



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I855155 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 11 日

(21)申請案號：109131777

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 09 月 16 日

(51)Int. Cl. : C01B32/168 (2017.01)

D02G1/02 (2006.01)

D02G3/16 (2006.01)

B82Y40/00 (2011.01)

(30)優先權：2019/09/18 日本

2019-169389

(71)申請人：日商日立造船股份有限公司 (日本) HITACHI ZOSEN CORPORATION (JP)

日本

日商特線工業股份有限公司 (日本) TOKUSEN KOGYO CO., LTD (JP)

日本

(72)發明人：藤本典史 FUJIMOTO, NORIFUMI (JP)；大上寬之 OHUE, HIROYUKI (JP)；太田

榮次 OHTA, EIJI (JP)；山川智弘 YAMAKAWA, TOMOHIRO (JP)

(74)代理人：張仲謙

(56)參考文獻：

TW 201516201A

TW 201726988A

JP 2011-208296A

審查人員：黃敬皓

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：9 共 44 頁

(54)名稱

碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置

(57)摘要

本發明涉及一種碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置。從 VACNTs(2)呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管(10)並束成絲狀，將束成絲狀的半成紗(11)暫時卷收於第一卷收體(12)。之後，一邊從第一卷收體(12)送出半成紗(11)一邊使第一卷收體(12)以沿著半成紗(11)的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗(11)加撚。

指定代表圖：

符號簡單說明：

11:半成紗

12:第一卷收體

14:第二卷收體

15:支撐部

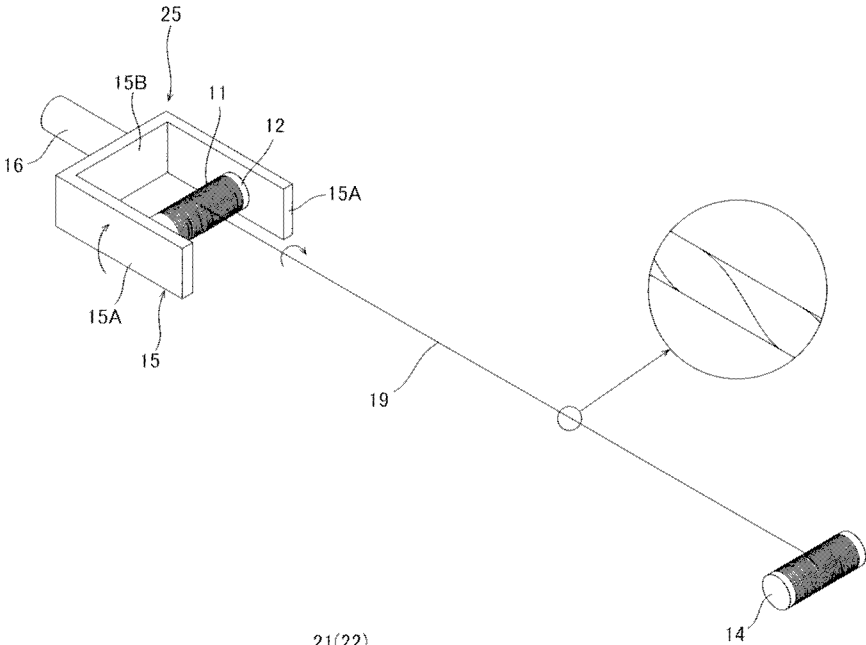
15A:側壁

15B:連結壁

16:旋轉軸

19:碳奈米管加撚紗

25:加撚部



21(22)

圖 2



I855155

【發明摘要】

【中文發明名稱】碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置

【中文】

本發明涉及一種碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置。從 VACNTs (2) 呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管 (10) 並束成絲狀，將束成絲狀的半成紗 (11) 暫時卷收於第一卷收體 (12)。之後，一邊從第一卷收體 (12) 送出半成紗 (11) 一邊使第一卷收體 (12) 以沿著半成紗 (11) 的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗 (11) 加撚。

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

11:半成紗

12:第一卷收體

14:第二卷收體

15:支撐部

15A:側壁

15B:連結壁

16:旋轉軸

19:碳奈米管加撚紗

25:加撚部

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置

【技術領域】

【0001】 本發明涉及一種碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置。

【先前技術】

【0002】 已知碳奈米管具有優異的機械強度、導熱性以及導電性，當前正在研究使複數個碳奈米管形成為絲狀而作為碳奈米管紗線用於各種工業產品。

【0003】 作為這樣的碳奈米管紗線的製造方法，例如提出了一種如下的碳奈米管加撚紗的製造方法：從在基板上生長的碳奈米管陣列抽出複數個碳奈米管連續相連的碳奈米管薄條，之後一邊撚合碳奈米管薄條一邊將碳奈米管薄條撚合而成的碳奈米管加撚紗卷收於紗線卷軸（例如，參照專利文獻1）。

【0004】 這樣的碳奈米管加撚紗的製造方法可以通過如下的紡織裝置來實施，該紡織裝置具備：配置碳奈米管陣列的基板、以及將紗線卷軸可旋轉地支撐的旋轉部。在紡織裝置中向旋轉部及紗線卷軸輸入驅動力，從而旋轉部以與紗線卷軸的軸線交叉的旋轉軸線為中心進行旋轉，並且紗線卷軸以紗線卷軸的軸線為中心進行旋轉。

【0005】 由此，紗線卷軸從碳奈米管陣列連續地抽出碳奈米管薄條，並隨著旋轉部的旋轉一邊撚合碳奈米管薄條一邊卷收碳奈米管加撚紗。

【0006】 現有技術文獻

專利文獻

專利文獻1：日本特開2017-7919號公報

【發明內容】**【0007】 （一）要解決的技術問題**

然而，在專利文獻1記載的碳奈米管加撚紗的製造方法中，為了使紗線卷軸以紗線卷軸的軸線為中心進行旋轉，需要從設置於旋轉部的馬達等驅動源向紗線卷軸輸入驅動力，並經由旋轉部向該驅動源供給電力。

【0008】 因此，研究了如下方案：設置使進行旋轉的旋轉部與外部電源電連接的集電環等旋轉連接用的連接器，來向設置於旋轉部的驅動源供給電力。

【0009】 但是，就集電環等旋轉連接用的連接器而言，在確保旋轉部與外部電源的電連接並謀求提高旋轉部的旋轉速度的方面存在限制。並且設置旋轉連接用的連接器會導致碳奈米管加撚紗的製造裝置的結構變得複雜。

【0010】 因此，研究了如下方案：不使旋轉部旋轉而是使配置有碳奈米管陣列的基板旋轉來撚合碳奈米管薄條。但是，在對碳奈米管加撚紗進行工業生產的情況下，由於基板大型化而難以使基板穩定旋轉，不能充分確保基板的旋轉速度。其結果為，在謀求提高碳奈米管加撚紗的製造效率的方面存在限制。

【0011】 本發明提供一種碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置，能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【0012】（二）技術方案

本發明（1）包括一種碳奈米管加撚紗的製造方法，其包含：從配置在基板上且相對於所述基板垂直地取向的垂直取向碳奈米管呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管並束成絲狀，將束成絲狀的半成紗卷收於第一卷收體的工序；以及一邊從所述第一卷收體送出所卷收的所述半成紗一邊使所述第一卷收體以沿著所述半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對所述半成紗加撚的工序。

【0013】 根據這樣的方法，從垂直取向碳奈米管呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管並束成絲狀，將束成絲狀的半成紗暫時卷收於第一卷收體。之後，一邊從第一卷收體送出半成紗一邊使第一卷收體以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗加撚。

【0014】 因此，不需要旋轉連接用的連接器，與使基板旋轉的情況相比也能夠使第一卷收體穩定地旋轉，並順利地對半成紗加撚。其結果為，能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【0015】 本發明（2）包括上述（1）所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，當沿著與長度方向正交的方向切斷所述半成紗時，所述半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為0.3面積%以上且75面積%以下。

【0016】 根據這樣的方法，以使得半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為上述下限以上的方式將呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀，因此，能夠穩定地形成半成紗。並且，半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為上述上限以下，因此，能夠抑制在將呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀時半成紗發生斷裂。

【0017】 本發明（3）包括上述（2）所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，所述半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為40面積%以下。

【0018】 根據這樣的方法，半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為上述上限以下，因此，能夠穩定地對從第一卷收體送出的半成紗加撚，並能夠提高碳奈米管加撚紗的拉伸強度。

【0019】 本發明（4）包括上述（1）～（3）的任一項所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，當沿著與長度方向正交的方向切斷碳奈米管加撚紗時，所述碳奈米管加撚紗的斷面上的碳奈米管的填充率比所述半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率大，為50面積%以上且90面積%以下。

【0020】 根據這樣的方法，碳奈米管加撚紗的斷面上的碳奈米管的填充率在上述範圍，因此，能夠穩定地提高碳奈米管加撚紗的拉伸強度。

【0021】 本發明（5）包括上述（1）～（4）的任一項所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，所述半成紗的加撚角度是0°以上且10°以下。

【0022】 根據這樣的方法，半成紗的加撚角度在上述範圍，因此，能夠更加穩定地對從第一卷收體送出的半成紗加撚。

【0023】 本發明（6）包括上述（1）～（5）的任一項所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，碳奈米管加撚紗的加撚角度為5°以上且30°以下。

【0024】 根據這樣的方法，碳奈米管加撚紗的加撚角度在上述範圍，因此，能夠更加穩定地提高碳奈米管加撚紗的拉伸強度。

【0025】 本發明（7）包括上述（1）～（6）的任一項所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，將呈線狀連續地抽出的複數個碳奈米管插通於孔而束成絲狀。

【0026】 根據這樣的方法，能夠以簡單的方法穩定地將呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀。

【0027】 本發明（8）包括上述（7）所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，所述孔的內徑相對於所述垂直取向碳奈米管中的所述碳奈米管的抽出位置的寬度而言為 $1/3000$ 以上且 $1/100$ 以下。

【0028】 根據這樣的方法，孔的內徑相對於抽出位置的寬度而言為上述下限以上，因此，能夠穩定地使呈線狀連續的複數個碳奈米管插通於孔。並且，孔的內徑相對於抽出位置的寬度而言為上述上限以下，因此，能夠將半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率調整於規定的範圍。

【0029】 本發明（9）包括上述（1）～（8）的任一項所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，第二卷收體進行旋轉來卷收對從所述第一卷收體送出的所述半成紗加撚而成的碳奈米管加撚紗。

【0030】 根據這樣的方法，第二卷收體進行旋轉來卷收碳奈米管加撚紗，因此，能夠通過使第一卷收體從動於第二卷收體的旋轉而連續地送出半成紗。因此，通過使第一卷收體以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動，並且使第二卷收體進行旋轉驅動，從而能夠連續地製造碳奈米管加撚紗。

【0031】 本發明（10）包括上述（1）～（9）的任一項所述的奈米管加撚紗的製造方法，其中，還包含使碳奈米管加撚紗在長度方向上伸長的工序。

【0032】 根據這樣的方法，能夠使碳奈米管加撚紗在長度方向上伸長，因此，能夠提高碳奈米管加撚紗的斷面上的碳奈米管的填充率，能夠進一步提高碳奈米管加撚紗的拉伸強度。

【0033】 本發明（11）包括一種碳奈米管加撚紗的製造裝置，其具備半成紗製造單元和加撚紗製造單元，所述半成紗製造單元具備：垂直取向碳奈米管，其配置在基板上且相對於所述基板垂直地取向；集束部，其將從所述垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀；以及第一卷收體，其能夠對束成絲狀的半成紗進行卷收，所述加撚紗製造單元具備：第二卷收體，其能夠通過旋轉驅動來卷收從所述第一卷收體送出的所述半成紗；以及支撐部，其將所述第一卷收體以可進行從動旋轉的方式支撐，並能夠使所述第一卷收體以沿著所述半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動。

【0034】 根據這樣的結構，集束部將從配置在基板上的垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀，之後第一卷收體將半成紗暫時卷收。

【0035】 而且，一邊第二卷收體進行旋轉驅動從而使第一卷收體進行從動旋轉而連續地送出半成紗，一邊支撐第一卷收體的支撐部以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動，對半成紗加撚。之後，第二卷收體將加撚而成的碳奈米管加撚紗卷收。

【0036】也就是說，第二卷收體為了使半成紗從第一卷收體連續地送出並且卷收碳奈米管加撚紗而進行旋轉驅動，支撐部為了對半成紗加撚而進行旋轉驅動。因此，與第二卷收體為了一邊對半成紗加撚一邊卷收碳奈米管加撚紗而關於不同的兩個軸線進行旋轉驅動時相比，能夠簡化碳奈米管加撚紗的製造裝置的結構並且以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【0037】本發明（12）包括一種碳奈米管加撚紗的製造裝置，其具備半成紗製造單元和加撚紗製造單元，所述半成紗製造單元具備：垂直取向碳奈米管，其配置在基板上且相對於所述基板垂直地取向；集束部，其將從所述垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀；以及第一卷收體，其能夠對束成絲狀的半成紗進行卷收，所述加撚紗製造單元具備：第二卷收體，其能夠通過旋轉驅動來卷收從所述第一卷收體送出的所述半成紗；以及支撐部，其將所述第二卷收體以可旋轉的方式支撐，並能夠使所述第二卷收體以沿著所述半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動。

【0038】根據這樣的結構，集束部將從配置在基板上的垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀，之後第一卷收體將半成紗暫時卷收。而且，一邊第一卷收體連續地送出半成紗，一邊支撐第二卷收體的支撐部以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動，對半成紗加撚。之後，第二卷收體將加撚而成的碳奈米管加撚紗卷收。因此，能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【0039】本發明（13）包括一種碳奈米管加撚紗的製造裝置，其中，具備半成紗製造單元和加撚紗製造單元，所述半成紗製造單元具備：垂直

取向碳奈米管，其配置在基板上且相對於所述基板垂直地取向；集束部，其將從所述垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀；以及第一卷收體，其能夠對束成絲狀的半成紗進行卷收，所述加撚紗製造單元具備：第二卷收體，其能夠通過旋轉驅動來卷收從所述第一卷收體送出的所述半成紗；以及中間撚紗部，其能夠在所述第一卷收體與所述第二卷收體之間對所述半成紗加撚。

【0040】 根據這樣的結構，集束部將從配置在基板上的垂直取向碳奈米管抽出的呈線狀連續的複數個碳奈米管束成絲狀，之後第一卷收體將半成紗暫時卷收。而且，一邊第二卷收體進行旋轉驅動而從第一卷收體連續地送出半成紗，一邊中間撚紗部在第一卷收體與第二卷收體之間對半成紗加撚。之後，第二卷收體將加撚而成的碳奈米管加撚紗卷收。因此，能夠簡化碳奈米管加撚紗的製造裝置並且以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【0041】 （三）有益效果

就採用本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法而言，能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗，並能夠提高碳奈米管加撚紗的強度。並且與習知的製造方法相比，能夠減小碳奈米管加撚紗發生斷線的概率。

【0042】 就採用本發明的碳奈米管加撚紗的製造裝置而言，能夠簡化結構並且能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗。

【圖式簡單說明】

【0043】 圖1是作為本發明的碳奈米管加撚紗的製造裝置的第一實施方式的碳奈米管加撚紗製造裝置所具備的半成紗製造單元的立體圖。

圖2是作為本發明的碳奈米管加撚紗的製造裝置的第一實施方式的碳奈米管加撚紗製造裝置所具備的加撚紗製造單元的立體圖。

圖3A表示在圖1所示的基板上形成催化劑層的工序。

圖3B接續圖3A表示對基板進行加熱而使催化劑層凝集成複數個粒狀體的工序。

圖3C接續圖3B表示向複數個粒狀體供給原料氣體而使複數個碳奈米管生長的工序。

圖3D接續圖3C表示抽出複數個碳奈米管來製備碳奈米管薄條的工序。

圖4是作為本發明的碳奈米管加撚紗的製造裝置的第二實施方式的碳奈米管加撚紗製造裝置所具備的半成紗製造單元的概要結構圖。

圖5A是用於對本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法的第三實施方式所包括的使碳奈米管加撚紗伸長的工序進行說明的說明圖，且表示把持了碳奈米管加撚紗的端部的狀態。

圖5B接續圖5A表示使碳奈米管加撚紗伸長的狀態。

圖6示出了製造例4的半成紗的掃描電子顯微鏡（SEM）照片。

圖7示出了實施例9的碳奈米管加撚紗的掃描電子顯微鏡（SEM）照片。

圖8是表示實施例1~16中的碳奈米管加撚紗的撚數與碳奈米管加撚紗的拉伸強度的相關的曲線圖。

圖9是表示實施例4、10、13、17~19以及比較例1中的半成紗的填充率與碳奈米管加撚紗的拉伸強度的相關的曲線圖。

【實施方式】

【0044】 1. 第一實施方式

第9頁，共34頁(發明說明書)

(1) 碳奈米管加撚紗的製造方法

本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法的第一實施方式例如包含：如圖1所示那樣從配置於基板1上的垂直取向碳奈米管2（Vertically Aligned carbon nanotubes；以下稱為VACNTs2）中將複數個碳奈米管10（或稱為碳奈米管）呈線狀連續地抽出後束成絲狀，並將束成絲狀的半成紗11卷收於第一卷收體12的工序；以及如圖2所示那樣一邊從第一卷收體12送出半成紗11一邊對半成紗11加撚的工序。

【0045】 在這樣的製造方法中，首先如圖3A~圖3D所示那樣，利用化學氣相生長法（CVD法）使VACNTs2在基板1上生長，來準備配置於基板1上的VACNTs2。

【0046】 具體而言，如圖3A所示，首先，準備基板1。基板1沒有特別限定，例如可舉出用於CVD法的習知的基板並可採用市售產品。

【0047】 作為基板1，例如可舉出矽基板、層疊有二氧化矽膜6的不銹鋼基板5等，較佳較佳地，可舉出層疊有二氧化矽膜6的不銹鋼基板5。此外，在圖1、圖3A~圖3D中，表示基板1為層疊有二氧化矽膜6的不銹鋼基板5的情況。

【0048】 而且，如圖3A所示，在基板1上，較佳較佳地，在二氧化矽膜6上形成有催化劑層7。為了在基板1上形成催化劑層7而利用習知的成膜方法使金屬催化劑在基板1（較佳為二氧化矽膜6）上成膜。

【0049】 作為金屬催化劑，例如可舉出鐵、鈷、鎳等，較佳較佳地舉出鐵。這樣的金屬催化劑可單獨使用或者並用兩種以上。作為成膜方法，

例如可舉出真空蒸鍍以及濺鍍，較佳較佳地舉出真空蒸鍍。由此可在基板1上配置催化劑層7。

【0050】 接著，將配置有催化劑層7的基板1如圖3B所示那樣加熱至例如700℃以上且900℃以下。由此使催化劑層7凝集為複數個粒狀體7A。

【0051】 然後，如圖3C所示那樣向加熱的基板1供給原料氣體。原料氣體包含碳原子數為1~4的烴氣體（低級烴氣體）。作為碳原子數為1~4的烴氣體，例如可舉出甲烷氣體、乙烷氣體、丙烷氣體、丁烷氣體、乙烯氣體、乙炔氣體等，較佳較佳地舉出乙炔氣體。

【0052】 另外，原料氣體根據需要也可以包含氫氣、惰性氣體（例如氮、氬等）、水蒸氣等。

【0053】 原料氣體的供給時間例如為1分鐘以上且60分鐘以下。

【0054】 由此，以複數個粒狀體7A各自為起點而生長複數個碳奈米管10。此外，雖然在圖3C中為了方便而記載了從一個粒狀體7A生長一個碳奈米管10，但是不限於此，也可以是從一個粒狀體7A生長複數個碳奈米管10。

【0055】 複數個碳奈米管10各自可以為單層碳奈米管以及多層碳奈米管的任意一種，並較佳為多層碳奈米管。這樣的碳奈米管10可單獨使用或者並用兩種以上。

【0056】 碳奈米管10的平均外徑例如為1nm以上且100nm以下。碳奈米管10的平均長度（平均軸線方向尺寸）例如為1μm以上，較佳為100μm以上，更較佳為200μm以上，且例如為1000μm以下，較佳為500μm以下，更較佳為400μm以下。另外，在碳奈米管10是多層CNT的情況下，碳奈米

管10的平均內徑例如為0.5nm以上且50nm以下。此外，碳奈米管10的平均內徑以及平均外徑可通過電場發射型掃描電子顯微鏡（FE-SEM）進行測定。碳奈米管10的平均長度例如可通過鐳射位移計、掃描電子顯微鏡（SEM）等的習知的方法進行測定。

【0057】 這樣的複數個碳奈米管10各自在基板1上以彼此大致平行的方式沿著基板1的厚度方向延伸。由此，使複數個碳奈米管10所構成的VACNTs2在基板1上生長。

【0058】 也就是說，複數個碳奈米管10是以相對於基板1正交的方式取向（垂直地取向），且VACNTs2相對於基板1垂直地取向。

【0059】 通過以上方式來準備配置於基板1上的VACNTs2。如圖1所示，VACNTs2具有在與基板1的厚度方向（上下方向）正交的面方向（縱向以及橫向）上延伸的俯視下大致呈矩形的形狀。VACNTs2在橫向上具備複數個由複數個碳奈米管10在縱向上以直線性排列而成的列2A。在VACNTs2中，複數個碳奈米管10在面方向（縱向及橫向）上相互密集。

【0060】 VACNTs2的體積密度例如為 $10\text{mg}/\text{cm}^3$ 以上，較佳為 $20\text{mg}/\text{cm}^3$ 以上，且例如為 $80\text{mg}/\text{cm}^3$ 以下，較佳為 $60\text{mg}/\text{cm}^3$ 以下。此外，VACNTs2的體積密度例如可根據單位面積的品質（單位面積重量：單位 mg/cm^2 ）、和碳奈米管的長度（通過SEM（日本電子株式會社生產）或者鐳射位移計（Keyence Co., Ltd生產）進行測定）而算出。

【0061】 接著，從VACNTs2呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管10。

【0062】 具體而言，是將VACNTs2中各列2A的位於縱向一端部的碳奈米管10利用未圖示的抽出工具一併地保持並以從基板1分離的方式進行牽拉。

【0063】 於是，被牽拉的碳奈米管10如圖3D所示那樣從粒狀體7A拔出。此時，拔出的碳奈米管10附著於相鄰的碳奈米管10，接著將該被附著的碳奈米管10從粒狀體7A拔出。

【0064】 由此，將複數個碳奈米管10依次連續地從VACNTs2抽出，形成複數個碳奈米管10呈線狀連續地相連的碳奈米管單紗8（以下稱為CNT單紗8）。此外，雖然在圖3D中為了方便而記載為碳奈米管10逐根連續地連接並形成CNT單紗8，但實際上是複數個碳奈米管10所形成的束（bundle）連續地相連而形成CNT單紗8。

【0065】 CNT單紗8是未撚合的無撚紗，加撚角度大致為 0° 。CNT單紗8的外徑例如為5nm以上，且例如為100nm以下並較佳為80nm以下。

【0066】 並且，為了如圖1的放大圖所示那樣將各列2A的碳奈米管10同時且平行地一併抽出而在橫向上排列有複數個CNT單紗8。由此，複數個CNT單紗8構成了大致呈片材形狀的碳奈米管薄條9（以下稱為CNT薄條9）。

【0067】 接著，將複數個CNT單紗8（即呈線狀連續的複數個碳奈米管10）束成絲狀。具體而言，是將複數個CNT單紗8插通於作為集束部一例的模具13所具有的孔13A而束成絲狀。也就是說，模具13將從VACNTs2抽出的複數個CNT單紗8束成絲狀。

【0068】 模具13呈圓筒形狀且具有孔13A。孔13A的內徑相對於VACNTs2中的碳奈米管10的抽出位置的寬度（即VACNTs2的橫向尺寸）而言，例如為1/5000以上，較佳為1/3000以上，且例如為1/50以下，較佳為1/100以下。此外，在從複數個VACNTs2抽出CNT單紗8的情況下，各VACNTs2中的碳奈米管10的抽出位置的寬度可以合計。

【0069】 如果孔13A的內徑相對於抽出位置的寬度為上述下限以上，則能夠使複數個CNT單紗8穩定地插通於孔13A。並且孔13A的內徑相對於抽出位置的寬度為上述上限以下，因此，能夠將半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率調整於後述的範圍。

【0070】 此外，雖然在圖1中為了方便而配置一個模具13，但是模具13的個數沒有特別限制。複數個模具13可以彼此空出間隔配置。在這種情況下，複數個CNT單紗8可依次插通於複數個模具13的孔13A。另外，將複數個CNT單紗8束成絲狀的方法不限於上述方法，例如也可以如國際公開第2015/011768號記載的那樣通過設有孔的滑輪將複數個CNT單紗8束成絲狀。

【0071】 由此，將複數個CNT單紗8束成絲狀而形成半成紗11。半成紗11包含沿著半成紗11的長度方向取向的複數個CNT單紗8。

【0072】 當沿著與長度方向正交的方向切斷半成紗11時，半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率例如為0.01面積%以上，較佳為0.3面積%以上，且例如為90面積%以下，較佳為75面積%以下，更較佳為40面積%以下，特別較佳為30面積%以下。此外，填充率例如能夠以如下方式進行

計算。另外，在對填充率計算的說明中，CNT較佳為多層CNT，並將使半成紗11及碳奈米管加撚紗19（後述）統稱為CNT紗線。

【0073】 首先，如下述式（1）所示那樣，計算每根CNT的品質。

【0074】 式（1）

$$W_{CNT} = \frac{\pi}{4} (d_{out}^2 - d_{in}^2) \times h \times \rho_{grap} \quad (1)$$

【0075】 （在式（1）中， d_{out} 表示每根CNT的外徑。 d_{in} 表示每根CNT的內徑。 h 表示每根CNT的平均長度。 ρ_{grap} 表示石墨的密度，且為 2.25g/cm^3 （出處：《理科年表 2001》（文部省國立天文臺編 平成13年）第445頁）。）

每根CNT的外徑以及內徑可通過SEM圖像或者鐳射尺寸計進行測定。每根CNT的平均長度可通過對基板上的VACNTs2的膜厚進行測定來求出。

【0076】 接著，如下述式（2）所示那樣，計算CNT紗線中的一根CNT的平均長度（以下稱為每個單位）的CNT的根數。

【0077】 式（2）

$$N_{CNT} = \frac{W_{yarn}}{W_{CNT}} \quad (2)$$

【0078】 （在式（2）中， N_{CNT} 表示CNT紗線中的每個單位的CNT的根數。 W_{yarn} 表示CNT紗線的每個單位的品質。 W_{CNT} 表示一根CNT的品質。）

在計算半成紗11的斷面中的CNT的填充率的情況下， N_{CNT} 表示半成紗11中的每個單位的CNT的根數， W_{yarn} 表示半成紗11的每個單位的品質。另外，在計算碳奈米管加撚紗19的斷面中的CNT的填充率的情況下， N_{CNT} 表示碳奈米管加撚紗19中的每個單位的CNT的根數， W_{yarn} 表示碳奈米管加撚紗19的每個單位的品質。

【0079】 接著，如下述式（3）所示那樣，計算CNT紗線（半成紗11或者碳奈米管加撚紗19）的斷面中的CNT的填充率。

【0080】 式（3）

$$\text{填充率[面積\%]} = \frac{S_{CNT} \times N_{CNT}}{S_{yarn}} \times 100 \quad (3)$$

【0081】 （在式（3）中， S_{CNT} 表示每根CNT的斷面面積。 S_{yarn} 表示CNT紗線的斷面面積。 N_{CNT} 與式（2）中的 N_{CNT} 含義相同。）
每根CNT的斷面面積（ S_{CNT} ）可通過下述式（4）進行計算。

【0082】 式（4）

$$S_{CNT} = \frac{d_{out}^2}{4} \pi \quad (4)$$

【0083】 （在式（4）中， d_{out} 與式（1）中的 d_{out} 含義相同。）
另外，CNT紗線的斷面面積（ S_{yarn} ）可通過下述式（5）進行計算。

【0084】 式（5）

$$S_{yarn} = \frac{d_{yarn}^2}{4} \pi \quad (5)$$

【0085】（在式（5）中， d_{yarn} 表示CNT紗線的外徑。）

在計算半成紗11的斷面中的CNT的填充率的情況下， S_{yarn} 表示沿著與長度方向正交的方向切斷半成紗11時的斷面面積，在計算碳奈米管加撚紗19的斷面中的CNT的填充率的情況下， S_{yarn} 表示沿著與長度方向正交的方向切斷碳奈米管加撚紗19時的斷面面積。

【0086】如果半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率為上述下限以上，則能夠穩定地形成半成紗11。如果半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率為上述上限以下，則能夠抑制在對複數個CNT單紗8進行集束時半成紗11發生斷裂。尤其是當半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率為40面積％以下時，能夠在後述的對半成紗11加撚的工序中穩定地對半成紗11加撚，並能夠提高後述的碳奈米管加撚紗19或稱為CNT加撚紗）的拉伸強度。

【0087】另外，半成紗11的加撚角度例如為 0° 以上且 10° 以下，並較佳為 5° 以下。也就是說，半成紗11可以是加撚角度為 0° 的無撚紗，也可以是加撚角度為 10° 以下的加撚紗。在使半成紗11成為加撚紗的情況下，使上述的模具13以模具13的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚。

【0088】如果半成紗11的加撚角度在上述範圍，則能夠在後述的對半成紗11加撚的工序中，更加穩定地對半成紗11加撚。

【0089】接著，將束成絲狀的半成紗11卷收於第一卷收體12。

【0090】 第一卷收體12能夠卷收半成紗11。第一卷收體12呈圓柱形狀。第一卷收體12能夠以第一卷收體12的軸線為中心進行旋轉。第一卷收體12的外徑沒有特別限制，例如為1mm以上且300mm以下，較佳為10mm以上且100mm以下。第一卷收體12的軸線方向的尺寸沒有特別限制，例如為10mm以上且100mm以下。而且，第一卷收體12從未圖示的外部驅動源輸入驅動力，以第一卷收體12的軸線為中心進行旋轉驅動，從而在第一卷收體12的周面上卷收半成紗11。

【0091】 由此，半成紗11被向移動方向的下流牽拉，與此同時，從VACNTs2連續地抽出複數個CNT單紗8，並在插通於模具13之後，作為半成紗11連續地卷收於第一卷收體12。

【0092】 此時，半成紗11的移動速度例如為1m/min以上，較佳為50m/min以上，更較佳為100m/min以上，且例如為300m/min以下。

【0093】 接著，如圖2所示那樣，一邊從第一卷收體12送出所卷收的半成紗11一邊對半成紗11加撚。

【0094】 具體而言，是首先將卷收了半成紗11的第一卷收體12安裝於加撚部25。加撚部25具備支撐部15和旋轉軸16。

【0095】 支撐部15大致呈U字狀。支撐部15具有兩個側壁15A和連結壁15B。在兩個側壁15A之間能夠安裝第一卷收體12，兩個側壁15A在第一卷收體12的軸線方向上相互空出間隔配置。第一卷收體12在支撐於兩個的側壁15A的狀態下，不會從未圖示的外部驅動源輸入驅動力。兩個側壁15A將第一卷收體12以可進行從動旋轉的方式支撐。連結壁15B相對於第一卷收體12空出間隔，並連結兩個側壁15A的端部。

【0096】 旋轉軸16相對於連結壁15B位於第一卷收體12的相反側。旋轉軸16的一端部固定於連結壁15B的中央。另外，旋轉軸16從未圖示的外部驅動源輸入驅動力，以旋轉軸16的軸線為中心進行旋轉。由此，支撐部15能夠以旋轉軸16的軸線為中心進行旋轉驅動。此外，旋轉軸16的軸線沿著後述的半成紗11的送出方向。

【0097】 接著，將從第一卷收體12送出的半成紗11架設於第二卷收體14。

【0098】 第二卷收體14能夠通過旋轉驅動來卷收從第一卷收體12送出的半成紗11。第二卷收體14呈圓柱形狀。第二卷收體14能夠以第二卷收體14的軸線為中心進行旋轉。第二卷收體14的外徑沒有特別限制，例如為1mm以上且300mm以下，較佳為10mm以上且100mm以下。第二卷收體14的軸線方向的尺寸沒有特別限制，例如為1mm以上且300mm以下。

【0099】 而且，從未圖示的外部驅動源向第二卷收體14輸入驅動力，並且從未圖示的外部驅動源向旋轉軸16輸入驅動力。於是，第二卷收體14以第二卷收體14的軸線為中心進行旋轉驅動，並且支撐部15以旋轉軸16的軸線為中心進行旋轉驅動。

【0100】 此時，半成紗11因第二卷收體14的旋轉而被牽拉，第一卷收體12進行從動旋轉而連續地送出半成紗11。而且，支撐部15以沿著半成紗11的送出方向的軸線（旋轉軸16的軸線）為中心進行旋轉，從而使第一卷收體12與支撐部15一起以沿著送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚。之後，第二卷收體14進行旋轉來卷收對從第一卷收體12送出的半成紗11加撚而成的碳奈米管加撚紗19。

【0101】也就是說，一邊從第一卷收體12送出半成紗11一邊使第一卷收體12以沿著半成紗11的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚，之後卷收於第二卷收體14。

【0102】此外，雖然在圖2中是第一卷收體12與支撐部15一起以沿著送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚，但是不限於此。例如也可以是，支撐部將第二卷收體14可旋轉地支撐，第二卷收體14與支撐部一起以沿著送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚。

【0103】此外，也可以在第一卷收體12與第二卷收體14之間配置中間撚紗部，一邊從第一卷收體12送出半成紗11一邊中間撚紗部在第一卷收體12與第二卷收體14之間對半成紗11加撚，在通過了中間撚紗部之後將加撚紗卷收於第二卷收體14。例如，可以如國際公開第2015/011768號中記載的那樣，利用紗線製造部所產生的壓縮空氣（空氣）的旋流對半成紗11加撚，之後將加撚紗卷收於第二卷收體14。

【0104】通過以上方式將半成紗11所具備的複數個CNT單紗8相互撚合來製造碳奈米管加撚紗19（CNT線材）。

【0105】碳奈米管加撚紗19的撚數例如為500T/m以上，較佳為1000T/m以上，更較佳為3000T/m以上，且例如為7000T/m以下，較佳為5000T/m以下。

【0106】另外，當沿著與長度方向正交的方向切斷碳奈米管加撚紗19時，碳奈米管加撚紗19的斷面上的碳奈米管10的填充率比半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率大。碳奈米管加撚紗19的斷面上的碳奈米管10的填充率例如為30面積%以上，較佳為超過40面積%，更較佳為50面積%以

上，且例如為90面積%以下，較佳為85面積%以下。此外，碳奈米管加撚紗19的斷面上的碳奈米管10的填充率可通過上述的方法進行計算。

【0107】 如果碳奈米管加撚紗19的斷面上的碳奈米管10的填充率在上述範圍，則能夠穩定地提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0108】 另外，碳奈米管加撚紗19的加撚角度例如為1°以上，較佳為5°以上，更較佳為10°以上，且例如為60°以下，較佳為50°以下，更較佳為30°以下。

【0109】 由於碳奈米管加撚紗19的加撚角度在上述範圍，因此，能夠更加穩定地提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0110】 碳奈米管加撚紗19的拉伸強度例如為200MPa以上，較佳為600MPa以上，更較佳為800MPa以上，且例如為2000MPa以下，較佳為1200MPa以下。此外，碳奈米管加撚紗的拉伸強度可通過如下方式進行計算，即：固定碳奈米管加撚紗的一端，並將碳奈米管加撚紗的另一端固定於測力計，以0.2mm/sec進行提拉，將發生斷裂的負載作為斷裂強度，並將該斷裂強度除以碳奈米管加撚紗的斷面面積。

【0111】 上述的碳奈米管加撚紗19的製造方法例如可通過作為碳奈米管加撚紗的製造裝置一例的碳奈米管加撚紗製造裝置22來實施。碳奈米管加撚紗製造裝置22具備：圖1所示的半成紗製造單元20、圖2所示的加撚紗製造單元21。此外，在對碳奈米管加撚紗製造裝置22的說明中，對於和上述部件相同的部件標注相同的附圖標記，並省略對其的說明。

【0112】如圖1所示，半成紗製造單元20具備：配置於基板1上的VACNTs2、模具13、第一卷收體12。如圖2所示，加撚紗製造單元21具備：第二卷收體14、加撚部25。

【0113】在這樣的碳奈米管加撚紗製造裝置22中，與上述同樣地，從VACNTs2抽出複數個CNT單紗8，並使複數個CNT單紗8插通於模具13所具有的孔13A而束成絲狀。之後，將由複數個CNT單紗8束成絲狀而成的半成紗11架設於第一卷收體12，並使第一卷收體12進行旋轉驅動。

【0114】由此，半成紗11因第一卷收體12的旋轉而被牽拉，從VACNTs2連續地抽出複數個CNT單紗8並在插通於模具13之後，作為半成紗11連續地卷收於第一卷收體12。

半成紗製造單元20通過以上方式來製造捲繞於第一卷收體12的半成紗11。

【0115】之後，從半成紗製造單元20取下捲繞了半成紗11的第一卷收體12。而且，將第一卷收體12安裝於支撐部15，之後從第一卷收體12送出半成紗11，並架設於第二卷收體14。

【0116】接著，使第二卷收體14以第二卷收體14的軸線為中心進行旋轉驅動，並且使支撐部15以旋轉軸16的軸線為中心進行旋轉驅動。

【0117】由此，半成紗11因第二卷收體14的旋轉而被牽拉，從第一卷收體12連續地送出並且通過支撐部15的旋轉進行加撚。之後，第二卷收體14進行旋轉來卷收碳奈米管加撚紗19。

【0118】利用碳奈米管加撚紗製造裝置22通過以上方式來製造碳奈米管加撚紗19。

【0119】 這樣的碳奈米管加撚紗19可用於例如使用碳素纖維的織物（片材）、電氣設備（例如電動機、變壓器、感測器等）的導電線材等各種工業產品。

【0120】 （2）作用效果

如圖1及圖2所示，在上述的碳奈米管加撚紗19的製造方法中，從VACNTs2呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管10並束成絲狀，將束成絲狀的半成紗11暫時卷收於第一卷收體12。之後，一邊從第一卷收體12送出半成紗11一邊使第一卷收體12以沿著半成紗11的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗11加撚。

【0121】 因此，能夠使第一卷收體12以沿著送出方向的軸線為中心穩定地旋轉，能夠順利地對半成紗11加撚。其結果為，能夠以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗19。並且與習知的製造方法相比，能夠減小碳奈米管加撚紗19發生斷線的概率。

【0122】 另外，複數個CNT單紗8以使得半成紗11的斷面中的碳奈米管10的填充率為上述下限以上的方式進行集束。因此，能夠穩定地形成半成紗11。並且半成紗11的斷面中的碳奈米管10的填充率為上述上限以下。因此，能夠抑制在將複數個CNT單紗8束成絲狀時半成紗11發生斷裂。而且，如果半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率為40面積％以下，則能夠穩定地對從第一卷收體12送出的半成紗11加撚，並能夠提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0123】 另外，碳奈米管加撚紗19的斷面上的碳奈米管10的填充率在上述範圍。因此，能夠穩定地提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0124】 另外，半成紗11的加撚角度在上述範圍。因此，能夠更加穩定地對從第一卷收體12送出的半成紗11加撚。

【0125】 另外，碳奈米管加撚紗19的加撚角度在上述範圍。因此，能夠更加穩定地提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0126】 另外，將複數個CNT單紗8插通於模具13的孔13A而束成絲狀。因此，能夠以簡單的方法穩定地將複數個CNT單紗8束成絲狀。

【0127】 另外，孔13A的內徑相對於VACNTs2中的碳奈米管10的抽出位置的寬度而言為上述下限以上。因此，能夠穩定地使複數個CNT單紗8插通於孔13A。並且孔13A的內徑相對於抽出位置的寬度為上述上限以下。因此，能夠將半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率調整於上述範圍。

【0128】 另外，第二卷收體14進行旋轉來卷收對從第一卷收體12送出的半成紗11加撚而成的碳奈米管加撚紗19。因此，能夠通過使第一卷收體12從動於第二卷收體14的旋轉而連續地送出半成紗11。其結果為，通過使第一卷收體12以沿著送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動，並且使第二卷收體14進行旋轉驅動，從而能夠連續地製造碳奈米管加撚紗19。

【0129】 另外，上述的碳奈米管加撚紗19的製造方法可通過碳奈米管加撚紗製造裝置22來實施。具體而言，是在模具13將從VACNTs2抽出的複數個CNT單紗8束成絲狀之後，第一卷收體12將半成紗11暫時卷收。而且，一邊第二卷收體14進行旋轉驅動從而使第一卷收體12進行從動旋轉而連續地送出半成紗11，一邊支撐第一卷收體12的支撐部15以沿著送出方向的軸線為中心進行旋轉驅動，對半成紗11加撚。之後，第二卷收體14將加撚而成的碳奈米管加撚紗19卷收。

【0130】 與第二卷收體14為了一邊對半成紗11加撚一邊卷收碳奈米管加撚紗19而關於不同的兩個軸線進行旋轉驅動時相比，能夠簡化碳奈米管加撚紗製造裝置22的結構並且以工業方式高效地製造碳奈米管加撚紗19。

【0131】 此外，加撚紗製造單元21也可使用通常使用的撚紗機。

【0132】 2. 第二實施方式

接著，參照圖4對本發明的第二實施方式進行說明。此外，在第二實施方式中，對於和上述第一實施方式相同的部件標注相同的附圖標記，並省略對其的說明。

【0133】 就本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法的第二實施方式而言，還包含如圖4所示那樣向從VACNTs2抽出的複數個CNT單紗8供給揮發性液體的工序。

【0134】 作為揮發性液體，例如可舉出水、有機溶劑等，較佳較佳地舉出有機溶劑。作為有機溶劑，例如可舉出低級（C1~3）醇類（例如甲醇、乙醇、丙醇等）、酮類（例如丙酮等）、醚類（例如二乙醚、四氫呋喃等）、烷基酯類（例如乙酸乙酯等）、鹵代脂肪烴類（例如氯仿、二氯甲烷等）、極性非質子類（例如，N-甲基吡咯烷酮、二甲基甲醯胺等）等。

【0135】 在這樣的揮發性液體中，較佳較佳地舉出低級醇類，更較佳較佳地舉出乙醇。這樣的揮發性液體可單獨使用或者並用兩種以上。另外，在揮發性液體中可以分散微粒，也可以溶解金屬鹽和/或樹脂材料。

【0136】 揮發性液體在半成紗11的移動方向上，可以是在模具13的上游側向複數個CNT單紗8（CNT薄條9）供給，也可以在模具13的下游側

向複數個CNT單紗8（半成紗11）供給，另外，也可以是在上游側和下游側雙方進行供給。此外，從使揮發性液體均勻地浸透半成紗11的觀點出發，較佳為揮發性液體在半成紗11的移動方向上，是在模具13的上游側向複數個CNT單紗8（CNT薄條9）供給。

【0137】而且，在向複數個CNT單紗8供給揮發性液體時，例如是朝向複數個CNT單紗8呈霧狀噴灑揮發性液體。在這種情況下，碳奈米管加撚紗製造裝置22的半成紗製造單元20具備噴灑部30。

【0138】在本實施方式中，噴灑部30配置為朝向位於VACNTs2和模具13之間的複數個CNT薄條9。另外，也可以如假想線所示那樣配置為，噴灑部30朝向位於模具13和第一卷收體12之間的半成紗11。噴灑部30能夠噴灑上述的揮發性液體。

【0139】而且，被供給揮發性液體的複數個CNT單紗8根據需要可進行乾燥，之後作為半成紗11卷收於第一卷收體12。

【0140】此外，向複數個CNT單紗8供給揮發性液體的方法不限於以上所述，例如也可以使複數個CNT單紗8浸漬於揮發性液體。

【0141】在這樣的第二實施方式中，使揮發性液體氣化，從而在各CNT單紗8中使複數個碳奈米管10相互凝集，並且在半成紗11中使複數個CNT單紗8相互凝集。因此，能夠提高半成紗11的斷面上的碳奈米管10的填充率。

【0142】另外，在向揮發性液體中分散微粒、或者溶解金屬鹽和/或樹脂材料的情況下，能夠在半成紗11中複合其它材料，進而能夠在碳奈米管加撚紗19中複合其它材料。

【0143】 採用這樣的第二實施方式，也能夠實現與上述第一實施方式同樣的作用效果。

【0144】 3. 第三實施方式

接著，參照圖5A及圖5B對本發明的第三實施方式進行說明。此外，在第三實施方式中，對於和上述第一實施方式相同的部件標注相同的附圖標記，並省略對其的說明。

【0145】 就本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法的第三實施方式而言，還包含如圖5A及圖5B所示那樣使碳奈米管加撚紗19沿長度方向伸長的工序。

【0146】 例如，利用把持部件31對從第二卷收體14送出的碳奈米管加撚紗19的兩端進行把持，並使碳奈米管加撚紗19沿長度方向伸長。

【0147】 由此，能夠提高碳奈米管加撚紗19的斷面中的碳奈米管10的填充率，能夠進一步提高碳奈米管加撚紗19的拉伸強度。

【0148】 此外，使碳奈米管加撚紗19伸長的方法不限於上述，例如也可以在加撚紗製造單元21中一邊對半成紗11加撚一邊進行伸長。

【0149】 採用這樣的第三實施方式，也能夠實現與上述第一實施方式同樣的作用效果。並且這些第一實施方式~第三實施方式可以適當組合。

【0150】 （實施例）

以下示出實施例並更具體地說明本發明，但本發明並不限於此。以下記載中使用的配合比例（含量比例）、物性值、參數等具體的數值可以替換為上述“具體實施方式”中記載的與它們對應的配合比例（含量比例）、物性

值、參數等該記載的上限值（定義為“以下”、“不足”的數值）或者下限值（定義為“以上”、“超過”的數值）。

【0151】 <製造例1~6>

在不銹鋼制的基板（不銹鋼基板）的表面層疊二氧化矽膜之後，在二氧化矽膜上作為催化劑層而蒸鍍鐵。接著，將基板加熱至規定的溫度，並向催化劑層供給原料氣體（乙炔氣體）。由此在基板上形成俯視下大致呈矩形的形狀的VACNTs。

【0152】 接著，從VACNTs抽出複數個CNT單紗並將複數個CNT單紗以使得半成紗的填充率成為表1的的方式插通於模具的孔而束成絲狀。此外，以使得從VACNTs抽出複數個CNT單紗的寬度（CNT的量）相同的方式，利用模具的孔的內徑對半成紗的填充率進行調整。之後，使第一卷收體進行旋轉驅動，將由複數個CNT單紗束成絲狀而成的半成紗卷收於第一卷收體。

【0153】 通過以上方式製造半成紗。半成紗的斷面上的CNT的填充率、半成紗的加撚角度、以及半成紗的直徑如表1所示。而且，圖6示出了製造例4的半成紗的掃描電子顯微鏡（SEM）照片。

【0154】

（表1）

No.		製造例 1	製造例 2	製造例 3	製造例 4	製造例 5	製造例 6
半成紗	填充率	0.3	3.2	10	30	50	75
	[面積 %]						
	加撚角度	0	0	0	0	0	0
	[°]						
直徑		513	163	81	52	43	33

	[μm]						
--	------	--	--	--	--	--	--

【0155】 <實施例1~5>

從第一卷收體送出製造例1的半成紗（填充率為0.3面積％），並以使得碳奈米管加撚紗的撚數成為表2所示值的方式，使第一卷收體以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗加撚。

【0156】 通過以上方式製造碳奈米管加撚紗。碳奈米管加撚紗的撚數、碳奈米管加撚紗的加撚角度、碳奈米管加撚紗的直徑、碳奈米管加撚紗的斷面上的CNT的填充率、以及碳奈米管加撚紗的拉伸強度如表2所示。

【0157】 <實施例6~11>

從第一卷收體送出製造例4的半成紗（填充率為30面積％），並以使得碳奈米管加撚紗的撚數成為表3所示值的方式，使第一卷收體以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗加撚。

【0158】 通過以上方式製造碳奈米管加撚紗。碳奈米管加撚紗的撚數、碳奈米管加撚紗的加撚角度、碳奈米管加撚紗的直徑、碳奈米管加撚紗的斷面上的CNT的填充率、以及碳奈米管加撚紗的拉伸強度如表3所示。另外，圖7示出了實施例9的碳奈米管加撚紗的掃描電子顯微鏡（SEM）照片。

【0159】 <實施例12~16>

從第一卷收體送出製造例6的半成紗（填充率為75面積％），並以使得碳奈米管加撚紗的撚數成為表4所示值的方式，使第一卷收體以沿著半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對半成紗加撚。

【0160】 通過以上方式製造碳奈米管加撚紗。碳奈米管加撚紗的撚數、以及碳奈米管加撚紗的拉伸強度如表4所示。

【0161】 （表2）

No.	實施例 1	實施例 2	實施例 3	實施例 4	實施例 5
半成紗的填充率	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
[面積%]					
撚數	1000	3000	4000	5000	7000
[T/m]					
加撚角度	-	-	-	25	-
[°]					
直徑	39	33	31	27	28
[μm]					
碳奈米管加撚紗的填充率	42	58	66	87	81
[面積%]					
拉伸強度	300	600	800	1050	650
[MPa]					

【0162】 （表3）

No.	實施例 6	實施例 7	實施例 8	實施例 9	實施例 10	實施例 11
半成紗的填充率	30	30	30	30	30	30
[面積%]						
撚數	500	1000	2000	3000	4000	5000
[T/m]						
加撚角度	-	10	-	-	25	30
[°]						
直徑	40	38	34	31	29	29
[μm]						
碳奈米管加撚紗的填充率	40	44	55	66	75	75
[面積%]						
拉伸強度	350	400	550	800	900	700

[MPa]						
-------	--	--	--	--	--	--

【0163】（表4）

No.	實施例 12	實施例 13	實施例 14	實施例 15	實施例 16
半成紗的填充率	75	75	75	75	75
[面積%]					
撚數	500	1000	1500	2000	2500
[T/m]					
加撚角度	-	20	-	-	25
[°]					
直徑	33	32	32	32	33
[μm]					
碳奈米管加撚紗的填充率	58	62	62	62	58
[面積%]					
拉伸強度	700	750	700	600	400
[MPa]					

【0164】＜考察＞

圖8示出了實施例1~16中的碳奈米管加撚紗的撚數與碳奈米管加撚紗的拉伸強度的相關。如圖8所示確認了：在半成紗的填充率為0.3面積%的情況下，當撚數為5000T/m時（實施例4），碳奈米管加撚紗的拉伸強度最大，在半成紗的填充率為30面積%的情況下，當撚數為4000T/m時（實施例10），碳奈米管加撚紗的拉伸強度最大，在半成紗的填充率為75面積%的情況下，當撚數為1000T/m時（實施例13），碳奈米管加撚紗的拉伸強度最大。即確認了：根據每種半成紗的填充率，碳奈米管加撚紗的拉伸強度最大的撚數不同，碳奈米管加撚紗的最大拉伸強度不同。

【0165】＜實施例17~19＞

對應於表5所示各製造例的半成紗，製造碳奈米管加撚紗的撚數不同的複數個碳奈米管加撚紗，確認了採用各製造例的半成紗時的碳奈米管加撚紗的最大拉伸強度。其結果在表5中示出。

【0166】 <比較例1>

作為現有例，從與製造例1同樣地製備的VACNTs抽出複數個CNT單紗並且使基板旋轉，對複數個CNT單紗一邊進行卷收一邊加撚，製造碳奈米管加撚紗。在表5中示出碳奈米管加撚紗的最大拉伸強度。

【0167】 （表5）

No.	比較例 1	實施例 4	實施例 17	實施例 18	實施例 10	實施例 19	實施例 13
製造例	-	製造例 1	製造例 2	製造例 3	製造例 4	製造例 5	製造例 6
半成紗的填充率	0	0.3	3.2	10	30	50	75
[面積%]							
最大拉伸強度	800	900	900	900	900	850	750
[MPa]							

【0168】 <考察>

圖9示出了實施例4、10、13、17~19以及比較例1中的半成紗的填充率與碳奈米管加撚紗的拉伸強度的相關。此外，在圖9中為了方便而將比較例1的半成紗的填充率記載為0面積%。如圖9所示確認了：當半成紗的填充率為30面積%以下時，能夠確保較高的碳奈米管加撚紗的拉伸強度，另一方面，當半成紗的填充率為50面積%以上時，碳奈米管加撚紗的拉伸強度會降低。

【0169】 另外，在比較例中使基板旋轉，因此從VACNTs抽出的薄條撚成三角形狀（扇形狀），薄條的三角形的角度對加撚角度產生直接影響，因此加撚的間隔容易在碳奈米管加撚紗的長度方向上擴展。與此相對，在實施例中，

對半成紗加撚時在旋轉軸（第一卷收體）上加撚，因此加撚的碳奈米管加撚紗的間隔在長度方向上變窄而拉伸強度變強。在比較例的製造方法中，也存在頻繁發生斷線而不能製作較長尺寸的碳奈米管加撚紗等問題。

【0170】 此外，雖然作為本發明的例示的實施方式提供了上述發明，但是其僅為例示而非限定性的解釋。對於所屬技術領域中具有通常知識者顯而易見的本發明的變形例包含於本發明的申請專利範圍。

【0171】 工業實用性

本發明的碳奈米管加撚紗的製造方法以及碳奈米管加撚紗的製造裝置適合製造在各種工業產品中使用的碳奈米管加撚紗。碳奈米管加撚紗例如適合用於使用碳素纖維的織物（片材）、以及電子設備（例如電動機、變壓器、感測器等）的導電線材。

【符號說明】

【0172】

1:基板

10:碳奈米管

11:半成紗

12:第一卷收體

13:模具

13A:孔

14:第二卷收體

15:支撐部

15A:側壁

15B:連結壁

16:旋轉軸

19:碳奈米管加撚紗

2:垂直取向碳奈米管

20:半成紗製造單元

21:加撚紗製造單元

22:碳奈米管加撚紗製造裝置

25:加撚部

30:噴灑部

31:把持部件

5:不銹鋼基板

6:二氧化矽膜

7:催化劑層

7A:粒狀體

8:碳奈米管單紗

9:碳奈米管薄條

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，包含：

從配置在一基板上且相對於該基板垂直地取向的一垂直取向碳奈米管呈線狀連續地抽出複數個碳奈米管並束成絲狀，將束成絲狀的一半成紗卷收於一第一卷收體的工序；以及

一邊從該第一卷收體送出所卷收該半成紗一邊使該第一卷收體以沿著該半成紗的送出方向的軸線為中心進行旋轉，對該半成紗加撚的工序；

當沿著與長度方向正交的方向切斷該半成紗時，該半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為 40 面積％以下。

【請求項2】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

該半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率為 0.3 面積％以上且 40 面積％以下。

【請求項3】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

當沿著與長度方向正交的方向切斷一碳奈米管加撚紗時，該碳奈米管加撚紗的斷面上的碳奈米管的填充率比該半成紗的斷面上的碳奈米管的填充率大，為 50 面積％以上且 90 面積％以下。

【請求項4】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

該半成紗的加撚角度為 0°以上且 10°以下。

【請求項5】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

一碳奈米管加撚紗的加撚角度為 5°以上且 30°以下。

【請求項6】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

將呈線狀連續地抽出的複數個碳奈米管插通於一孔而束成絲狀。

【請求項7】 如請求項 6 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

該孔的內徑相對於該垂直取向碳奈米管中的該碳奈米管的抽出位置的寬度而言為 $1/3000$ 以上且 $1/100$ 以下。

【請求項8】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

一第二卷收體進行旋轉來卷收對從該第一卷收體送出的該半成紗加撚而成的一碳奈米管加撚紗。

【請求項9】 如請求項 1 所述的碳奈米管加撚紗的製造方法，其中，

還包含使一碳奈米管加撚紗在長度方向上伸長的工序。

【發明圖式】

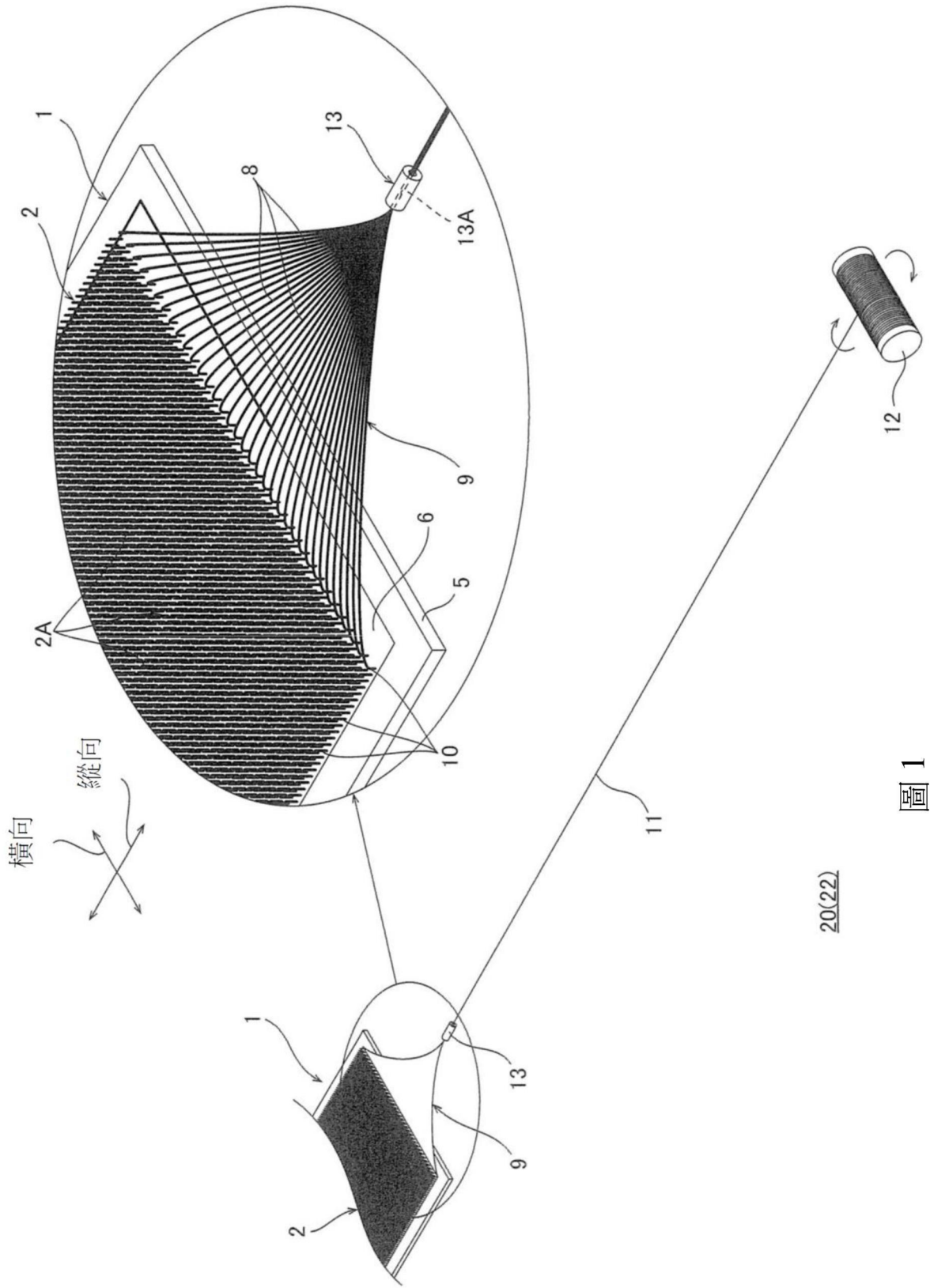
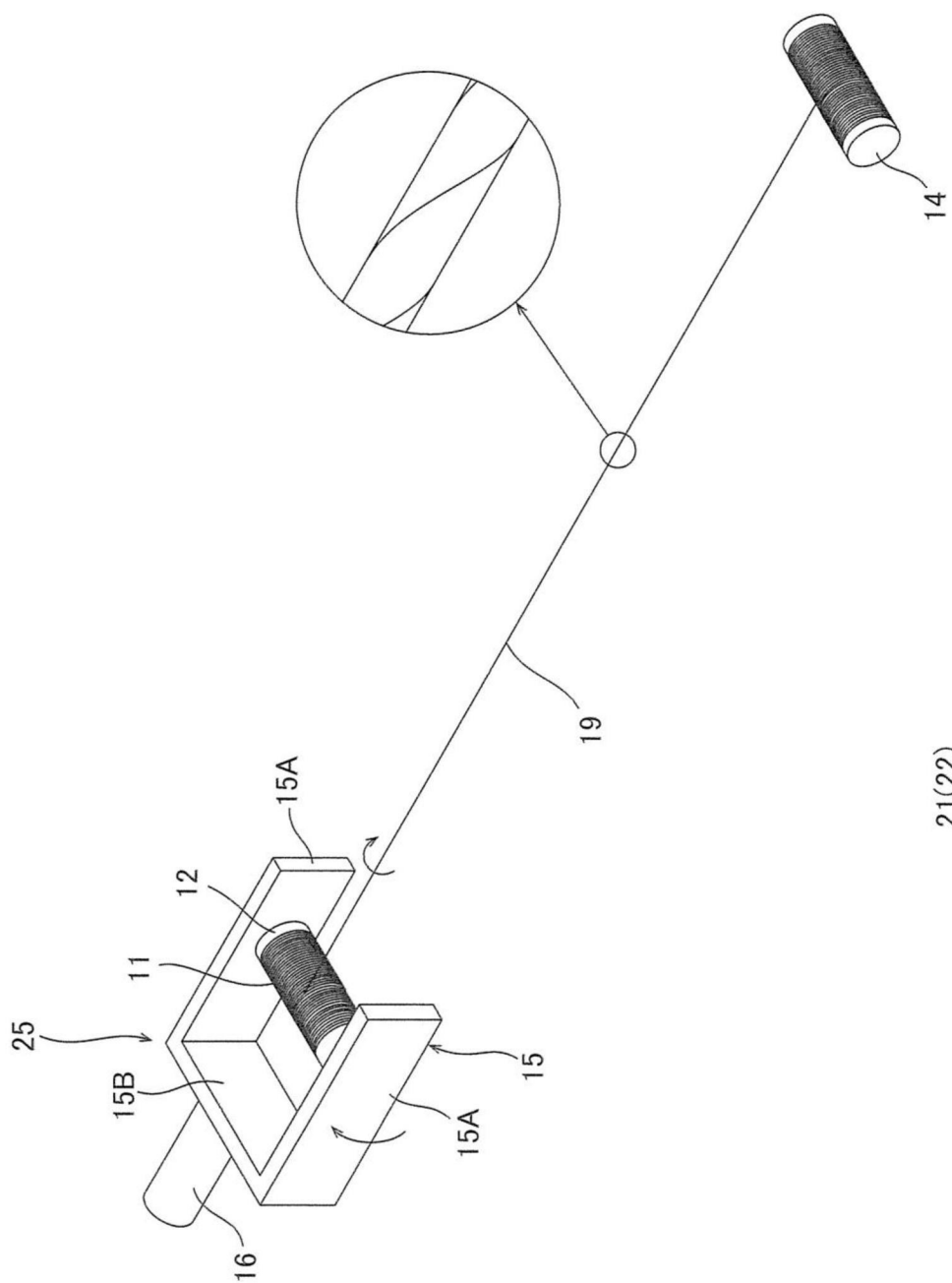


圖 1

20(22)



21(22) 圖 2

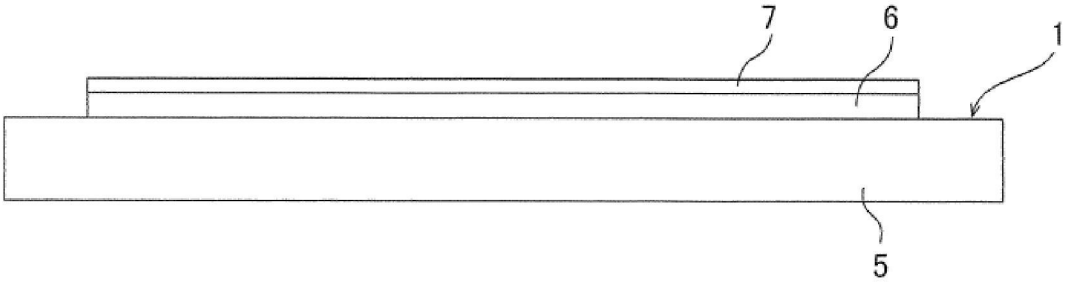


圖 3A

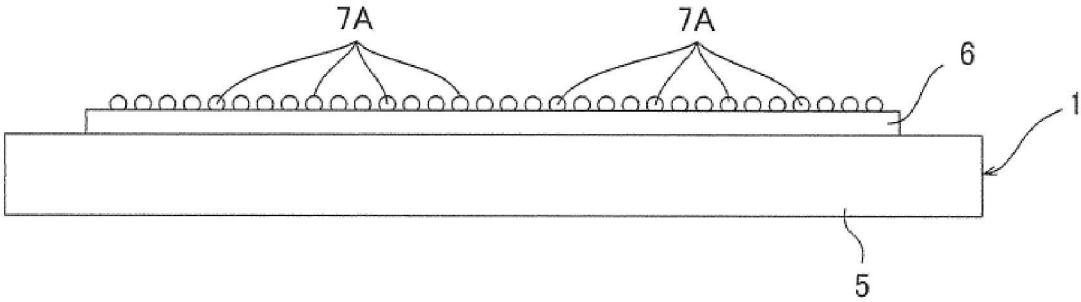


圖 3B

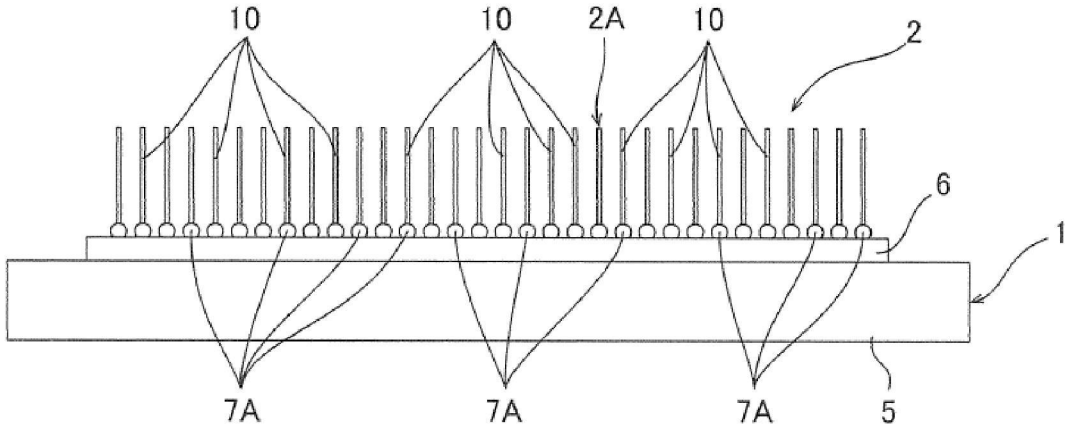


圖 3C

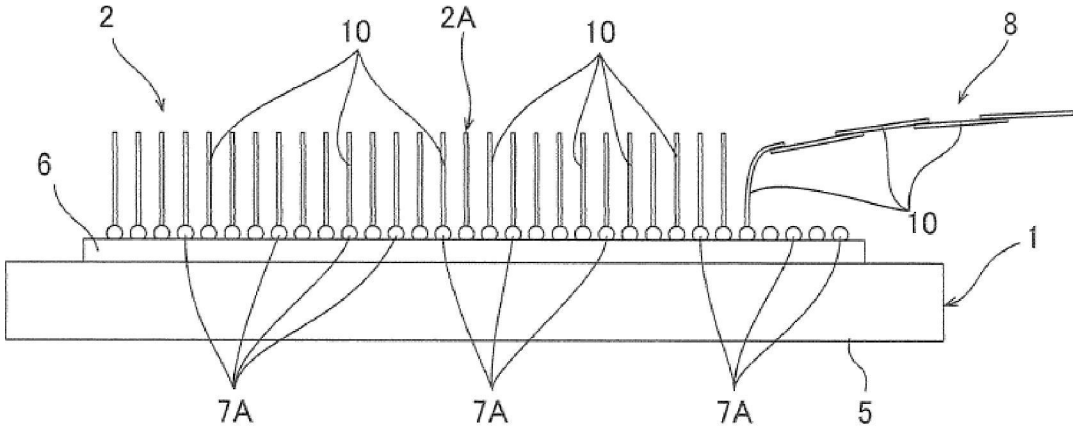


圖 3D

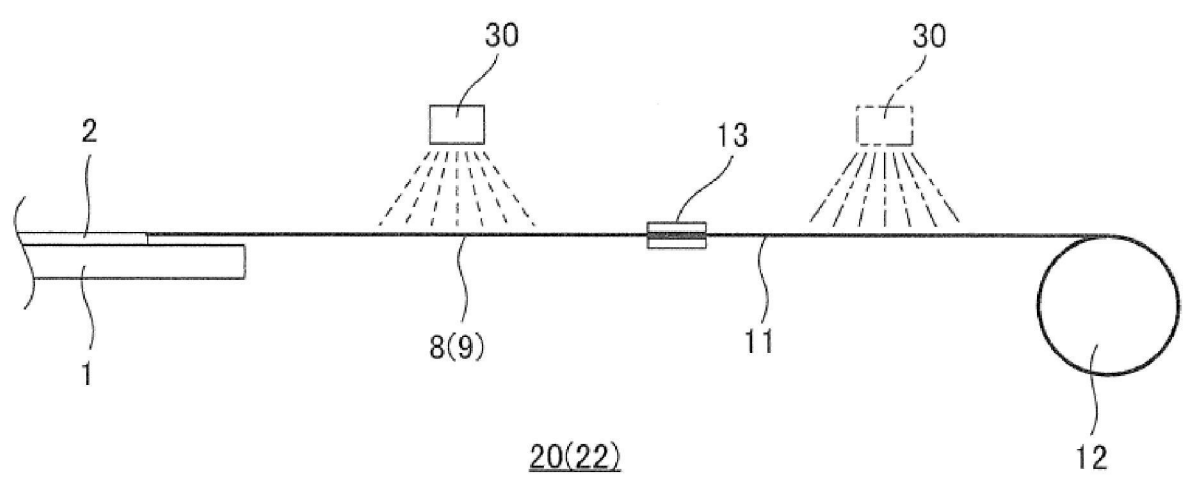


圖 4

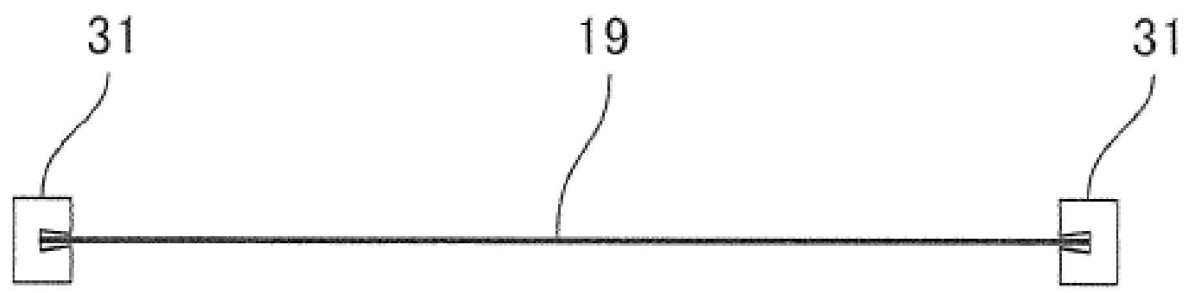


圖 5A

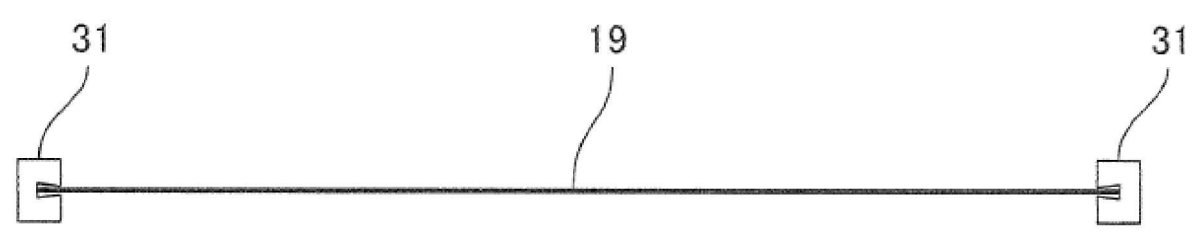


圖 5B

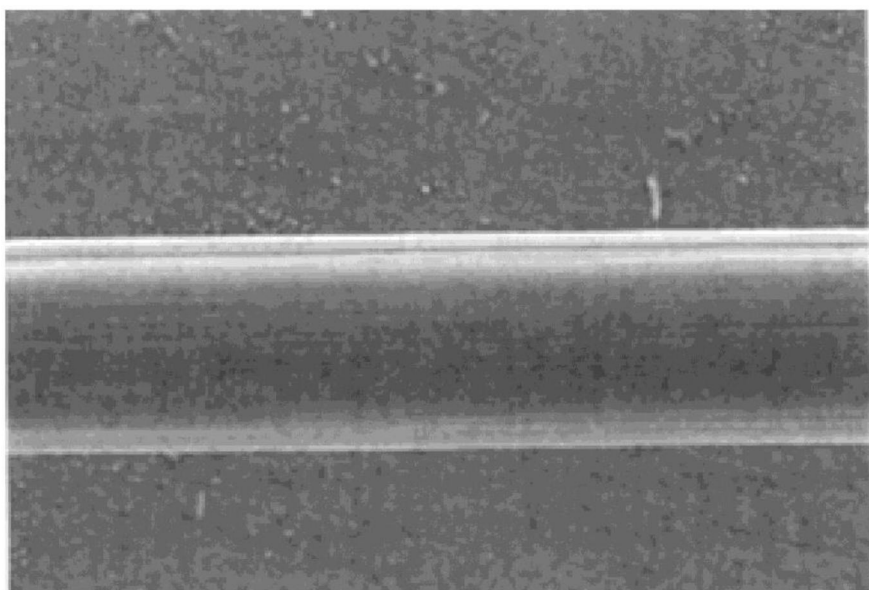


圖 6

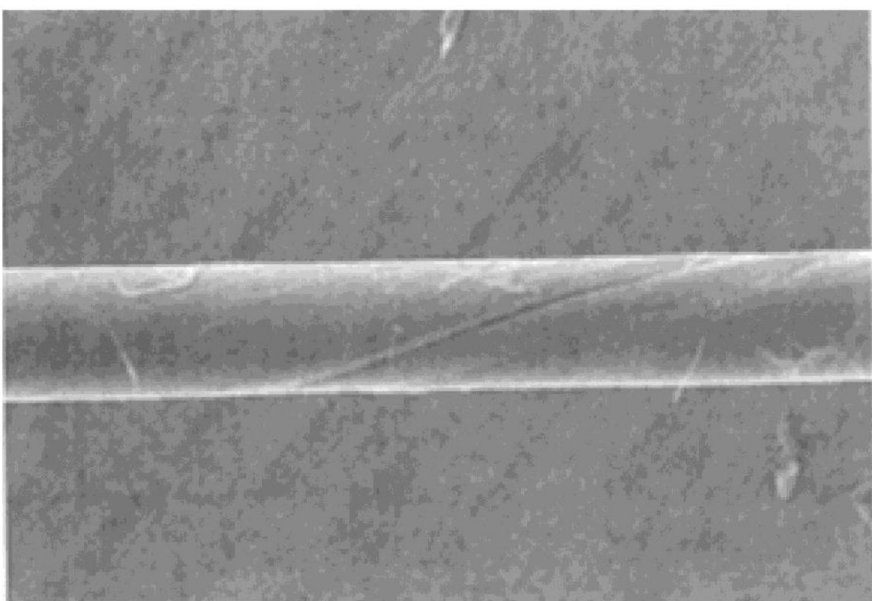


圖 7

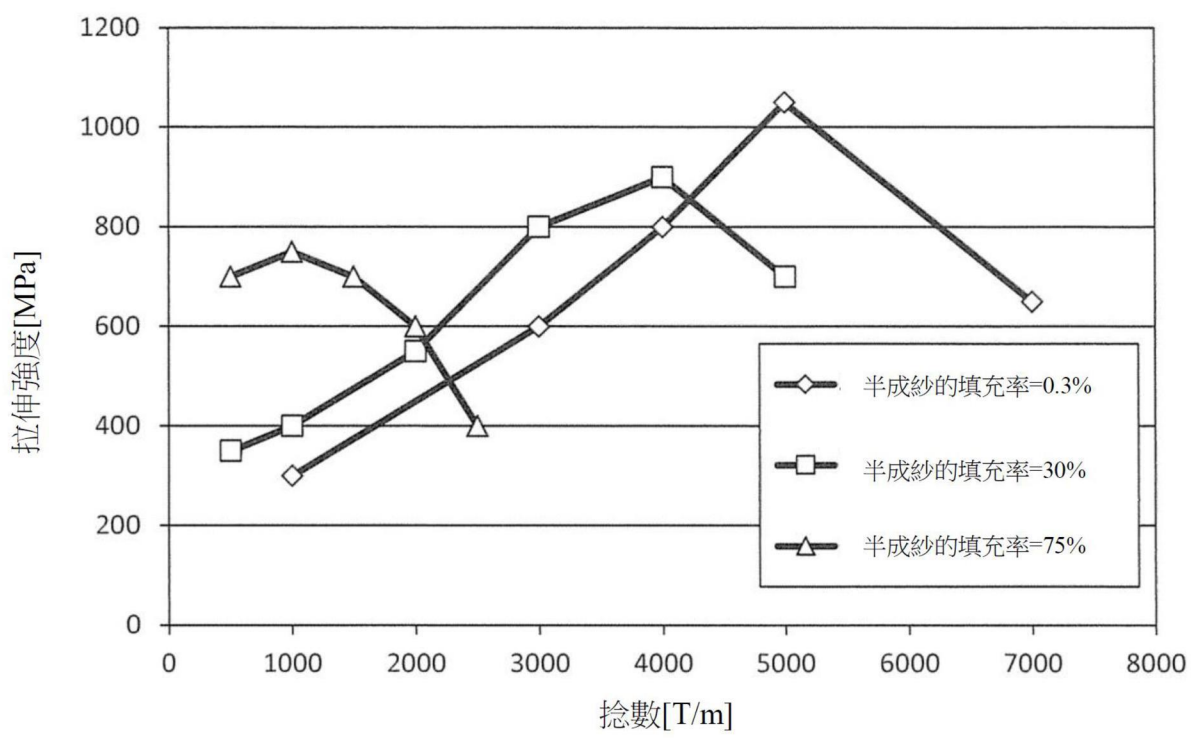


圖 8

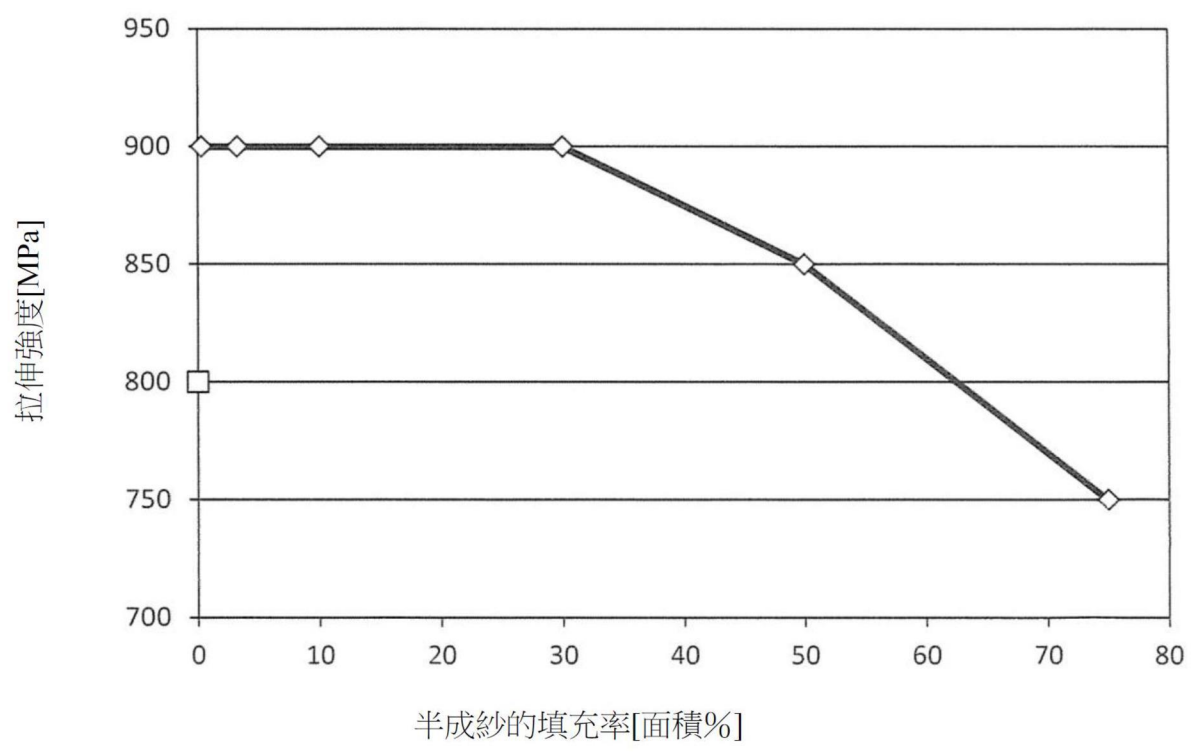


圖 9