



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102372255 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 20

(21) 申请号 201010259952. 7

审查员 谭欣

(22) 申请日 2010. 08. 23

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华大学清  
华-富士康纳米科技研究中心 401 室  
专利权人 鸿富锦精密工业(深圳)有限公司

(72) 发明人 魏洋 范守善

(51) Int. Cl.

B82B 3/00(2006. 01)

(56) 对比文件

US 4389837 A, 1983. 06. 28, 说明书第 4 栏 35  
行至第 6 栏第 3 行、附图 1.

CN 101086939 A, 2007. 12. 12, 说明书第 2 页  
最后一段、第 3 页 1-3 段.

CN 101597049 A, 2009. 12. 09, 全文.

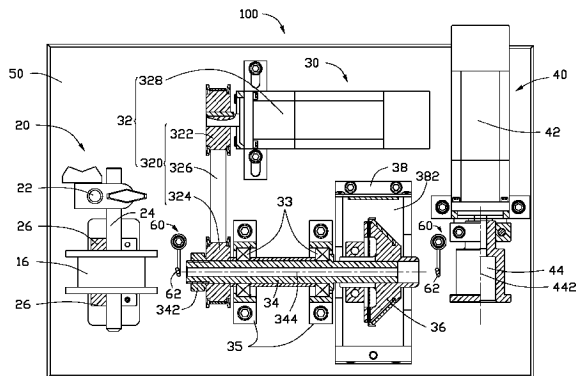
权利要求书3页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备  
方法

(57) 摘要

本发明涉及一碳纳米管复合线状结构的制备  
装置,其包括:一供给单元,该供给单元用于提供  
一线状结构;一包覆单元,该包覆单元包括一驱  
动机构、一空心旋转轴及一花盘,该驱动机构设  
置于所述空心旋转轴的一端,用于驱动该空心旋  
转轴旋转;所述花盘固定于所述空心旋转轴的另一  
端,用于放置生长有碳纳米管阵列的基底,所述碳  
纳米管阵列用于制备一碳纳米管结构,该包覆单  
元用于将该碳纳米管结构缠绕于所述线状结构;  
以及一收集单元,该收集单元用于牵引该线状结  
构做直线运动及收集所述碳纳米管复合线状结  
构。本发明还提供一种采用上述制备装置制备碳  
纳米管复合线状结构的方法。



1. 一种碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,其包括:
  - 一供给单元,该供给单元用于提供一线状结构;
  - 一包覆单元,该包覆单元包括一驱动机构、一空心旋转轴及一花盘,该驱动机构设置于所述空心旋转轴的一端,用于驱动该空心旋转轴旋转;所述空心旋转轴用于使所述线状结构穿过,所述花盘固定于所述空心旋转轴的另一端,该花盘具有多个支撑台,该多个支撑台围绕所述空心旋转轴设置,并分别用于放置生长有碳纳米管阵列的基底,所述碳纳米管阵列用于制备一碳纳米管结构,该碳纳米管结构用于缠绕于所述穿过所述空心旋转轴的线状结构以形成一碳纳米管复合线状结构;以及
  - 一收集单元,该收集单元用于牵引该线状结构做直线运动及收集所述碳纳米管复合线状结构。
2. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述供给单元包括一支柱、一导向轴及一线轴,该导向轴一端固定于所述支柱,另一端悬空设置,所述线轴套设于所述导向轴,该线轴可以在该导向轴上自由旋转。
3. 如权利要求2所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述供给单元进一步包括至少一固定环,该至少一固定环固定于所述导向轴,用于限制所述线轴在所述导向轴的位置。
4. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述多个支撑台面向所述收集单元设置,并分别与所述空心旋转轴的中心轴形成一夹角。
5. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述驱动机构包括一第一电机及一传动机构,该传动机构设置于该第一电机,并通过所述第一电机驱动。
6. 如权利要求5所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述传动机构包括一第一带轮、一第二带轮及一传动带,该第一带轮固定于所述第一电机,所述第二带轮固定于所述空心旋转轴靠近所述供给单元的一端,所述传动带套设于所述第一带轮及第二带轮,所述第一电机通过第一带轮和传送带驱动所述第二带轮运转,该第二带轮带动所述空心旋转轴旋转。
7. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述包覆单元进一步包括两个支撑座及两个轴承,每个支撑座设置一个轴承,所述空心旋转轴通过所述轴承设置于每个支撑座。
8. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述包覆单元进一步包括一遮蔽元件,该遮蔽元件具有一收容腔,该收容腔用于包容所述花盘。
9. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,所述收集单元包括一第二电机及一收集轴,该收集轴固定于该第二电机,该第二电机用于带动该收集轴旋转。
10. 如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置,其特征在于,进一步包括一定位元件,该定位元件具有一定位孔,该定位孔的中心与所述包覆单元的空心旋转轴的中心轴位于同一平面内。
11. 一种利用如权利要求1所述的碳纳米管复合线状结构的制备装置制备碳纳米管复合线状结构的方法,其包括以下步骤:

通过所述供给单元提供一线状结构；

将所述线状结构穿过所述包覆单元的空心旋转轴固定于所述收集单元；

通过所述包覆单元提供一碳纳米管结构，并将该碳纳米管结构粘附于所述穿过所述空心旋转轴的线状结构形成一碳纳米管复合线状结构，以及控制所述驱动机构使所述花盘旋转，同时控制收集单元牵引所述线状结构做直线运动，使得所述碳纳米管结构螺旋缠绕于所述线状结构。

12. 如权利要求 11 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，所述线状结构为导电线状结构、人造纤维结构及天然纤维结构。

13. 如权利要求 12 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，通过所述供给单元提供一线状结构的步骤中，所述供给单元包括一支柱；一导向轴，该导向轴一端固定于该支柱且另一端悬空设置；以及一线轴，该线轴套设于该导向轴心，所述线轴缠绕有所述线状结构。

14. 如权利要求 13 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，所述碳纳米管复合线状结构的制备装置进一步包括两个定位元件，该每个定位元件具有一定定位孔，该定位元件间隔设置于所述包覆单元的两端，且该定位孔的中心与所述空心旋转轴的中心轴位于同一水平面内，将所述线状结构依次穿过所述一个定位元件的定位孔、所述包覆单元的空心旋转轴、以及另一个定位元件的定位孔固定于所述收集单元。

15. 如权利要求 14 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，使所述包覆单元提供碳纳米管结构，并将该碳纳米管结构粘附于所述线状结构的步骤包括：提供至少一生长有碳纳米管阵列的基底；将所述基底固定于该包覆单元的花盘；以及采用一拉伸工具分别从所述至少一个碳纳米管阵列拉伸出一碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线，并将该碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线粘附于所述线状结构。

16. 如权利要求 15 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，所述收集单元包括一第二电机以及一设置于该第二电机的收集轴，所述第二电机用于驱动所述收集轴旋转，所述收集轴牵引所述线状结构做直线运动，并收集所述碳纳米管复合线状结构。

17. 如权利要求 16 所述的碳纳米管复合线状结构的制备方法，其特征在于，所述控制所述驱动机构使所述花盘旋转，同时控制收集单元牵引所述线状结构做直线运动的步骤包括：启动所述收集单元的第二电机与所述驱动机构的第一电机，该第二电机驱动所述收集轴旋转，使得所述线状结构做直线运动，同时，所述第一电机驱动所述空心旋转轴围绕该空心旋转轴旋转，该空心旋转轴的旋转带动所述花盘及设置于该花盘的至少一碳纳米管阵列围绕该空心旋转轴的中心轴旋转，使得所述碳纳米管结构不断从所述至少一碳纳米管阵列中拉出，并缠绕于所述线状结构的表面，从而形成所述碳纳米管复合线状结构，随着所述收集轴的旋转，该碳纳米管复合线状结构缠绕在该收集轴。

18. 一种碳纳米管复合线状结构的制备装置，其特征在于，其包括：

一供给单元，该供给单元用于提供一线状结构；

一包覆单元，该包覆单元包括一空心旋转轴以及一固定于该空心旋转轴的花盘，该空心旋转轴用于使所述线状结构穿过且带动所述花盘旋转，该花盘用于承载至少一生长有碳纳米管阵列的基底，该至少一碳纳米管阵列用于连续地形成至少一碳纳米管结构，该至少一碳纳米管结构用于缠绕于所述穿过所述空心旋转轴的线状结构的表面形成一碳纳米管

复合线状结构;以及

一收集单元,该收集单元用于牵引该线状结构及收集所述碳纳米管复合线状结构。

## 碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种碳纳米管材料的制备装置及其制备方法,尤其涉及一种碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 自九十年代初以来,以碳纳米管为代表的纳米材料以其独特的结构和性质引起了人们极大的关注。近几年来,随着碳纳米管及纳米材料研究的不断深入,其广阔的应用前景不断显现出来。例如,由于碳纳米管所具有的独特的电磁学、光学、力学、化学等性能,大量有关其在场发射电子源、传感器、新型光学材料、软铁磁材料等领域的应用研究不断被报道。

[0003] 特别地,碳纳米管与其他材料例如金属、半导体或者聚合物等的复合可以实现材料的优势互补或加强。碳纳米管具有较大的长径比和中空的结构,具有优异的力学性能、电学性能、光学性能等,其在复合材料中,可以对复合材料起到增强作用,使得复合材料具有更好的性能。碳纳米管复合材料的研究已经成为一个极为重要的领域。

[0004] 现有技术中的碳纳米管金属复合材料一般包括金属颗粒及碳纳米管,所述金属颗粒与碳纳米管均匀混合分散;或者金属颗粒均匀分散于碳纳米管膜或碳纳米管线中。上述碳纳米管金属复合材料通常采用蒸镀法将金属沉积在碳纳米管材料上或采用化学法将金属颗粒分散在碳纳米管材料中制备的。现有技术中没有提供一种包含金属丝的碳纳米管复合线状结构、该碳纳米管复合线状结构的制备方法,以及制备该碳纳米管复合线状结构的装置。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,确有必要提供碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备方法,该制备装置及制备方法可以实现自动的制备及收集所述碳纳米管复合线状结构。

[0006] 一种碳纳米管复合线状结构的制备装置,其包括:一供给单元,该供给单元用于提供一线状结构;一包覆单元,该包覆单元包括一驱动机构、一空心旋转轴及一花盘,该驱动机构设置于所述空心旋转轴的一端,用于驱动该空心旋转轴旋转;所述花盘固定于所述空心旋转轴的另一端,用于放置生长有碳纳米管阵列的基底,所述碳纳米管阵列用于制备一碳纳米管结构,该包覆单元用于将该碳纳米管结构缠绕于所述线状结构;以及一收集单元,该收集单元用于牵引该线状结构做直线运动及收集所述碳纳米管复合线状结构。

[0007] 一种采用上述制备装置制备碳纳米管复合线状结构的方法,其包括以下步骤:通过所述供给单元提供一线状结构;将所述线状结构穿过所述包覆单元的空心旋转轴固定于所述收集单元;通过所述包覆单元提供一碳纳米管结构,并将该碳纳米管结构粘附于所述线状结构;以及控制所述驱动机构使所述花盘旋转,同时控制收集单元牵引所述线状结构做直线运动,使得所述碳纳米管结构缠绕于所述线状结构。

[0008] 一种碳纳米管复合线状结构的制备装置,其包括:一供给单元,该供给单元用于提

供一线状结构；一包覆单元，该包覆单元包括一载体，用于承载至少一生长有碳纳米管阵列的基底，一碳纳米管结构连续地从所述碳纳米管阵列中被拉出，并缠绕于所述线状结构的表面；以及一收集单元，该收集单元用于牵引该线状结构及收集所述碳纳米管复合线状结构。

[0009] 与现有技术相比较，本发明提供的碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备方法可以使得所述线状结构穿过所述包覆单元固定于所述收集单元，而所述包覆单元中的花盘可以旋转，从而使得设置于该花盘上的碳纳米管阵列也可以旋转，从而使得从碳纳米管阵列中获得的碳纳米管结构可以自动缠绕在所述线状结构上；另外，所述收集单元可以自动牵引所述线状结构及缠绕所述碳纳米管复合线状结构，因此，本发明提供的碳纳米管复合线状结构的制备装置及其制备方法可以实现自动制备并收集碳纳米管复合线状结构，使得碳纳米管复合线状结构的制备比较简单，可以实现连续的生产，有利于工业应用。

### 附图说明

[0010] 图 1 是本发明实施例提供的碳纳米管拉膜的扫描电镜照片。

[0011] 图 2 是本发明实施例提供的碳纳米管复合线状结构的扫描电镜照片。

[0012] 图 3 是图 2 中的碳纳米管复合线状结构横截面的示意图。

[0013] 图 4 是本发明实施提供的碳纳米管复合线状结构的制备装置的主视局部剖面图。

[0014] 图 5 是图 4 中碳纳米管复合线状结构的制备装置的俯视局部剖面图。

[0015] 图 6 是图 4 中碳纳米管复合线状结构的制备装置的花盘的立体结构示意图。

[0016] 图 7 是利用图 4 提供的制备装置制备图 2 所示的碳纳米管复合线状结构的示意图。

[0017] 主要元件符号说明

[0018]	碳纳米管复合线状结构	10
[0019]	制备装置	100
[0020]	金丝	12
[0021]	碳纳米管层	14
[0022]	碳纳米管	142
[0023]	碳纳米管膜	15
[0024]	线轴	16
[0025]	碳纳米管阵列	18
[0026]	供给单元	20
[0027]	支柱	22
[0028]	导向轴	24
[0029]	固定环	26
[0030]	包覆单元	30
[0031]	驱动机构	32
[0032]	传动机构	320
[0033]	第一带轮	322
[0034]	第二带轮	324

[0035]	传动带	326
[0036]	电机	328 ;42
[0037]	轴承	33
[0038]	空心旋转轴	34
[0039]	防松动轴承螺帽	342
[0040]	中心轴	344 ;442
[0041]	支撑座	35
[0042]	花盘	36
[0043]	支撑台	362
[0044]	遮蔽元件	38
[0045]	容腔	382
[0046]	收集单元	40
[0047]	收集轴	44
[0048]	底座	50
[0049]	凹槽	52
[0050]	定位元件	60
[0051]	定位孔	62

### 具体实施方式

[0052] 下面将结合附图及具体实施例,对本发明提供的碳纳米管复合线状结构、该碳纳米管复合线状结构的制备方法及制备该碳纳米管复合线状结构的装置作进一步的详细说明。

[0053] 本发明提供一种碳纳米管复合线状结构,该碳纳米管复合线状结构包括一导电线状结构以及一环绕该导电线状结构设置的碳纳米管层。该碳纳米管层是连续的层状结构,且由若干碳纳米管组成,该若干碳纳米管通过范德华力紧密相连,且沿该导电线状结构的轴向环绕该导电线状结构均匀地分布。

[0054] 所述导电线状结构具有支撑所述若干碳纳米管的作用,所以该导电线状结构应具有一定的强度及韧性。所述导电线状结构可以为金属,该金属为单质金属线或单质金属丝。所述单质金属材料可以为金、银、铜或铝等金属材料。所述导电线状结构的材料也可以为合金材料,如铜锡合金。所述导电线状结构还可以为具有一导电层的复合线状结构,如在铜锡合金表面进一步涂覆一层铝膜;还可以在一纤维丝的表面镀金膜。所述导电线状结构的直径不限,只要该导电线状结构具有一定强度即可,当该导电线状结构为金丝,该金丝的直径可以为 18 微米;当导电线状结构为铝丝,该铝丝的直径可以为 25 微米。

[0055] 所述碳纳米管层是由一碳纳米管结构沿所述导电线状结构的轴向紧密缠绕而形成的。该碳纳米管结构为一自支撑结构,且缠绕包覆于该导电线状结构的整个表面;优选地,该碳纳米管结构沿该导电线状结构的轴向螺旋缠绕并包覆于该导电线状结构的表面。因此,也可以说,所述碳纳米管复合线状结构由所述导电线状结构及缠绕包覆于该导电线状结构整个表面的碳纳米管结构组成。

[0056] 其中,所述碳纳米管结构由若干碳纳米管组成,该若干碳纳米管无序或有序排列。

所谓无序排列是指碳纳米管的排列方向无规则。所谓有序排列是指碳纳米管的排列方向有规则。具体地,当碳纳米管结构包括无序排列的碳纳米管时,碳纳米管相互缠绕或者各向同性排列;当碳纳米管结构包括有序排列的碳纳米管时,碳纳米管沿一个方向或者多个方向择优取向排列。所谓“择优取向”是指所述碳纳米管结构中的大多数碳纳米管在一个方向上具有较大的取向几率;即,该碳纳米管结构中的大多数碳纳米管的轴向基本沿同一方向延伸。其中,所述碳纳米管结构为至少一个碳纳米管膜、至少一个碳纳米管线或其组合。

[0057] 所述碳纳米管膜可以为碳纳米管拉膜、碳纳米管碾压膜和碳纳米管絮化膜。

[0058] 请参阅图 1,所述碳纳米管拉膜是由若干碳纳米管组成的自支撑结构。所述若干碳纳米管沿同一方向择优取向排列。该碳纳米管拉膜中大多数碳纳米管的整体延伸方向基本朝同一方向。而且,所述大多数碳纳米管的整体延伸方向基本平行于碳纳米管拉膜的表面。进一步地,所述碳纳米管拉膜中多数碳纳米管是通过范德华力首尾相连。具体地,所述碳纳米管拉膜中基本朝同一方向延伸的大多数碳纳米管中每一碳纳米管与在延伸方向上相邻的碳纳米管通过范德华力首尾相连。当然,所述碳纳米管拉膜中存在少数随机排列的碳纳米管,这些碳纳米管不会对碳纳米管拉膜中大多数碳纳米管的整体取向排列构成明显影响。所述碳纳米管拉膜不需要大面积的载体支撑,而只要相对两边提供支撑力即能整体上悬空而保持自身膜状状态,即将该碳纳米管膜置于(或固定于)间隔设置的两个支撑体上时,位于两个支撑体之间的碳纳米管膜能够悬空保持自身膜状状态。

[0059] 具体地,所述碳纳米管拉膜中基本朝同一方向延伸的多数碳纳米管,并非绝对的直线状,可以适当的弯曲;或者并非完全按照延伸方向上排列,可以适当的偏离延伸方向。因此,不能排除碳纳米管拉膜的基本朝同一方向延伸的多数碳纳米管中并列的碳纳米管之间可能存在部分接触。

[0060] 具体地,所述碳纳米管拉膜包括多个连续且定向排列的碳纳米管片段。该若干碳纳米管片段通过范德华力首尾相连。每一碳纳米管片段包括多个相互平行的碳纳米管,该多个相互平行的碳纳米管通过范德华力紧密结合。该碳纳米管片段具有任意的长度、厚度、均匀性及形状。该碳纳米管拉膜中的碳纳米管沿同一方向择优取向排列。

[0061] 所述碳纳米管拉膜可通过从碳纳米管阵列直接拉取获得。从碳纳米管阵列中拉取获得所述碳纳米管拉膜的具体方法包括:(a) 从所述碳纳米管阵列中选定一碳纳米管片段,本实施例优选为采用具有一定宽度的胶带或粘性基条接触该碳纳米管阵列以选定具有一定宽度的一碳纳米管片段;(b) 通过移动该拉伸工具,以一定速度拉取该选定的碳纳米管片段,从而首尾相连的拉出若干碳纳米管片段,进而形成一连续的碳纳米管拉膜。该若干碳纳米管相互并排使该碳纳米管片段具有一定宽度。当该被选定的碳纳米管片段在拉力作用下沿拉取方向逐渐脱离碳纳米管阵列的生长基底的同时,由于范德华力作用,与该选定的碳纳米管片段相邻的其它碳纳米管片段首尾相连地相继地被拉出,从而形成一连续、均匀且具有一定宽度和择优取向的碳纳米管拉膜。

[0062] 可以理解,通过将若干碳纳米管拉膜平行且无间隙共面铺设或/和层叠铺设,可以制备不同面积与厚度的碳纳米管膜。每个碳纳米管拉膜的厚度可为 0.5 纳米~100 微米。当碳纳米管膜包括多个层叠设置的碳纳米管拉膜时,相邻的碳纳米管拉膜中的碳纳米管的排列方向形成一夹角  $\alpha$ ,  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。所述碳纳米管拉膜的结构及其制备方法请参见 2010 年 5 月 26 日公开的,公开号为 CN101239712B 的中国发明专利说明书。



[0063] 所述碳纳米管碾压膜包括均匀分布的若干碳纳米管,该若干碳纳米管无序、沿同一方向或不同方向择优取向排列,该若干碳纳米管的轴向沿同一方向或不同方向延伸。所述碳纳米管碾压膜中的碳纳米管相互部分交叠,并通过范德华力相互吸引,紧密结合。所述碳纳米管碾压膜可通过碾压一碳纳米管阵列获得。该碳纳米管阵列形成在一基体表面,所制备的碳纳米管碾压膜中的碳纳米管与该碳纳米管阵列的基体的表面成一夹角  $\beta$ ,其中, $\beta$  大于等于 0 度且小于等于 15 度 ( $0^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$ )。优选地,所述碳纳米管碾压膜中的碳纳米管的轴向基本平行于该碳纳米管碾压膜的表面。依据碾压的方式不同,该碳纳米管碾压膜中的碳纳米管具有不同的排列形式。该碳纳米管碾压膜的面积和厚度不限,可根据实际需要选择。该碳纳米管碾压膜的面积与碳纳米管阵列的尺寸基本相同。该碳纳米管碾压膜厚度与碳纳米管阵列的高度以及碾压的压力有关,可为 1 微米~100 微米。所述碳纳米管碾压膜及其制备方法请参见 2008 年 12 月 3 日公开的,公开号为 CN101314464A 的中国发明专利申请公开说明书。

[0064] 所述碳纳米管絮化膜包括相互缠绕的碳纳米管,该碳纳米管长度可大于 10 厘米。所述碳纳米管之间通过范德华力相互吸引、缠绕,形成网络状结构。所述碳纳米管絮化膜各向同性。所述碳纳米管絮化膜中的碳纳米管为均匀分布,无规则排列,形成大量的微孔结构。可以理解,所述碳纳米管絮化膜的长度、宽度和厚度不限,可根据实际需要选择,厚度可为 1 微米~100 微米。所述碳纳米管絮化膜及其制备方法请参见 2008 年 10 月 15 日公开的,公开号为 CN101284662A 的中国发明专利申请公开说明书。

[0065] 所述碳纳米管线可为一非扭转的碳纳米管线或扭转的碳纳米管线。

[0066] 所述非扭转的碳纳米管线可包括多个沿该非扭转的碳纳米管线轴向方向排列的碳纳米管。非扭转的碳纳米管线可通过将碳纳米管拉膜通过有机溶剂处理得到。具体地,该碳纳米管拉膜包括多个碳纳米管片段,该多个碳纳米管片段通过范德华力首尾相连,每一碳纳米管片段包括多个相互平行并通过范德华力紧密结合的碳纳米管。该碳纳米管片段具有任意的长度、厚度、均匀性及形状。该非扭转的碳纳米管线长度不限,直径为 0.5 纳米-1 毫米。具体地,可将有机溶剂浸润所述碳纳米管拉膜的整个表面,在挥发性有机溶剂挥发时产生的表面张力的作用下,碳纳米管拉膜中的相互平行的多个碳纳米管通过范德华力紧密结合,从而使碳纳米管拉膜收缩为一非扭转的碳纳米管线。该有机溶剂为挥发性有机溶剂,如乙醇、甲醇、丙酮、二氯乙烷或氯仿,本实施例中采用乙醇。通过有机溶剂处理的非扭转碳纳米管线与未经有机溶剂处理的碳纳米管膜相比,比表面积减小,粘性降低。

[0067] 所述扭转的碳纳米管线包括多个绕该扭转的碳纳米管线轴向螺旋排列的碳纳米管。该碳纳米管线可采用一机械力将所述碳纳米管拉膜两端沿相反方向扭转获得。进一步地,可采用一挥发性有机溶剂处理该扭转的碳纳米管线。在挥发性有机溶剂挥发时产生的表面张力的作用下,处理后的扭转的碳纳米管线中相邻的碳纳米管通过范德华力紧密结合,使扭转的碳纳米管线的比表面积减小,密度及强度增大。

[0068] 所述碳纳米管线及其制备方法请参见范守善等人于 2002 年 9 月 16 日申请的,2008 年 8 月 20 日公告的,公告号为 CN100411979C 的中国发明专利说明书;以及于 2005 年 12 月 16 日申请的,2009 年 6 月 17 日公告的,公告号为 CN100500556C 的中国发明专利说明书。

[0069] 当所述碳纳米管层由碳纳米管拉膜或非扭转的碳纳米管线组成时,所述碳纳米管

复合线状结构由所述导电线状结构及紧密缠绕在该导电线状结构表面的碳纳米管拉膜或非扭转的碳纳米管线组成,所述碳纳米管层由所述若干碳纳米管组成,该若干碳纳米管中的大多数碳纳米管沿该导电线状结构的轴向缠绕于该导电线状结构的表面,且该大多数碳纳米管与其延伸方向上的相邻碳纳米管通过范德华力首尾相连。进一步地,所述碳纳米管层中的大多数碳纳米管基本沿所述导电线状结构的轴向螺旋延伸。具体地,所述碳纳米管层中大多数碳纳米管均首尾相连地沿着导电线状结构的轴向螺旋延伸,该大多数碳纳米管中每一碳纳米管的延伸方向与所述导电线状结构的轴向形成一定的交叉角  $\alpha$ ,  $0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ 。所述碳纳米管拉膜或非扭转的碳纳米管线中的大多数碳纳米管沿基本同一方向延伸,所以该碳纳米管复合线状结构中基本具有同一延伸方向上的碳纳米管与所述导电线状结构的轴向具有基本相同的交叉角。

[0070] 当所述碳纳米管层由碳纳米管絮化膜组成时,所述碳纳米管复合线状结构由所述导电线状结构及紧密缠绕在该导电线状结构表面的碳纳米管絮化膜组成,所述碳纳米管絮化膜由若干碳纳米管组成,该若干碳纳米管形成网络状,且沿所述导电线状结构的轴向紧密地、均匀地环绕设置在该导电线状结构的表面。

[0071] 当所述碳纳米管层由所述碳纳米管碾压膜组成时,所述碳纳米管复合线状结构由所述导电线状结构及紧密缠绕在该导电线状结构表面的碳纳米管碾压膜组成。若所述碳纳米管碾压膜中的碳纳米管无序排列,则所述碳纳米管沿所述导电线状结构的轴向无序地、均匀地、紧密地环绕在该导电线状结构。若所述碳纳米管碾压膜中的碳纳米管沿同一方向或多个方向择优延伸时,沿同一个方向择优取向延伸的碳纳米管与所述导电线状结构的轴向形成相同的交叉角,且该夹角大于  $0^\circ$  且小于等于  $90^\circ$ ;另外,该沿多个方向择优取向延伸的碳纳米管环绕该导电线状结构紧密排列,且同一个延伸方向上的碳纳米管与所述导电线状结构的轴向基本具有相同的夹角。

[0072] 当所述碳纳米管层由扭转的碳纳米管线组成时,所述碳纳米管复合线状结构由所述导电线状结构及紧密无间隙缠绕在该导电线状结构表面的扭转的碳纳米管线组成。该扭转的碳纳米管线中的碳纳米管紧密无间隙地沿该导电线状结构的轴向环绕该导电线状结构均匀分布。

[0073] 由于碳纳米管具有较好的机械性能及韧性,且具有能增强与其复合的材料的性能的作用,所以,所述碳纳米管复合线状结构中的碳纳米管均匀地缠绕在所述导电线状结构表面,使得该碳纳米管复合线状结构具有较好的机械性能和韧性。这主要是由于所述碳纳米管缠绕于导电线状结构的表面,当向该碳纳米管复合线状结构施加一拉力时,该碳纳米管复合线状结构中的碳纳米管与导电线状结构之间产生一摩擦力。所述碳纳米管复合线状结构中的导电线状结构在拉力的方向上被拉伸,由于所述碳纳米管与所述导电线状结构之间存在摩擦力,该摩擦力有阻止该导电线状结构被拉断的作用,因此,该碳纳米管复合线状结构中的导电线状结构被拉断时的长度大于该纯的导电线状结构被拉断时的长度;即,在相同拉力的情况下,所述碳纳米管复合线状结构不容易被拉断。所述碳纳米管复合线状结构的性能不但与位于其中的导电线状结构的性能有关,还与缠绕于所述导电线状结构表面的碳纳米管膜的缠绕方式、质量等有关。

[0074] 本发明还提供一种上述碳纳米管复合线状结构的制备方法,该制备方法包括以下步骤:

[0075] a. 提供导电线状结构及碳纳米管结构 ; 以及

[0076] b. 将所述碳纳米管结构缠绕于所述导电线状结构的表面。

[0077] 其中, 步骤 a 中的导电线状结构一般为金属线或金属丝。该导电线状结构的具有一定的强度, 可以起到支撑所述碳纳米管结构的作用。所述碳纳米管结构为至少一碳纳米管膜、至少一碳纳米管线状结构或其组合。所述碳纳米管膜可以为碳纳米管拉膜、碳纳米管絮化膜、碳纳米管碾压膜等。所述碳纳米管线状结构可以为非扭转的碳纳米管线或扭转的碳纳米管线。所述碳纳米管拉膜或非扭转的碳纳米管线可以从一碳纳米管阵列中直接拉取获得。

[0078] 步骤 b 可以通过下述方法实现 :

[0079] 第一种方法, 将所述碳纳米管结构粘附于所述导电线状结构, 旋转所述导电线状结构, 同时控制该导电线状结构做直线运动或控制所述碳纳米管结构做直线运动, 使得所述碳纳米管结构缠绕于该导电线状结构, 进而实现连续制备碳纳米管复合线状结构。其中, 所述碳纳米管结构可以不旋转, 也可以与该导电线状结构反向旋转。

[0080] 第二种方法, 将所述碳纳米管结构粘附于所述导电线状结构, 围绕该导电线状结构旋转所述碳纳米管结构, 同时控制该导电线状结构沿其轴向做直线运动或控制所述碳纳米管结构沿所述导电线状结构的轴向做直线运动, 从而使得该碳纳米管结构连续不断地缠绕于该导电线状结构的表面, 进而实现连续制备碳纳米管复合线状结构。

[0081] 所述步骤 b 进一步包括收集所述碳纳米管复合线状结构的步骤。

[0082] 当所述碳纳米管结构为碳纳米管拉膜或非扭转的碳纳米管线时, 提供至少一个碳纳米管阵列 ; 采用一拉伸工具从每个碳纳米管阵列中拉伸出一个碳纳米管膜或一个非扭转的碳纳米管线, 以形成所述碳纳米管结构。将所述碳纳米管结构粘附于所述导电线状结构 ; 旋转所述导电线状结构或旋转所述碳纳米管结构, 使所述碳纳米管结构缠绕于该导电线状结构的表面。在所述碳纳米管结构缠绕于该导电线状结构的表面的过程中, 该碳纳米管结构不断从所述至少一个碳纳米管阵列中被连续地拉出。

[0083] 请参阅图 4 至图 6, 本发明还提供一碳纳米管复合线状结构的制备装置 100。该制备装置 100 包括一供给单元 20、一包覆单元 30、一收集单元 40 以及一底座 50。所述供给单元 20 用于提供一线状结构, 其中该线状结构不仅包括导电线状结构, 还包括非导电线状结构, 如, 碳纤维、Kevlar 等人造纤维结构 ; 蜘蛛丝、蚕丝等天然纤维结构。所述包覆单元 30 用于放置一碳纳米管阵列, 该碳纳米管阵列可以制备一碳纳米管结构 ; 该包覆单元 30 还可以旋转该碳纳米管结构使该碳纳米管结构缠绕于所述线状结构的表面。所述收集单元 40 用于牵引所述线状结构做直线运动, 并收集所述碳纳米管复合线状结构。所述底座 50 用于承载所述供给单元 20、包覆单元 30 及收集单元 40。其中, 该制备装置 100 所述的碳纳米管结构为至少一碳纳米管拉膜、至少一非扭转的碳纳米管线或其组合。

[0084] 所述底座 50 为一平板结构。所述供给单元 20、包覆单元 30 及收集单元 40 固定于该底座 50。该底座 50 一般为金属材质, 如钢铁、硬铝。

[0085] 所述供给单元 20 包括一支柱 22、一导向轴 24、一线轴 16 以及两个固定环 26。所述支柱 22 的一端固定于所述底座 50, 使该支柱 22 垂直于所述底座 50 设置。所述导向轴 24 的一端固定于所述支柱 22, 并与该支柱 22 垂直设置, 另一端悬空设置。所述线轴 16 设置于所述导向轴 24, 该线轴 16 可以在该导向轴 24 上自由旋转。所述线轴 16 用于缠绕所述导电

线状结构。所述两个固定环 26 设置于所述导向轴 24 且分别位于所述线轴 16 的两侧,用于限制所述线轴 16 在所述导向轴 24 上的位置,防止该线轴 16 从所述导向轴 24 脱落。可以理解,所述固定环 26 的数量不限,可以为一个,三个或更多,只要其能够限制所述线轴 16 在所述导向轴 24 上的位置即可。

[0086] 所述包覆单元 30 包括一载体,该载体可以放置生长有一碳纳米管阵列的基底。具体地,该包覆单元 30 包括一驱动机构 32、一空心旋转轴 34、两个轴承 33、两个支撑座 35、一花盘 36 及一遮蔽元件 38。所述驱动机构 32 设置于所述空心旋转轴 34 靠近所述供给单元 20 的一端,所述花盘 36 设置于所述空心旋转轴 34 的另一端。每个支撑座 35 设置一个所述轴承 33,所述空心旋转轴 34 通过所述轴承 33 设置于每个支撑座 35 并通过该两个支撑座 35 支撑。所述驱动机构 32 用于驱动所述空心旋转轴 34 旋转并带动所述花盘 36 旋转。所述遮蔽元件 38 用于包容所述花盘 36。

[0087] 所述驱动机构 32 包括一传动机构 320 及一第一电机 328。所述传动机构 320 设置于所述第一电机 328,并通过该第一电机 328 驱动。所述传动机构 320 包括一第一带轮 322、一第二带轮 324 及一传动带 326。其中,所述第一带轮 322 固定于所述第一电机 328 的旋转轴。所述第二带轮 324 与所述第一带轮 322 间隔设置且固定于所述空心旋转轴 34。所述传动带 326 套设于所述第二带轮 324 与第一带轮 322。通过控制所述第一电机 328 运转使第一带轮 322 旋转,该第一带轮 322 通过套设其上的传动带 326 带动该第二带轮 324 旋转。从而该第二带轮 324 驱动所述空心旋转轴 34 旋转。这也就是说,所述第一电机 328 的运转速度可以决定该空心旋转轴 34 的旋转速度。可以理解,所述驱动机构 32 的具体结构不限,只要其能够驱动所述空心旋转轴 34 旋转即可。

[0088] 所述空心旋转轴 34 平行于所述底座 50 设置。所述空心旋转轴 34 设置有第二带轮 324 的一侧设置有一防松动轴承螺帽 342,该防松动轴承螺帽 342 设置于该空心旋转轴 34 靠近所述供给单元 20 的一端,用于防止所述第二带轮 324 在工作时从该空心旋转轴 34 上脱落。该空心旋转轴 34 具有一中心轴 344,该中心轴 344 与所述供给单元 20 的导向轴 24 的最高点基本上位于同一平面内。该空心旋转轴 34 在所述驱动机构 32 的驱动下可以围绕该空心旋转轴 34 的中心轴 344 做顺时针或逆时针旋转。

[0089] 所述两个支撑座 35 固定于所述底座 50,用于固定并支撑所述空心旋转轴 34。该两个支撑座 35 间隔设置于所述驱动机构 32 与所述花盘 36 之间。其中,所述驱动机构 32 的第二带轮 324 设置于其中一个支撑座 35 与所述防松动轴承螺帽 342 之间,以防止所述第二带轮 324 在工作时沿所述空心旋转轴 34 的延伸方向移动,甚至从该空心旋转轴 34 上脱落。可以理解,所述支撑座 35 的数量不限,也可以为一个、三个等,只要其能够起到支撑所述空心旋转轴 34 即可。

[0090] 所述花盘 36 套设并固定于所述空心旋转轴 34,并悬空设置于所述底座 50。所以当该空心旋转轴 34 旋转时,该花盘 36 随着该空心旋转轴 34 一起围绕该空心旋转轴 34 的中心轴 344 旋转。由于该空心旋转轴 34 的旋转是由驱动机构 32 的第一电机 328 控制的,所以,该花盘 36 的旋转速度是由第一电机 328 的运转速度来控制的。具体地,所述花盘 36 的形状类似多棱台,如三棱台、四棱台、五棱台、六棱台、七棱台等。该花盘 36 具有多个侧面,每个侧面上设置一支撑台 362,因此,该花盘 36 具有多个支撑台 362,每个支撑台 362 与所述空心旋转轴 34 的中心轴 344 形成一定夹角,且朝向所述收集单元 40 设置。所述多个支

撑台 362 围绕所述空心旋转轴 34 的中心轴 344 均匀分布。该多个支撑台 362 用于放置可以拉伸出碳纳米管膜的碳纳米管阵列。本实施例中,所述花盘 36 的形状类似六棱台,该六棱台具有六个侧面,即该花盘 36 具有六个支撑面,各个支撑面设置有支撑台 362,每个支撑台 362 朝向所述收集单元 40 并与所述空心旋转轴 34 的中心轴 344 的夹角为  $45^{\circ}$ 。

[0091] 所述遮蔽元件 38 具有一收容腔 382,并将所述花盘 36 悬空包容于该收容腔 382 中。当所述包覆单元 30 工作时,该遮蔽元件 38 可以防止设置于所述花盘 36 的碳纳米管阵列在该花盘 36 高速运转下从该花盘 36 上甩出,伤害到该包覆单元 30 周围的人或物。另外,该遮蔽元件 38 还可以防止灰尘等杂质落到设置于所述花盘 36 的碳纳米管阵列,污染碳纳米管阵列。可以理解,该遮蔽元件 38 是可选择结构。

[0092] 所述收集单元 40 固定于所述底座 50 靠近所述包覆单元 30 的花盘 36 的一侧。该收集单元 40 包括一第二电机 42 及一收集轴 44。该收集轴 44 固定于该第二电机 42 的旋转轴,并与所述底座 50 悬空设置。该收集轴 44 的中心轴 442 与所述空心旋转轴 34 的中心轴 344 垂直设置。该收集轴 44 的最高点与所述空心旋转轴 34 的中心轴 344 基本上位于同一平面内。该收集轴 44 在该第二电机 42 的驱动下可以围绕其中心轴 442 旋转,可以牵引所述线状结构做直线运动并将制备的碳纳米管复合线状结构收集在该收集轴 44 上。因此,该收集轴 44 的旋转速度可以根据该第二电机 42 的运转速度来控制,即,通过控制该第二电机 42 的运转速度,可以控制该收集轴 44 对线状结构的牵引速度及该碳纳米管复合线状结构的收集速度。

[0093] 所述制备装置 100 还可以包括两个定位元件 60,该两个定位元件 60 分别具有一定定位孔 62,该定位孔 62 的中心基本与所述包覆单元 30 的空心旋转轴 34 的中心轴 344 处于同一平面内。该两个定位元件 60 可以确保所述线状结构基本处于同一平面内,且不会碰到所述空心旋转轴 34 的内壁。具体地,其中一个定位元件 60 设置于所述供给单元 20 与所述包覆单元 30 之间,其主要是为了确保所述供给单元 20 提供的线状结构能够悬空穿过所述包覆单元 30 的空心旋转轴 34。另一个定位元件 60 设置于所述包覆单元 30 与所述收集单元 40 之间,以确保通过该制备装置 100 制备的碳纳米管复合线状结构能够与所述收集轴 44 的最高点基本处于同一平面内,并能较好的缠绕在该收集轴 44 上。显然,所述定位元件 60 为可选择结构,该定位元件 60 的数量不限。

[0094] 使用上述制备装置 100 制备碳纳米管复合线状结构的方法包括以下步骤:

[0095] S10 通过所述供给单元 20 提供一线状结构;

[0096] S20 将所述线状结构穿过所述包覆单元 30 的空心旋转轴 34 固定于所述收集单元 40;

[0097] S30 通过所述包覆单元 30 提供碳纳米管结构,并将该碳纳米管结构粘附于所述线状结构;以及

[0098] S40 控制所述包覆单元 30 的驱动机构 32 使所述花盘 36 旋转同时控制收集单元 40 牵引所述线状结构做直线运动,使得所述碳纳米管结构螺旋缠绕于所述线状结构。

[0099] 所述步骤 S10 可以通过以下步骤实现:提供一缠绕有所述线状结构的线轴 16;将该缠绕有线状结构的线轴 16 固定于所述供给单元 20 的导向轴 24。其中,该缠绕有线状结构的线轴 16 能够围绕所述导向轴 24 旋转。

[0100] 所述步骤 S20 具体为:使所述缠绕有线状结构的线轴 16 的自由端悬空穿过所述空

心旋转轴 34 ;然后,将该线状结构缠绕于所述收集单元 40 的收集轴 44 的表面。可以理解,当所述制备装置 100 包括所述两个定位元件 60 时,所述线状结构应当依次穿过所述两个定位元件 60 的定位孔 62,再缠绕于所述收集轴 44 的表面。

[0101] 所述步骤 S30 包括以下分步骤:

[0102] S31 提供至少一碳纳米管阵列,每个碳纳米管阵列生长于一基底;

[0103] S32 将所述生长有碳纳米管阵列的基底固定于该包覆单元 30 的花盘 36 ;以及

[0104] S33 采用一拉伸工具分别从所述至少一碳纳米管阵列中拉伸出一碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线,并将该碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线粘附于所述线状结构。

[0105] 其中,步骤 S31 中的碳纳米管阵列优选地为超顺排碳纳米管阵列。该超顺排碳纳米管阵列的制备方法采用化学气相沉积法,其具体步骤包括:提供一平整基底,该基底可选用 P 型或 N 型硅基底,或选用形成有氧化层的硅基底,本实施例优选为采用 4 英寸的硅基底;在基底表面均匀形成一催化剂层,该催化剂层材料可选用铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni) 或其任意组合的合金之一;将上述形成有催化剂层的基底在 700℃~900℃ 的空气中退火约 30 分钟~90 分钟;将处理过的基底置于反应炉中,在保护气体环境下加热到 500℃~740℃,然后通入碳源气体反应约 5~30 分钟,生长得到超顺排碳纳米管阵列,其高度为 50 微米~5 毫米。该超顺排碳纳米管阵列为多个彼此平行且垂直于基底生长的碳纳米管形成的纯碳纳米管阵列。通过上述控制生长条件,该超顺排碳纳米管阵列中基本不含有杂质,如无定型碳或残留的催化剂金属颗粒等。该碳纳米管阵列中的碳纳米管彼此通过范德华力紧密接触形成阵列。该碳纳米管阵列与上述基底面积基本相同。本实施例中碳源气可选用乙炔、乙烯、甲烷等化学性质较活泼的碳氢化合物,本实施例优选的碳源气为乙炔;保护气体为氮气或惰性气体,本实施例优选的保护气体为氩气。

[0106] 步骤 S32 将所述至少一碳纳米管阵列的基底通过粘胶、机械方式或真空吸附固定于所述花盘 36 的多个支撑台 362 上。其中,每个支撑台 362 上可以固定一个碳纳米管阵列。

[0107] 步骤 S33 采用所述拉伸工具依次从每个碳纳米管阵列中拉出一碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线,并依靠该碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线的粘性将该碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线粘附于所述线状结构的表面。

[0108] 其中,采用一拉伸工具从一个碳纳米管阵列中拉取获得一个碳纳米管膜或一个非扭转的碳纳米管线。包括以下步骤:从所述碳纳米管阵列中选定部分碳纳米管;以一定速度沿基本垂直于该碳纳米管阵列生长方向拉伸该部分碳纳米管,以形成一连续的碳纳米管膜。在该拉伸过程中,该部分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,该选定的部分碳纳米管分别与碳纳米管阵列中的其他碳纳米管首尾相连续地连续地被拉出,从而形成一碳纳米管膜或非扭转的碳纳米管线。所述拉伸工具可以为镊子、尺子或胶带。

[0109] 其中,在该步骤 S32 及步骤 S33 中,所述遮蔽元件 38 处于打开状态,使得所述花盘 36 暴露于周围环境中。

[0110] 步骤 S40 为:当启动所述收集单元 40 及包覆单元 30 时,所述供给单元 20 不断提供所述线状结构,该线状结构在该收集单元 40 的作用下不断从所述供给单元 20 中抽出并朝向该收集单元 40 运动,同时带动所述碳纳米管结构不断从所述至少一碳纳米管阵列中拉出,同时,所述驱动机构 32 驱动所述空心旋转轴 34 围绕该空心旋转轴 34 的中心轴 344

旋转。该空心旋转轴 34 的旋转带动所述花盘 36 及设置于该花盘 36 的至少一碳纳米管阵列围绕该空心旋转轴 34 的中心轴 344 旋转,也使得从每个碳纳米管阵列中拉伸出的碳纳米管膜螺旋缠绕于所述线状结构的表面,从而形成所述碳纳米管复合线状结构。所述收集轴 44 在该收集单元 40 的第二电机 42 的驱动下,自动将该碳纳米管复合线状结构缠绕于该收集轴 44 上。因此,所述碳纳米管复合线状结构将连续地被制备出来,并自动被收集。其中,该步骤 S40 实施之前,尤其是开启该包覆单元 30 之前,最好先确保所述遮蔽元件 38 处于闭合状态,使所述花盘 36 包容于该遮蔽元件 38 中。

[0111] 另,当所述花盘 36 的旋转速度一定的情况下,当所述收集轴 44 的旋转速度越大,该收集轴 44 对所述线状结构的牵引速度就越大,所述线状结构的移动速度就越大,那么所述碳纳米管复合线状结构中的碳纳米管层的厚度就越薄;当所述收集轴 44 的旋转速度越小,该收集轴 44 对所述线状结构的牵引速度就越小,所述线状结构的移动速度就越小,那么所述碳纳米管层的厚度就越厚。当所述收集轴 44 的旋转速度一定的情况下,所述花盘 36 的旋转速度越大,所述碳纳米管结构缠绕在所述线状结构的速度就越快,那么所述碳纳米管层的厚度就越厚;所述该花盘 36 的旋转速度越小,所述碳纳米管结构缠绕在所述线状结构的速度就越慢,那么所述碳纳米管层的厚度就越薄。由此可见,所述收集轴 44 的旋转速度及花盘 36 的旋转速度共同影响所述碳纳米管复合线状结构中的碳纳米管层的厚度;即,通过控制第二电机 42 的运转速度及第一电机 328 的运转速度可以控制所述碳纳米管层的厚度。

[0112] 故,所述制备装置 100 可以实现连续的生产碳纳米管复合线状结构,有利工业化的应用。

[0113] 下面将以碳纳米管金丝复合线状结构为例阐述本发明。

[0114] 请参阅图 2 及图 3,本发明实施例提供一种碳纳米管复合线状结构 10。该碳纳米管复合线状结构 10 的直径大约为 40 微米,且由一直径大约为 18 微米的金丝 12 及环绕该金丝 12 的碳纳米管层 14 构成,该碳纳米管层 14 由若干碳纳米管 142 组成。该若干碳纳米管 142 紧密地、均匀分布于该金丝 12 的表面。其中,该碳纳米管复合线状结构 10 是由六个碳纳米管拉膜沿该金丝 12 轴向螺旋缠绕于该金丝 12 的表面而形成的。所述若干碳纳米管 142 中的大多数碳纳米管 142 沿该金丝 12 的轴向螺旋状缠绕于该金丝 12 的表面,且该大多数碳纳米管 142 与其延伸方向上的相邻碳纳米管 142 通过范德华力首尾相连。进一步地,该大多数碳纳米管 142 的延伸方向与其延伸方向上的相邻碳纳米管 142 的延伸方向沿所述金丝 12 螺旋延伸。该大多数碳纳米管 142 中每一碳纳米管 142 的延伸方向与所述金丝 12 的轴向所形成的交叉角大于  $0^{\circ}$  且小于  $90^{\circ}$ 。另外,基本具有同一延伸方向上的碳纳米管 142 与所述金丝 12 的轴向具有基本相同的交叉角。所述直径大约为 40 微米的碳纳米管复合线状结构 10 具有较好的机械性及韧性,且该直径大约为 40 微米的碳纳米管复合线状结构 10 的伸长量可以从所述直径大约为 18 微米的金丝 12 的 5% 提高到 10%。其中,所述“伸长量”一般指在拉力的作用下,所述碳纳米管复合线状结构 10 拉伸后的长度与拉伸前的差值。

[0115] 请参阅图 7,本发明实施例提供一种上述碳纳米管复合线状结构 10 的制备方法,该制备方法可以使用所述制备装置 100。所述碳纳米管复合线状结构 10 的方法包括以下步骤:a、提供一金丝 12 及碳纳米管结构;b、将所述碳纳米管结构缠绕于所述金丝 12 的表面。

其中,步骤 a 中的金丝 12 可以通过所述供给单元 20 提供。所述碳纳米管结构可以通过所述包覆单元 30 提供。步骤 b 可以通过启动所述制备装置 100 实现。

[0116] 具体地,所述碳纳米管复合线状结构 10 的制备方法包括以下步骤:

[0117] W10 通过所述供给单元 20 提供一金丝 12;

[0118] W20 将所述金丝 12 穿过所述包覆单元 30 的空心旋转轴 34 固定于所述收集单元 40;

[0119] W30 通过所述包覆单元 30 提供六个碳纳米管膜 15,并将该六个碳纳米管膜 15 粘附于所述金丝 12;以及

[0120] W40 控制所述包覆单元 30 的驱动机构 32 使所述花盘 36 旋转同时控制收集单元 40 牵引所述金丝 12 做直线运动,使得所述六个碳纳米管膜 15 螺旋缠绕于所述金丝 12。

[0121] 所述步骤 W10 为提供一线轴 16,该线轴 16 缠绕有所述金丝 12;将该线轴 16 悬挂于所述供给单元 20 的导向轴 24 上,并用所述两个固定环 26 将该线轴 16 固定在该导向轴 24。

[0122] 所述步骤 W20 为从所述线轴 16 上抽取一段所述金丝 12,将该金丝 12 依次穿过所述定位元件 60 的定位孔 62 及所述空心旋转轴 34;然后将该金丝 12 缠绕于所述收集轴 44 上。

[0123] 所述步骤 W30 为提供六个生长于基底的超顺排碳纳米管阵列 18;打开所述遮蔽元件 38,分别将该六个生长有超顺排碳纳米管阵列 18 的基底通过双面胶固定到所述花盘 36 的支撑台 362 上;然后,采用一胶带依次从所述六个超顺排碳纳米管阵列 18 中拉出碳纳米管膜 15,并将每个碳纳米管膜 15 粘附到所述金丝 12 的表面;接下来,关闭所述遮蔽元件 38,使得所述花盘 36 包容于该遮蔽元件 38 的收容腔 382 中。

[0124] 在步骤 W40 中,启动所述收集单元 40 的第二电机 42 与所述包覆单元 30 的驱动机构 32 的第一电机 328,该第二电机 42 驱动所述收集轴 44 围绕该收集轴 44 的中心轴 442 做顺时针旋转,此时,所述金丝 12 不断从所述线轴 16 上拉出并朝向该收集轴 44 运动,且六个碳纳米管膜 15 不断从所述六个超顺排碳纳米管阵列 18 中拉出。同时,所述第一电机 328 驱动所述传动机构 320 运转。该传动机构 320 使得所述空心旋转轴 34 围绕其中心轴 344 旋转,从而带动所述花盘 36 旋转。该花盘 36 的旋转使得所述六个超顺排碳纳米管阵列 18 及从该六个碳纳米管阵列 18 中拉出的碳纳米管膜 15 一起跟随该花盘 36 旋转。由于该六个碳纳米管膜 15 的旋转方向与所述金丝 12 的运动方向垂直,所以该六个碳纳米管膜 15 螺旋缠绕在该金丝 12 的表面,从而形成所述碳纳米管复合线状结构 10。由于所述收集轴 44 的旋转,使得所述碳纳米管复合线状结构 10 缠绕在该收集轴 44。随着所述收集单元 40 及包覆单元 30 的运行,金丝 12 不断被拉出,所碳纳米管膜 15 不断从所述碳纳米管阵列 18 中拉出并被缠绕在不断运动的金丝 12 上,从而实现自动生成碳纳米管复合线状结构 10。

[0125] 可以理解,本发明提供的碳纳米管复合线状结构还可以为直径大约 50 微米的碳纳米管铝线复合结构,该碳纳米管铝线复合结构由一个直径大约为 25 微米的铝线及沿该铝线长度方向螺旋排列的若干碳纳米管组成。

[0126] 本发明实施例提供的碳纳米管复合线状结构、其制备装置以及制备方法,具有以下优点:第一,由于碳纳米管具有较好的机械性能及韧性,且具有能增强与其复合的材料的作用,所以,所述碳纳米管复合线状结构中的碳纳米管均匀分布在所述导电线状结



构的表面,使得该碳纳米管复合线状结构 10 具有较好的机械性能和韧性。如,可以使其伸长量从导电线状结构的伸长量的 5% 增加到 10%。因此,本发明提供的碳纳米管复合线状结构具有广泛的应用,如可以用到线缆中,可以作为导线等。第二,本发明实施例提供的碳纳米管复合线状结构通过将碳纳米管结构缠绕在所述导电线状结构的表面来制备,使得该制备方法比较简单,易于实现。第三,本发明实施例提供的制备装置可以使得所述线状结构穿过所述包覆单元固定于所述收集单元,而所述包覆单元中的花盘可以旋转,从而使得设置于该花盘上的碳纳米管阵列也可以旋转,从而使得从碳纳米管阵列中获得的碳纳米管结构可以自动缠绕在所述线状结构上;另外,所述收集单元可以自动牵引所述线状结构及缠绕所述碳纳米管复合线状结构,因此,本发明实施例提供碳纳米管复合线状结构的制备装置可以实现自动制备并收集碳纳米管复合线状结构,使得碳纳米管复合线状结构的制备比较简单,可以实现连续的生产,有利于工业应用。

[0127] 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。

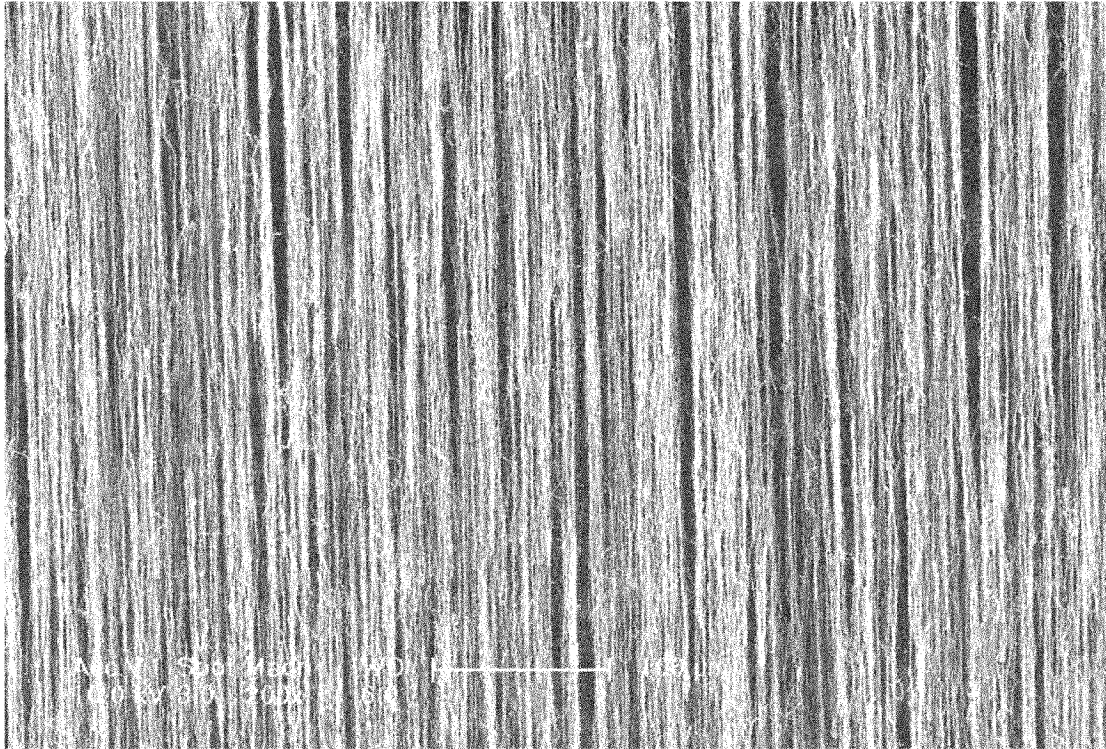


图 1

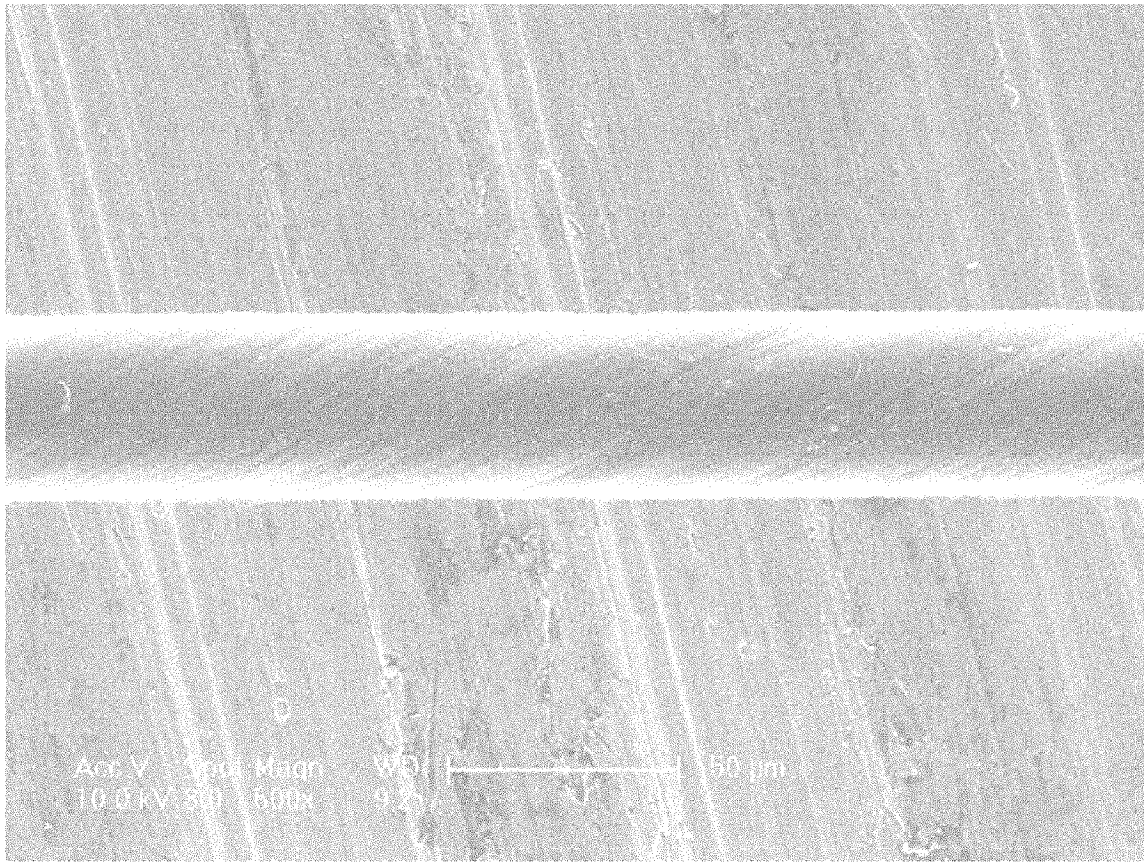


图 2

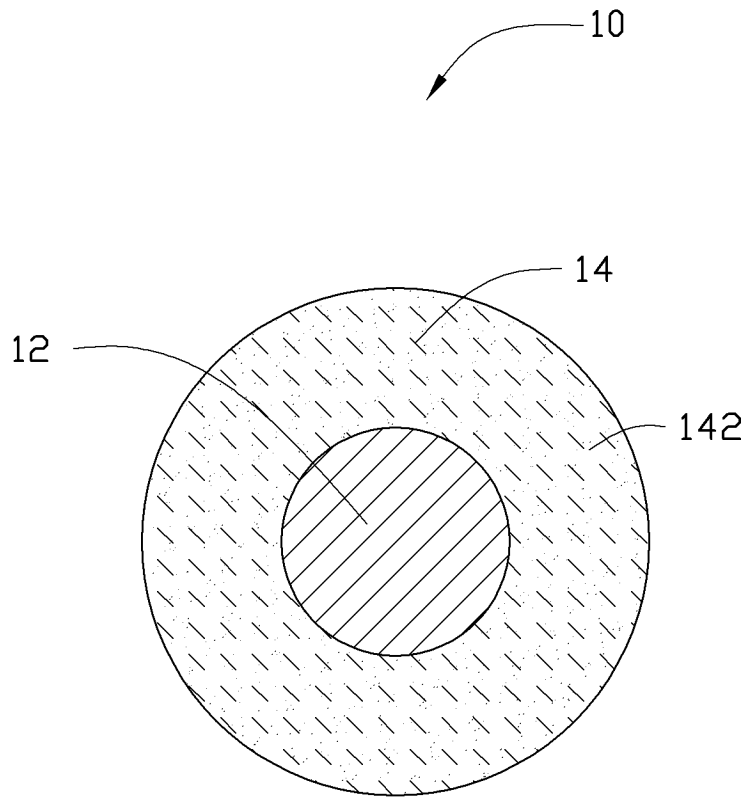


图 3

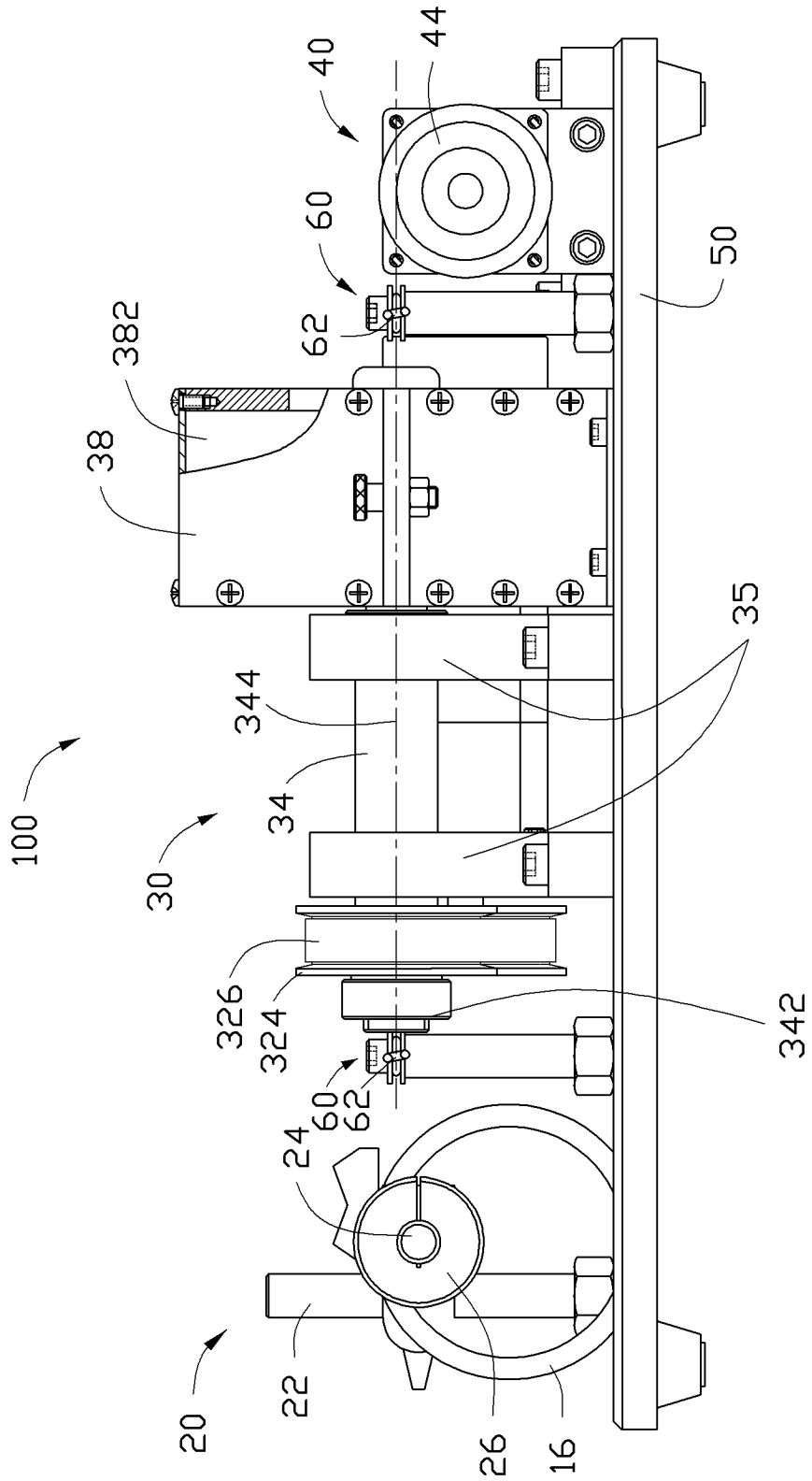


图 4

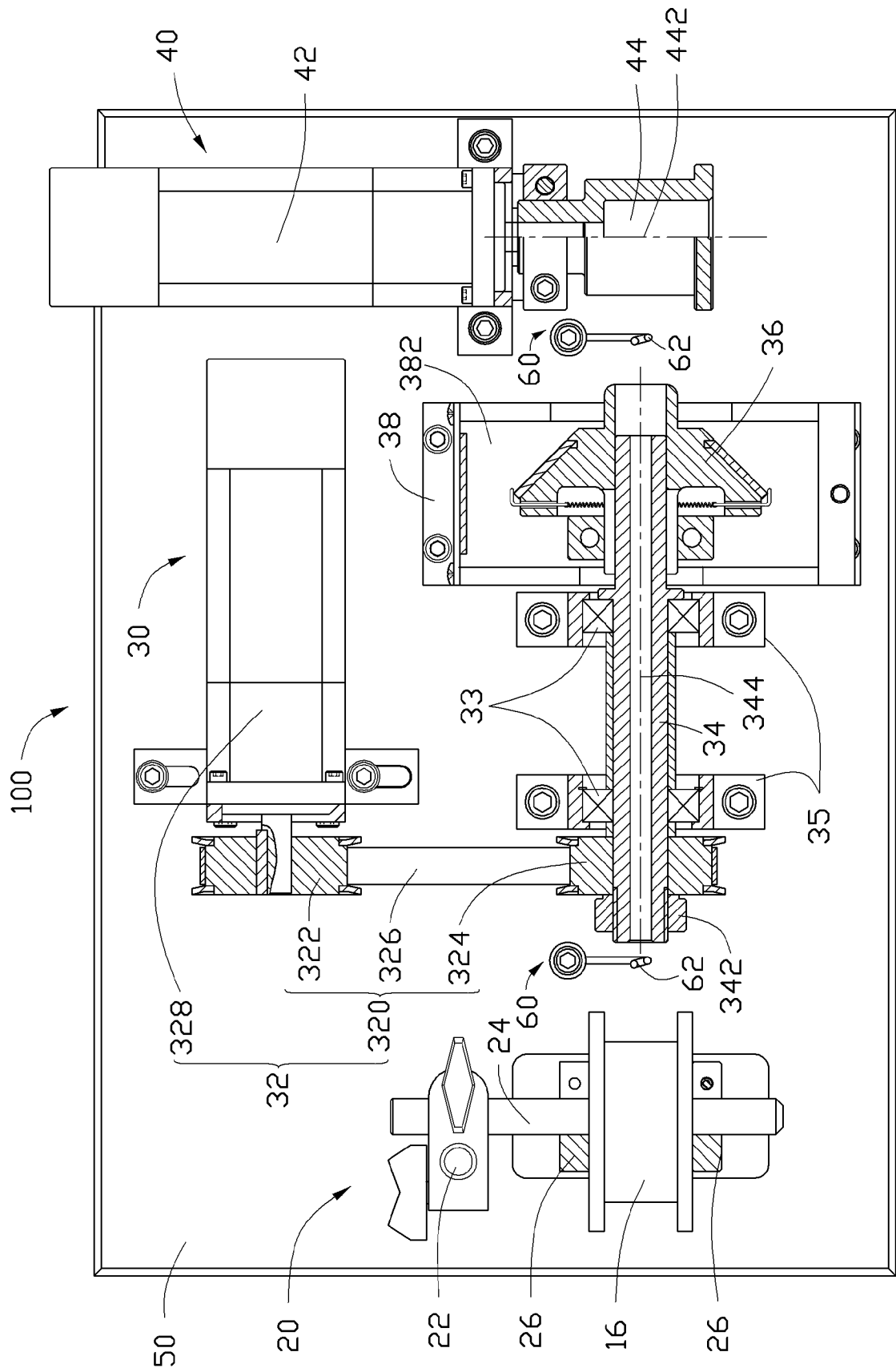


图 5

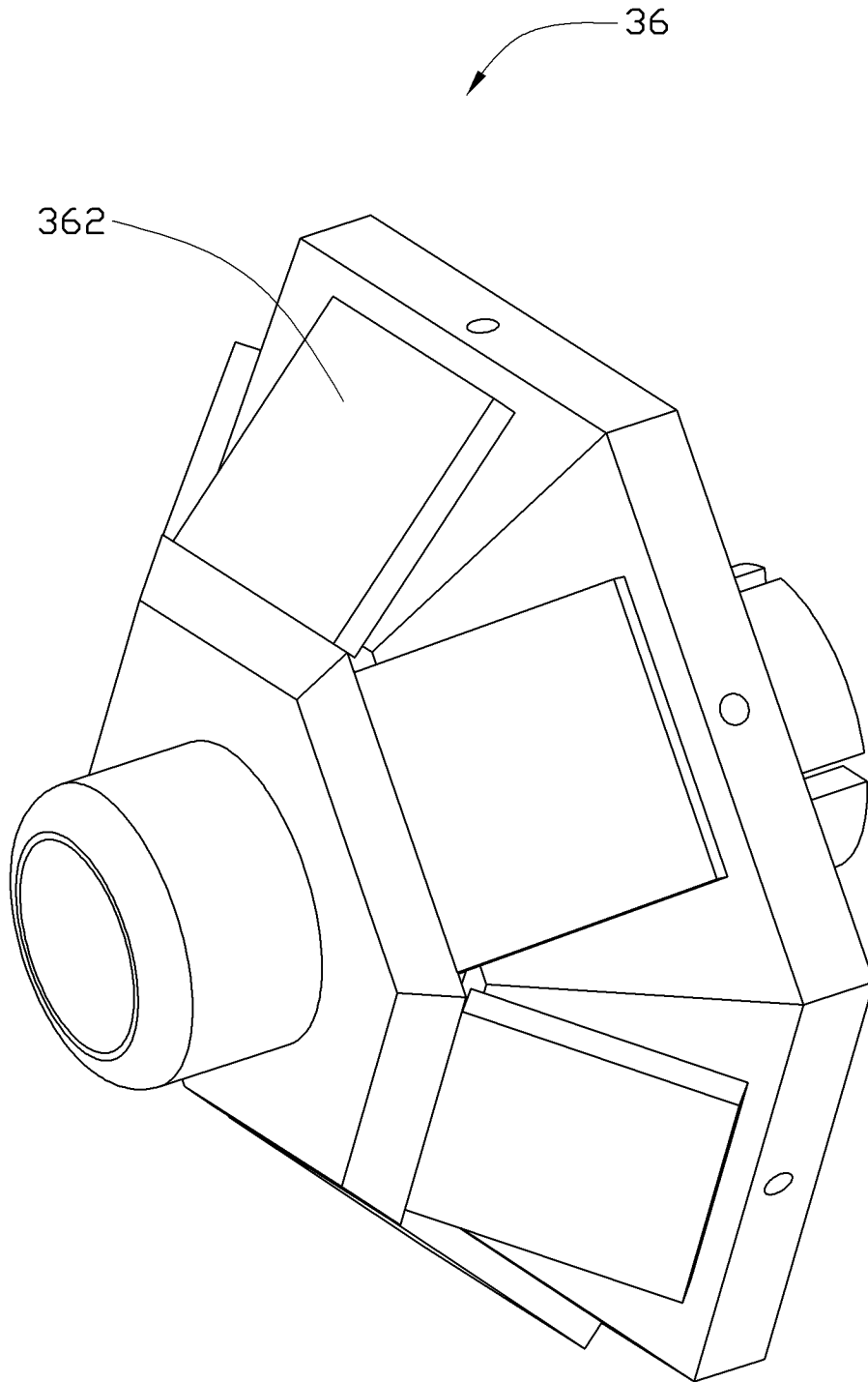


图 6

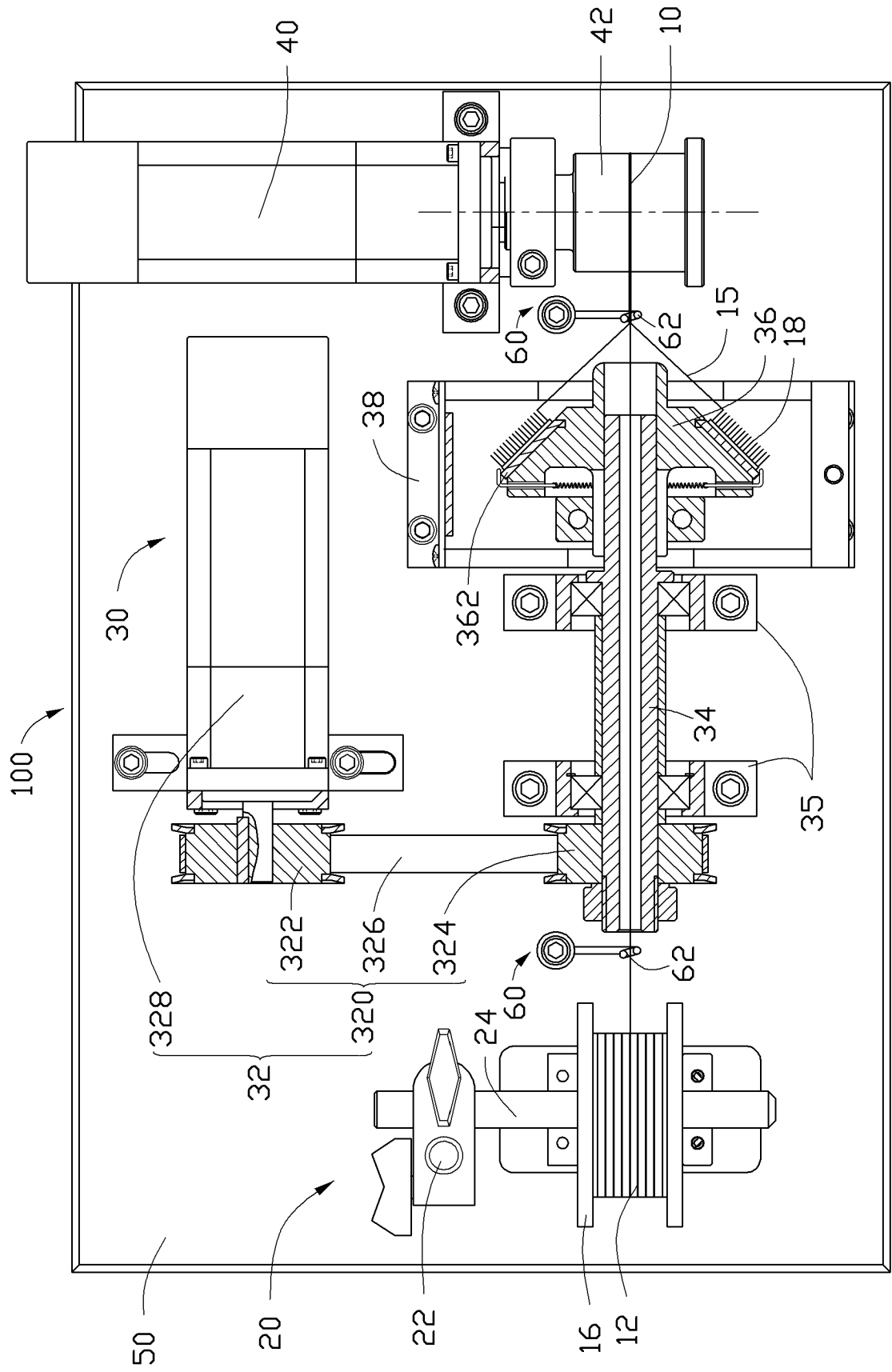


图 7