 : 1 的 UV 胶与乙酸丁酯的混合溶液涂覆在 PET 片上来实现固定在 PET 片上的。各个样品的透光度在各个样品在悬空状态下测得的。

[0069] 表 1 各种膜的电阻及透光度

[0070]

样 品	电阻		不同波长下的透光度/%							
	第一方向 (X)	第二方向 (Y)	370 nm	450 nm	500 nm	550 nm	600 nm	650 nm	700 nm	750 nm
1	1.245 千欧	108.0 千欧	76.98	79.17	80.31	81.2	81.88	82.46	82.92	83.32
2	2.00 千欧	160.5 千欧	80.39	83.03	84.01	84.73	85.27	85.78	86.14	86.51
3	---	---	84.98	86.33	86.81	87.29	87.62	87.92	88.18	88.29
4	3.23 千欧	163.3 千欧	98.43	98.42	98.41	98.43	98.40	98.45	98.42	98.38

[0071] 从上表可以看出所述碳纳米管膜 10 在各个方向上的电阻虽然比所述初始碳纳米管膜 120 及激光处理过的初始碳纳米管膜的电阻大,但该碳纳米管膜 10 仍是一个导电异向性膜,且其在两个方向上的电阻仍相差 50 倍以上。请参阅图 11 及上表 1,样品 4 在各个波长下的透光度均大于样品 2 及样品 3 的透光度,所以所述碳纳米管膜 10 在各个波长下的透光度均优于所述初始碳纳米管膜 120 及激光处理过的初始碳纳米管膜的透光度。另,在各个波长下,样品 4 的透光度接近样品 1 的透光度,这说明该碳纳米管膜 10 具有比较高的透光度。经过分析计算,可以发现,该碳纳米管膜 10 在可见光区的透光度可以达到 98% 以上。

[0072] 请参阅图 12,本发明第二实施例提供一碳纳米管膜 20,该碳纳米管膜 20 包括多个碳纳米管线 12 及多个碳纳米管团簇 24。该多个碳纳米管线 12 及多个碳纳米管团簇 24 呈阵列排列。该碳纳米管膜 20 的结构与第一实施例提供的碳纳米管膜 10 的结构基本相同,不同之处在于:每个碳纳米管团簇 24 包括多个第二碳纳米管 242,该多个第二碳纳米管 242 的轴向延伸方向基本平行于所述碳纳米管线 12 的延伸方向。也就是说,该碳纳米管膜 20 中的碳纳米管基本沿同一方向择优取向排列。由于该碳纳米管膜 20 在制备过程中存在误差,所以该碳纳米管膜 20 的碳纳米管线 12 及碳纳米管团簇 24 的周围有少量的碳纳米管存在。该碳纳米管膜 20 的具体结构可参见图 13 所示的显微镜照片。

[0073] 该碳纳米管膜 20 的制备方法与第一实施例提供的碳纳米管膜 10 的制备方法基本相同,不同之处在于:该碳纳米管膜 20 是采用水作为溶剂来处理形成有通孔的初始碳纳米管膜的。

[0074] 由于形成在初始碳纳米管膜上的通孔的相关参数 a、b、c 和 d 对所述碳纳米管膜的各种性能有影响,上述各参数对所述碳纳米管膜的影响下面的实验进行比较,下面的各实验中,多个通孔呈阵列状均匀分布在所述初始碳纳米管膜的表面。

[0075] (一) 在通孔的参数 a 和 c 固定的条件下,参数 b 和 d 对本发明提供的碳纳米管膜的影响

[0076] 实验条件为:首先,对所述初始碳纳米管膜进行不同的处理。然后,将 6636 与乙酸丁酯溶剂按照体积比为 1 : 1 的比例进行混合;再与 UV 胶进行混合形成一混合溶液;将该混合有 UV 胶的溶液涂覆在 PET 片上;然后,将经过不同处理的初始碳纳米管膜固定在 PET 片上以得到本次实验的样品,并制成 3 毫米 × 3 毫米的方块,用于测量其电阻。其中,各样品分别两次测量其透光度。具体实验条件及结果参见表 2,表 2 中的透光度指的是各样品在

波长为 550 纳米时的透光度;平行电阻—各样品平行于其中的碳纳米管的延伸方向上的电阻也就是第一方向上的电阻;垂直电阻即平行于其中的碳纳米管的延伸方向的电阻,也就是第二方向上的电阻。

[0077] 表 2

[0078]

样品	参数(毫米)				处理条件	平行电阻	垂直电阻	透光度%	
	a	b	c	d					
1	3	0.9	1	0.6	激光处理	3.2 千欧	118.5 千欧	80.84	81.51
2					激光处理后酒精处理	2.07 千欧	46.9 千欧	89.68	89.11
3	3	0.7	1	0.8	激光处理	2.1 千欧	90.4 千欧	79.47	79.43
4					激光处理后酒精处理	1648 欧	50.1 千欧	90.11	89.26
5	3	0.5	1	1	激光处理	1862 欧	92.6 千欧	78.63	77.97
6					激光处理后酒精处理	1712 欧	74.9 千欧	89.33	90.33
7	3	0.3	1	1.2	激光处理	1510 欧	103.6 千欧	78.48	79
8					激光处理后酒精处理	1283 欧	-----	89.79	90.1
9	-----	-----	-----	-----	初始碳纳米管膜	964 欧	33.8 千欧	73	73.81

[0079] 注:固化有 UV 胶的 PET 片在波长为 550 纳米时的透光度为 91.40%。

[0080] 表 2 可以证明:(1)所述初始碳纳米管膜在经过激光处理之后,再经过溶剂收缩得到的所述碳纳米管膜,也就是本发明提供的碳纳米管膜,可以较大程度的提高碳纳米管膜的透光度。(2)在通孔的参数 a 和 c 固定,改变参数 b 和 d 时,样品 1-8 的平行电阻随着参数 b 与 d 的比值(b/d)的增大而变大,与样品是否经过溶剂收缩无关。优选地,参数 b 与 d 的比值小于等于 2,且平行电阻大于等于 1 千欧。(3)在通孔的参数 a 和 c 固定,改变参数 b 和 d 时,本发明提供的碳纳米管膜由于受到溶剂收缩的影响,其垂直电阻相对于仅采用激光处理的碳纳米管膜的垂直电阻有较大幅度的降低,由此,使得本发明提供的碳纳米管膜的导电异向性相对于其他条件下的碳纳米管膜的导电异向性下降。(4)本发明提供的碳纳米管膜可在电阻最小程度的增加的情况下,提高其透光度。

[0081] (二)在通孔的参数 b 和 d 固定的条件下,参数 a 和 c 对本发明提供的碳纳米管膜的影响

[0082] 实验条件为:首先,对所述初始碳纳米管膜进行不同的处理。然后,将 6636 与乙酸丁酯溶剂按照体积比为 1 : 1 的比例进行混合;再与 UV 胶进行混合形成一混合溶液;将该混合有 UV 胶的溶液涂覆在 PET 片上;然后,将经过不同处理的初始碳纳米管膜固定在 PET

片上以得到本次实验的样品,并制成 3 毫米 ×3 毫米的方块,用于测量其电阻。其中,各样品分别两次测量其透光度。具体实验条件及结果参见表 3,表 3 中的透光度指的是各样品在波长为 550 纳米时的透光度;平行电阻—各样品平行于其中的碳纳米管的延伸方向上的电阻也就是第一方向上的电阻;垂直电阻即平行于其中的碳纳米管的延伸方向的电阻,也就是第二方向上的电阻。

[0083] 表 3

[0084]

样品	参数(毫米)				处理条件	平行电阻	垂直电阻	透光度%	
	a	b	c	d					
1	3	0.5	1	1	激光处理	1774 欧	118.4 千欧	79.39	79.34
2					激光处理后酒精处理	1656 欧	88.8 千欧	90.01	90.10
3	2.5	0.5	1.5	1	激光处理	1692 欧	80 千欧	78.43	77.80
4					激光处理后酒精处理	1600 欧	53.3 千欧	89.72	89.95
5	2.0	0.5	2.0	1	激光处理	1653 欧	62.1 千欧	77.63	77.39
6					激光处理后酒精处理	1668 欧	48.4 千欧	89.55	89.59
7	1.5	0.5	2.5	1	激光处理	1502 欧	46.3 千欧	76.37	76.66
8					激光处理后酒精处理	1408 欧	34.0 千欧	89.40	89.25
9					初始碳纳米管膜	909 欧	42.6 千欧	73.86	73.56

[0085] 注:固化有 UV 胶的 PET 片在波长为 550 纳米时的透光度为 91.40%。

[0086] 表 3 可以证明:(1)在通孔的参数 b 和 d 固定,改变参数 a 和 c 时,样品 1-8 的垂直电阻随着参数 a 与参数 c 的比值(a/c)增大而增大,与样品是否经过溶剂收缩无关。优选地,参数 a 与参数 c 的比值大于等于 0.5,且小于等于 4。垂直电阻优选地大于 30 千欧。(2)可以通过增大参数 a 与参数 c 的比值的方法提高本发明提供的碳纳米管膜的导电异向性。(3)溶剂收缩不利于提高碳纳米管膜的导电异向性。

[0087] (三)碳纳米管结构的强度比较

[0088] 本文中各种碳纳米管结构能够承受的最大拉力用“强度”表示。宽度大约为 15 毫米的初始碳纳米管膜的强度大约为 150 毫牛顿;激光处理该宽度大约为 15 毫米的初始碳纳米管膜的强度大约为 47 毫牛顿;本发明提供的碳纳米管膜的强度大约为 105 毫牛顿,其中,该碳纳米管膜是由宽度大约为 15 毫米的初始碳纳米管膜制备得来的。其中,激光处理的初始碳纳米管膜及本发明提供的碳纳米管膜,在激光激光处理的过程中都使得所述初始

碳纳米管膜上形成的通孔的参数 a、b、c 及 d 分别为 3 毫米、0.35 毫米、0.8 毫米及 0.35 毫米。优选地,当初始碳纳米管膜的宽度大约为 15 毫米时,本发明提供的碳纳米管膜的强度大于等于 90 毫牛顿。

[0089] 由本发明实施例提供的碳纳米管膜的制备方法制备出的碳纳米管膜包括多个间隔设置的碳纳米管线及碳纳米管团簇,所以该碳纳米管膜具有较多的孔隙,从而使得该碳纳米管膜具有较高的透光度,且该碳纳米管膜的透光度在可见光区大于等于 95%,甚至可以达到 98% 以上。该碳纳米管膜中的碳纳米管线沿第一方向延伸形成第一导电通路,且该碳纳米管膜中的碳纳米管团簇沿第二方向通过碳纳米管线连接形成第二导电通路;所以,该碳纳米管膜具有导电异向性,为导电异向性膜。该碳纳米管膜在第二方向及第一方向上的电阻可以相差 50 倍以上。另,该碳纳米管膜中的碳纳米管线通过多个碳纳米管团簇固定在一起,形成膜状结构,使得该碳纳米管膜具有较好的强度及稳定性,不易破裂。

[0090] 本发明实施例通过在该初始碳纳米管膜的表面形成至少一通行孔并结合溶剂处理该形成有通孔的初始碳纳米管膜的方法来制备所述碳纳米管膜,同时,还可以通过控制初始碳纳米管膜上的通孔相关参数来控制碳纳米管膜中的碳纳米管线的直径以及相邻的碳纳米管线之间的间距,即控制该碳纳米管膜的结构,进而可以控制该碳纳米管膜在各个方向上的电阻,因此该碳纳米管膜的制备方法比较简单,易于控制该碳纳米管膜的电阻,有利于工业化生产。另外,在制备碳纳米管膜的过程,所述通孔有规律地、规则地形成在所述初始碳纳米管膜中,使得由本发明实施例提供的方法制备的碳纳米管膜中的碳纳米管线及碳纳米管团簇有规律排列成多行多列,在具有较高透光度的同时还具有导电异向性。

[0091] 另外,本领域技术人员还可以在本发明精神内做其它变化,这些依据本发明精神所做的变化,都应包含在本发明所要求保护的范围内。

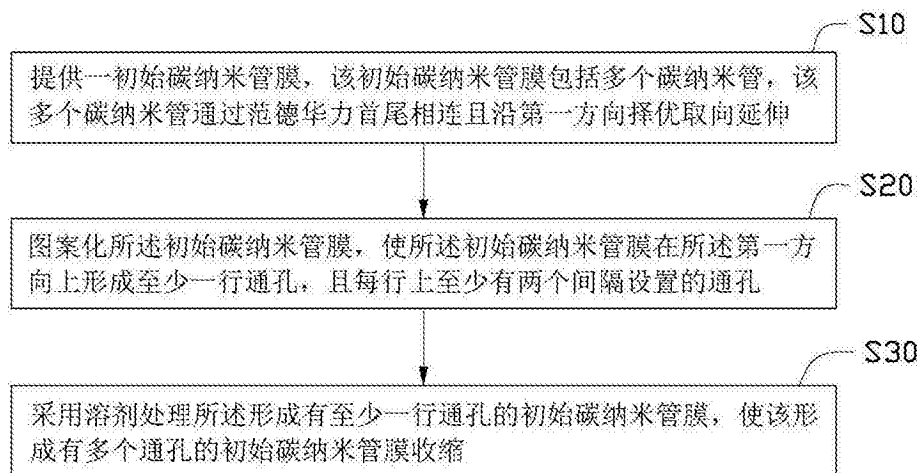


图 1

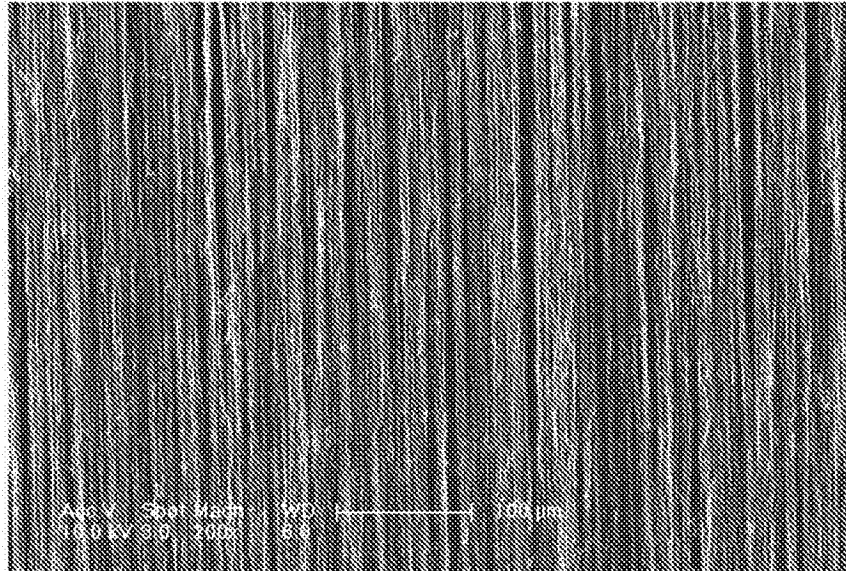


图 2

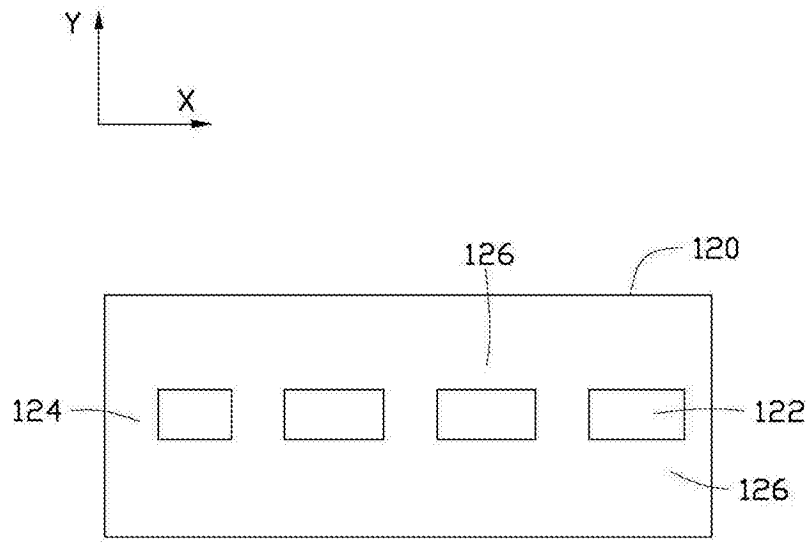


图 3

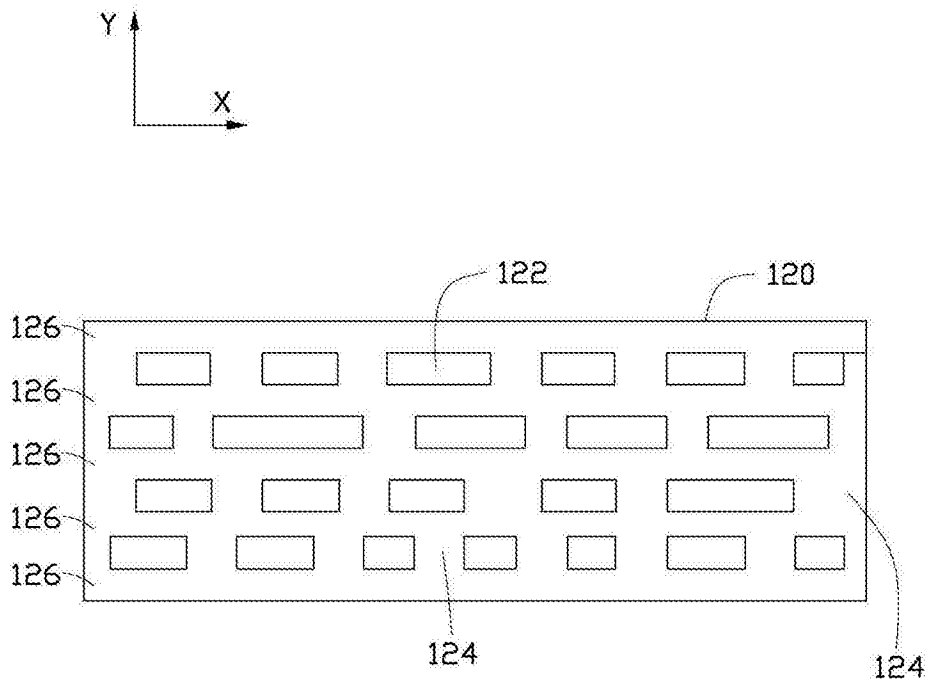


图 4

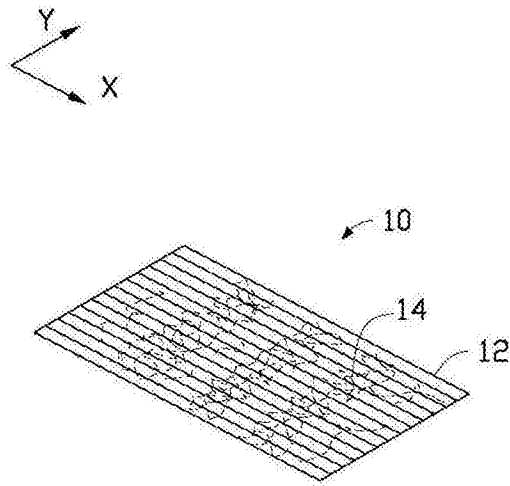


图 5

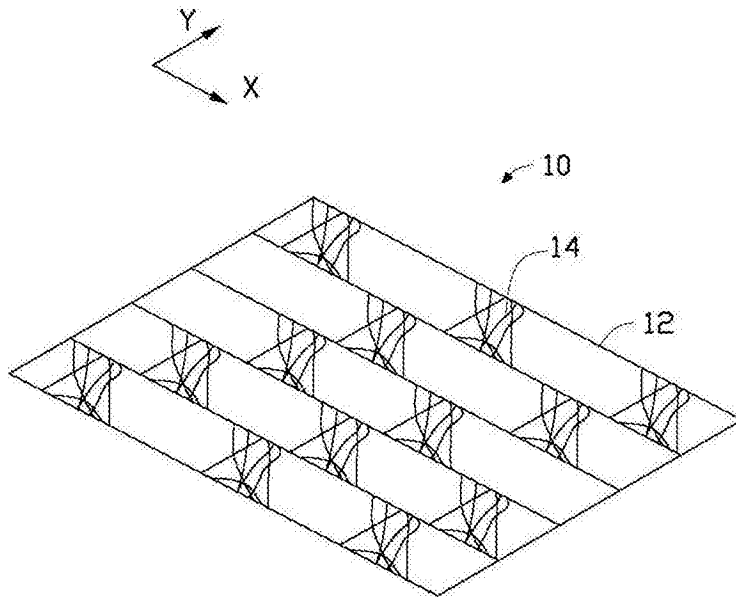


图 6

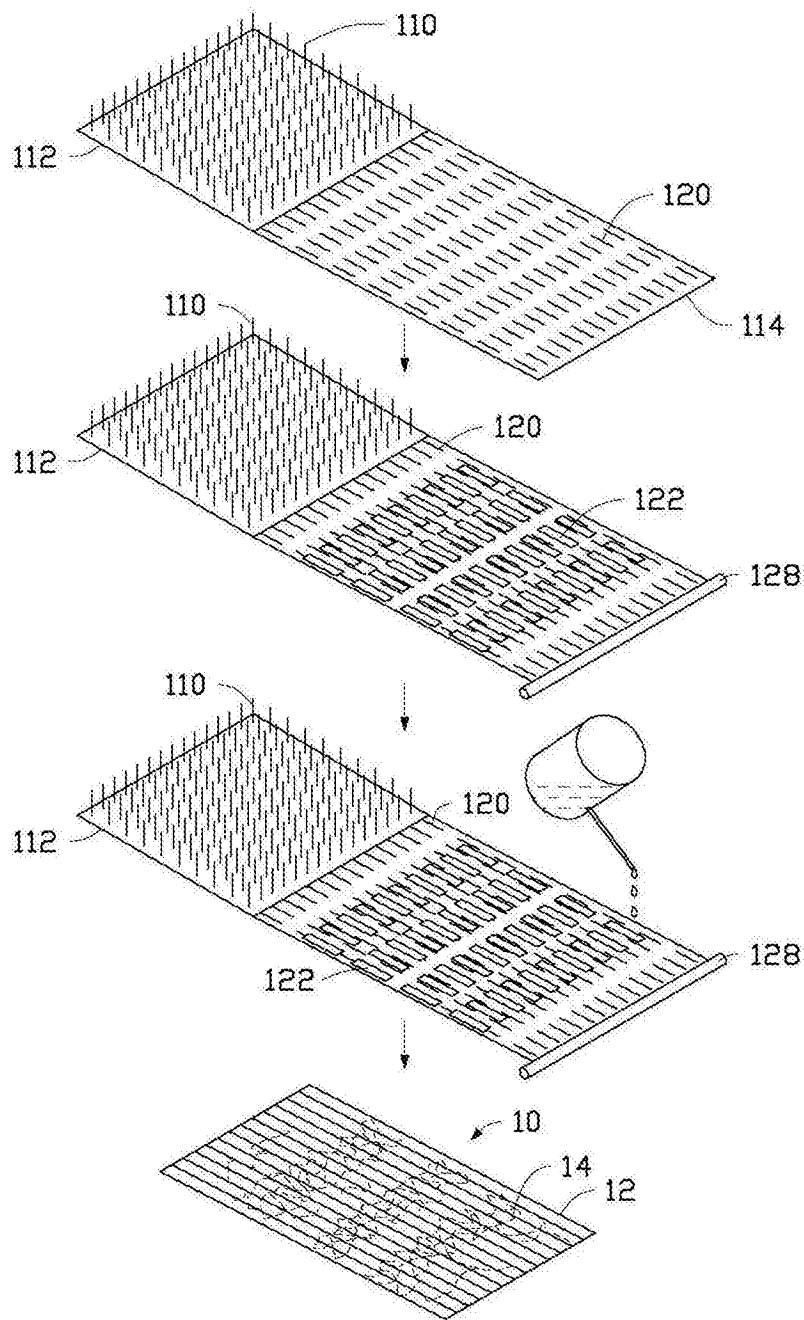


图 7

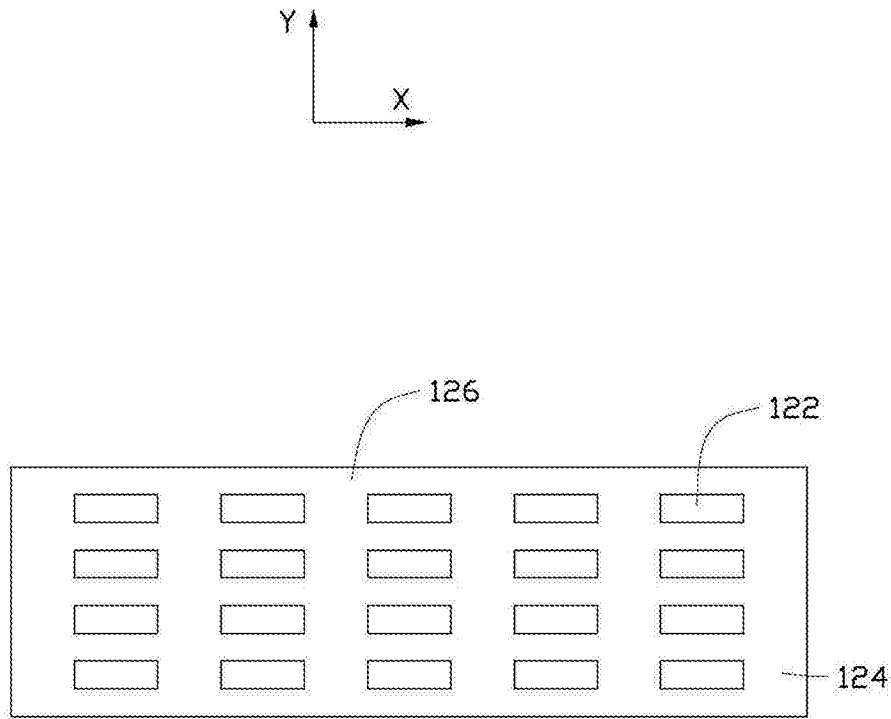


图 8

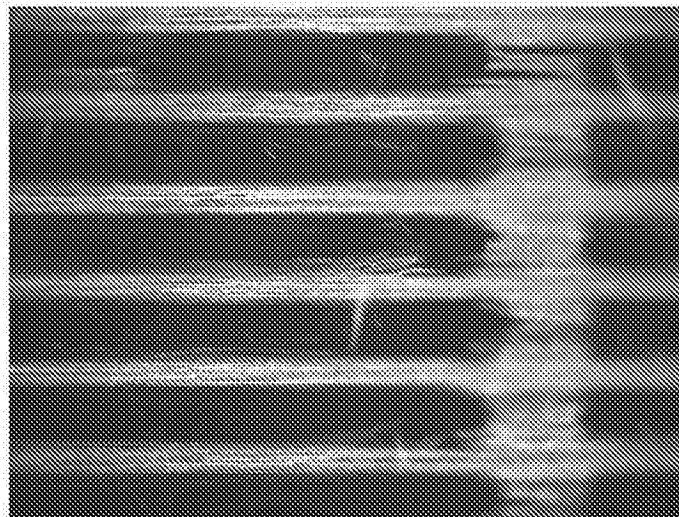


图 9

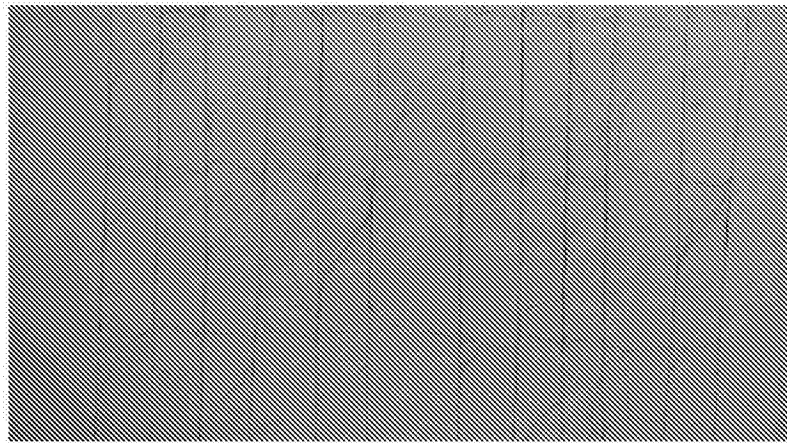


图 10

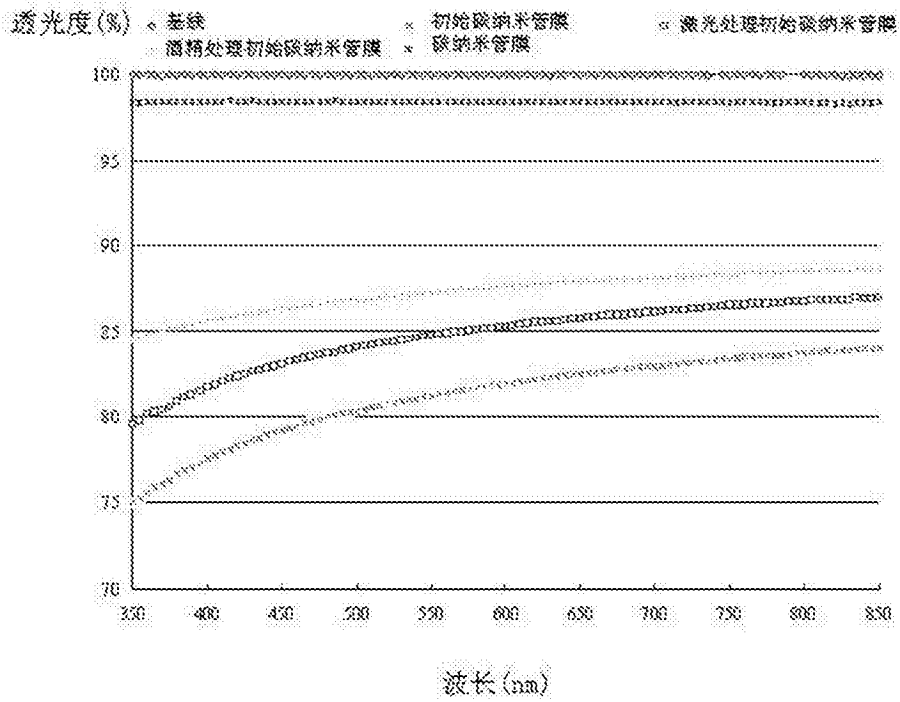


图 11

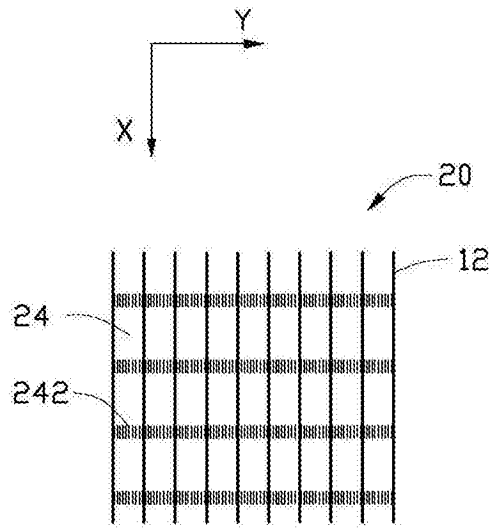


图 12

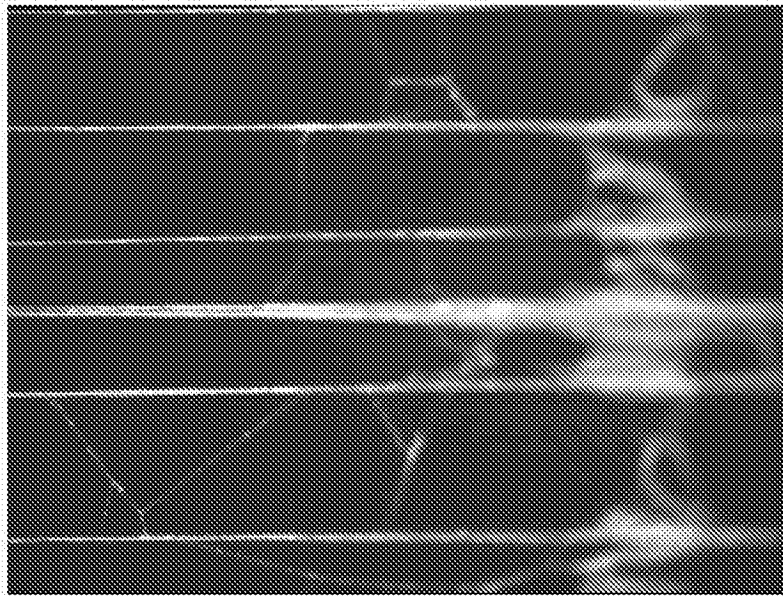


图 13