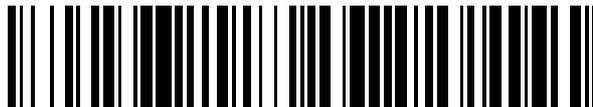


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 425**

51 Int. Cl.:

H01B 11/18 (2006.01)

H01B 13/016 (2006.01)

H01B 1/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2009 E 09250173 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2013 EP 2085979**

54 Título: **Cable coaxial y procedimiento de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

01.02.2008 CN 200810066046

01.02.2008 CN 200810066044

09.04.2008 CN 200810066299

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.12.2013

73 Titular/es:

FUNATE INNOVATION TECHNOLOGY CO. LTD.

(50.0%)

**B1115, R&D Plaza, Tsinghua Science Park,
Shuangqing Road, Haidian District**

Beijing, CN y

HON HAI PRECISION INDUSTRY CO., LTD.

(50.0%)

72 Inventor/es:

JIANG, KAI-LI;

LIU, LIANG;

LIU, KAI;

ZHAO, QING-YU;

ZHAI, YONG-CHAO y

FAN, SHOU-SHAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 435 425 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Cable coaxial y procedimiento de fabricación del mismo

La presente divulgación se refiere a cables coaxiales y a un procedimiento de fabricación de los mismos, más concretamente, a un cable coaxial a base de nanotubos de carbono y al procedimiento de fabricación de los mismos.

5 Los cables coaxiales son utilizados como soportes para transferir energía eléctrica y señales. Un cable coaxial convencional incluye un alma, una capa aislante por fuera del alma, y una capa de blindaje por fuera de la capa aislante, generalmente rodeada por una capa de envainado. El alma incluye al menos un hilo conductor. El hilo conductor puede ser un hilo macizo o trenzado, y la capa de blindaje puede ser, por ejemplo, un papel metalizado enrollado, una cinta tejida o una trenza. Sin embargo, cuando el hilo conductor está fabricado en metal, se producirá un efecto superficial en el hilo conductor, de manera que la resistencia efectiva del cable resulta mayor, lo que provoca la degradación durante la transmisión. Así mismo, el hilo conductor y la capa de blindaje fabricados en metal presentan menos resistencia debido a su mayor tamaño. Por tanto, los cables coaxiales deben tener un peso y un diámetro, en uso, comparativamente mayores.

10 Un procedimiento relacionado de fabricación de un cable coaxial incluía las siguientes etapas: el revestimiento de un polímero sobre una superficie interna del al menos un hilo conductor para formar una capa aislante; la aplicación de una pluralidad de hilos de metal o de hilos de metal trenzados sobre la capa aislante para formar una capa de blindaje; el recubrimiento de una capa de envainado sobre el exterior de la capa de blindaje.

15 Los nanotubos de carbono (CNTs) son un material carbonáceo y que ha suscitado un gran interés desde principios de los 90. Los nanotubos de carbono presentan interesantes y potencialmente útiles propiedades conductoras del calor, propiedades eléctricas y mecánicas. Se ha desarrollado un hilo conductor fabricado mediante una mezcla de nanotubos de carbono y metal. Sin embargo, los nanotubos de carbono del hilo conductor de la técnica anterior están dispuestos de manera desordenada. De esta manera, el efecto superficial mencionado con anterioridad no ha sido todavía eliminado en los cables coaxiales que emplean nanotubos de carbono. En el documento US 2007/293086 A1, se proporcionan unos cables con un alma que incluye nanotubos de carbono. El alma está fabricado en una aleación de nanotubos de carbono y cobre - plata. Sin embargo, la humectabilidad entre la aleación de nanotubos de carbono y cobre - plata es deficiente. La aleación de cobre - plata presenta un deficiente contacto con los nanotubos de carbono. La conductividad del cable necesita ser mejorada.

20 Lo que se necesita, por tanto, es un cable coaxial que presente una conductividad satisfactoria, con un rendimiento mecánico elevado, sea ligero de peso y tenga un pequeño diámetro para solventar los inconvenientes mencionados con anterioridad, y un procedimiento de fabricación del mismo.

25 Vista desde un primer aspecto, la presente invención proporciona un cable coaxial que comprende: un alma que comprende una pluralidad de nanotubos de carbono que presentan al menos un revestimiento conductor dispuesto alrededor de los nanotubos de carbono, en el que los nanotubos de carbono y el revestimiento conductor están organizados bajo la forma de al menos un hilo composite de nanotubos de carbono y los nanotubos de carbono están dispuestos de forma ordenada; una capa aislante que envuelve el alma; una capa de blindaje que envuelve la capa aislante; y una capa de envainado que envuelve la capa de blindaje; caracterizado porque el revestimiento conductor comprende una capa conductora y una capa humectante situada entre los nanotubos de carbono y la capa conductora.

30 Vista desde un aspecto adicional, la presente invención proporciona un procedimiento para fabricar un cable coaxial que comprende las etapas de:

- (a) la provisión de una estructura de nanotubos de carbono que comprende una pluralidad de nanotubos de carbono;
- (c) la formación de un hilo composite de nanotubos de carbono a partir de los nanotubos de carbono con al menos un revestimiento conductor;
- 45 (d) la envuelta de al menos una capa de material aislante del hilo composite de nanotubos de carbono;
- (e) la envuelta de una capa de material de blindaje dentro de la al menos una capa de material aislante; y
- (f) el revestimiento de al menos una capa de material de envainado sobre al menos una capa de material de blindaje, caracterizado porque el procedimiento comprende además las etapas de:
- 50 (b) la formación de al menos un revestimiento conductor sobre una pluralidad de nanotubos de carbono de la estructura de nanotubos de carbono, en el que el revestimiento conductor comprende una capa conductora, una capa humectante situada entre los nanotubos de carbono y la capa conductora, una capa de transición entre la capa humectante y la capa conductora y una capa antioxidante alrededor de la capa conductora.

Otras características y ventajas novedosas del presente cable coaxial a base de nanotubos de carbono y del procedimiento de fabricación del mismo se pondrán de manifiesto de manera más acabada a partir de la descripción detallada subsecuente de formas de realización ejemplares tomadas en combinación con los dibujos que se acompañan.

5 Muchos aspectos del presente cable coaxial y del procedimiento de fabricación del mismo pueden ser mejor entendidos con referencia a los dibujos que se acompañan. Los componentes de los dibujos no están necesariamente trazados a escala, poniéndose por el contrario especial énfasis en la claridad de la ilustración de los principios del presente cable coaxial y del procedimiento de la fabricación del mismo.

La FIG. 1 es una vista en sección transversal esquemática de un cable coaxial que presenta una pluralidad de nanotubos de carbono, de acuerdo con una primera forma de realización.

10 La FIG. 2 es una vista en sección transversal esquemática de un nanotubo de carbono individual del cable coaxial de la FIG. 1, revestido con un revestimiento conductor.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento de fabricación de un cable coaxial de la FIG. 1.

La FIG. 4 es un sistema de fabricación del cable coaxial de la FIG. 1.

15 La FIG. 5 muestra una imagen de un Microscopio Electrónico de Barrido [Scanning Electron Microscope] (SEM) de una película de nanotubos de carbono utilizada en el procedimiento de fabricación del cable coaxial de la FIG. 1.

La FIG. 6 muestra una imagen del SEM de la película de nanotubos de carbono con al menos una capa de revestimiento conductor respectivamente revestida sobre cada nanotubo de carbono utilizado en el procedimiento de la FIG. 3.

20 La FIG. 7 muestra una imagen de un Microscopio Electrónico de Transmisión [Transmission Electron Microscope] (TEM) de un nanotubo de carbono dentro de la película de nanotubos de carbono con al menos una capa de revestimiento conductor individualmente revestida sobre ella del nanotubo de carbono de la FIG. 6.

La FIG. 8 muestra una imagen del SEM de una estructura a modo de hilo de nanotubos de carbono torsionados individualmente revestidos, de acuerdo con la primera forma de realización.

25 La FIG. 9 muestra una imagen del SEM de los nanotubos de carbono con al menos una capa de revestimiento conductor individualmente revestida sobre aquellos en la estructura a modo de hilo de nanotubos de carbono torsionados de la FIG. 8.

La FIG. 10 muestra una vista en sección transversal esquemática de un cable coaxial, de acuerdo con una segunda forma de realización.

30 La FIG. 11 muestra una sección transversal esquemática de un cable coaxial, de acuerdo con una tercera forma de realización.

La FIG. 12 muestra una vista en sección transversal esquemática de un cable coaxial empleado con un solo alma que presenta una estructura a modo de hilo de nanotubos de carbono, de acuerdo con una cuarta forma de realización.

La FIG. 13 muestra una vista esquemática del alma única del cable coaxial de la FIG. 12.

35 La FIG. 14 muestra una vista en sección transversal esquemática de la estructura a modo de hilos de nanotubos de carbono de la FIG. 13, en el que la estructura a modo de hilo de nanotubos de carbono comprende una pluralidad de hilos de nanotubos de carbono.

La FIG. 15 muestra una imagen de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) de un hilo de nanotubos de carbono torsionados cuando es empleado por la estructura a modo de hilos de nanotubos de carbono de la FIG. 12.

40 La FIG. 16 muestra una imagen del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) de un hilo de nanotubos de carbono torsionados cuando se emplea por la estructura a modo de hilos de nanotubos de carbono de la FIG. 12.

45 Los caracteres de referencia correspondientes indican las correspondientes partes a lo largo de las diversas vistas. Las ejemplificaciones incluidas en la presente memoria ilustran al menos una forma de realización del presente cable coaxial y del procedimiento de fabricación del mismo, en al menos una forma, y dichas ejemplificaciones no deben ser interpretadas en modo alguno como limitativas del alcance de la invención.

A continuación se hará referencia a los dibujos para describir, con detalle, las formas de realización del presente cable coaxial y del procedimiento de fabricación del mismo.

Con referencia a la FIG. 1, un cable 10 coaxial de acuerdo con una primera forma de realización, incluye un alma 110, una capa 120 aislante, una capa 130 de blindaje, y una capa 140 de envainado. La capa 130 aislante envuelve

el alma 110. La capa 130 de blindaje envuelve la capa aislante 120. La capa 140 de envainado envuelve la capa 130 de blindaje. El alma 110, la capa 120 aislante, la capa 130 de blindaje, y la capa 140 de envainado son coaxiales.

El alma 110 puede ser al menos un hilo composite de nanotubos de carbono. En concreto, el alma 110 puede incluir un hilo composite de nanotubos de carbono único o una pluralidad de hilos composite de nanotubos de carbono. Aquí, el alma 110 incluye un hilo composite de nanotubos de carbono. El diámetro del hilo composite de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente 4,5 nanómetros y aproximadamente 1 mm. Aquí, el diámetro del hilo composite de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente 1 micrómetro y aproximadamente 30 micrómetros.

El hilo composite de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos 111 de carbono (mostrados en la FIG. 2) y al menos un revestimiento conductor cubierto sobre las superficies externas de los nanotubos de carbono. Cada revestimiento conductor comprende al menos una capa 114 conductora. Los nanotubos 100 de carbono están unidos extremo con extremo por una fuerza atractiva de van der Waals entre ellos. Así mismo, el hilo composite de nanotubos de carbono puede ser un hilo composite de nanotubos de carbono torsionados con una pluralidad de nanotubos 111 de carbono alineados alrededor del eje geométrico del hilo composite de nanotubos de carbono torsionados, como una hélice. El hilo composite de nanotubos de carbono puede también ser un hilo composite de nanotubos de carbono no torsionados, y los nanotubos 111 de carbono del hilo composite de nanotubos de carbono no torsionados están dispuestos alrededor de un eje geométrico del hilo composite de nanotubos de carbono (por ejemplo, los nanotubos de carbono son relativamente rectos y el eje geométrico de los nanotubos 111 de carbono son paralelos al eje geométrico del hilo composite de nanotubos de carbono no torsionado). Un diámetro del hilo composite de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente 4,5 nanómetros y aproximadamente 100 micrómetros. Aquí, el diámetro del hilo composite de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente 10 nanómetros y aproximadamente 30 micrómetros.

Con referencia a la FIG. 2, cada uno de los nanotubos 111 de carbono del hilo composite de nanotubos de carbono (no mostrados) está cubierto por al menos un revestimiento conductor dispuesto sobre su superficie exterior. Un revestimiento conductor está en contacto directo con la superficie exterior del nanotubo 111 de carbono individual. Más en concreto, la al menos una capa de revestimiento conductor puede también incluir una capa 112 humectante, una capa 113 de transición y una capa 115 antioxidante. Como se indicó con anterioridad, el revestimiento conductor presenta al menos una capa 114 conductora. En la presente forma de realización, al menos un revestimiento conductor incluye una capa 112 humectante, que se aplica a la superficie circunferencial exterior del nanotubo 111 de carbono, una capa 113 de transición que cubre la superficie circunferencial de la capa 112 humectante, al menos una capa 114 conductora que envuelve la superficie circunferencial exterior de la capa 113 de transición, y una capa 115 antioxidante que cubre la superficie circunferencial exterior de la capa 114 conductora.

La humectabilidad entre los nanotubos de carbono y la mayor parte de los tipos de metal es deficiente. Por tanto, si se utiliza, la capa 112 humectante está configurada para proporcionar una transición satisfactoria entre el nanotubo 111 de carbono y la capa 114 conductora. El material de la capa 112 humectante puede ser seleccionado entre el grupo compuesto por hierro (Fe), cobalto (Co), Níquel (Ni), Paladio (Pd), Titanio (Ti), y cualquier aleación combinatoria de estos. Un grosor de la capa 112 humectante oscila entre aproximadamente 1 nanómetro y aproximadamente 10 nanómetros. Aquí, el material de la capa 112 humectante es Ni y el grosor de la capa 112 humectante es de aproximadamente 2 nanómetros.

La capa 113 de transición está dispuesta para combinar la capa 112 humectante con una capa 114 conductora. El material de la capa 113 de transición debe ser un material que trabaje bien tanto con el material de la capa 112 humectante como con el material de la capa 114 conductora. Materiales tales como el cobre (Cu), plata (Ag), o aleaciones de estos pueden ser utilizados. Un grosor de una capa 113 de transición oscila entre aproximadamente 1 nanómetro y aproximadamente 10 nanómetros. Aquí, el material de la capa 113 de transición es Cu y el grosor es de aproximadamente 2 nanómetros. Así mismo se puede entender que la capa 113 de transición es opcional.

La capa 114 conductora está dispuesta para potenciar la conductividad del hilo torsionado de nanotubos de carbono. El material de la capa 114 conductora puede ser seleccionado entre cualquier material conductor apropiado incluyendo Cu, Ag, oro (Au) y cualquier aleación combinatoria de estos. Un grosor de la capa 114 conductora oscila entre aproximadamente 1 nanómetro y aproximadamente 20 nanómetros. Aquí, el material de la capa 114 conductora es Ag y presenta un grosor de aproximadamente 10 nanómetros.

La capa 115 antioxidante está configurada para impedir que la capa 114 conductora resulte oxidada cuando la capa 114 conductora está expuesta al aire y para impedir la reducción de la conductividad del alma 110. El material de la capa 115 antioxidante puede ser cualquier material apropiado como por ejemplo el oro (Au), platino (Pt), y cualquier otro material metálico antioxidante o aleaciones combinatorias de estos. Un grosor de la capa 115 antioxidante oscila entre aproximadamente 1 nanómetro y aproximadamente 10 nanómetros. En la presente forma de realización, el material de la capa 115 antioxidante es Pt y el grosor es de aproximadamente 2 nanómetros. Se puede entender que la capa 115 antioxidante es opcional en la práctica.

Así mismo, una capa 116 de refuerzo puede ser aplicada sobre la superficie exterior del revestimiento conductor para potenciar la resistencia de los nanotubos de carbono revestidos. El material de la capa 116 de refuerzo puede

ser cualquier material apropiado incluyendo un polímero con una elevada resistencia, como por ejemplo acetato de polivinilo (PVA), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), o parafenileno benzobisoxazol (PBO). Un grosor de la capa 116 de refuerzo oscila aproximadamente entre 0,1 y aproximadamente 1 micrómetro. En la presente forma de realización, la capa 116 de refuerzo cubre la capa 115 antioxidante. El material de la capa 116 de refuerzo es PVA y el grosor de la capa 116 de refuerzo es de aproximadamente 0,5 micrómetros. Se puede entender que la capa 116 de refuerzo es opcional en uso.

La capa 120 aislante se utiliza para aislar el alma 110 de la capa 140 de blindaje. Un material de la capa 120 aislante puede ser cualquier material aislante apropiado, como por ejemplo politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, polistireno, espuma de polietileno y material composite de polímero una nanoarcilla. En la presente forma de realización, el material de la capa 120 aislante es espuma de polietileno.

La capa 130 de blindaje está fabricada en un material eléctricamente conductor. La capa 130 de blindaje se utiliza para blindar las señales electromagnéticas o las señales electromagnéticas externas. En concreto, la capa 130 de blindaje puede ser formada por hilos tejidos o por películas enrolladas alrededor de la capa 120 aislante, los hilos pueden ser hilos de metal, hilos de nanotubos de carbono o hilos composite que incorporen nanotubos de carbono. Las películas puede ser películas de metal, películas de nanotubo de carbono o una película de composite que incorpore nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono están dispuestos de forma ordenada o de manera desordenada.

Un material de los hilos de metal o de las películas de metal pueden ser cualquier material apropiado incluyendo oro, cobre o plata, y otros metales o sus aleaciones que ofrezcan una satisfactoria conductividad eléctrica. Los hilos de nanotubos de carbono y las películas de nanotubos de carbono incluyen una pluralidad de nanotubos de carbono orientados a lo largo de una dirección preferente unidos extremo con extremo, y combinados por la fuerza de atracción de van der Waals. La película composite puede estar compuesta por metales y nanotubos de carbono, polímero y nanotubos de carbono, polímero y metales. El material de polímero pueden ser materiales poliméricos como tereftalato de polietileno (PET), policarbonato (PC), terpolímero de acrinolitrilo – Butadieno - Estireno (ABS), policarbonato / acrinolitrilo - butadieno - estireno (PC / ABS), u otro polímero apropiado. Cuando la capa 130 de blindaje es una película composite que incorpora nanotubos de carbono, la capa 130 de blindaje puede estar formada por nanotubos de carbono dispersos en una solución del composite para formar una mezcla, y el revestimiento de la mezcla sobre la capa 120 aislante. En concreto, la capa 130 de blindaje incluye dos o más capas formadas por hilos o películas o combinaciones de estos.

La capa 140 de envainado está fabricada con material aislante. En la primera forma de realización la capa 140 de envainado puede estar fabricada con materiales composite de polímero nanoarcilla. La nanoarcilla puede ser arcilla de nanokaolín o nano-montmorillonita. El polímero puede ser resina de silicio, poliamida, y poliolefina, como por ejemplo polietileno o polipropileno. En la presente forma de realización, la capa 140 de envainado está fabricada en materiales composite de polímero nanoarcilla. El material composite de polímero nanorarcilla ofrece una propiedad mecánica satisfactoria, una propiedad de resistencia al fuego, y puede proporcionar protección contra daños procedentes de la maquinaria, la exposición química, etc.

Con referencia a la FIG. 3 y a la FIG. 4, un procedimiento de fabricación del cable 10 coaxial incluye las siguientes etapas: (a) la provisión de una estructura 214 de nanotubos de carbono que presenta en su interior una pluralidad de nanotubos de carbono; (b) la formación de al menos un revestimiento conductor sobre cada uno de los nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono; (c) la formación de un hilo 222 composite de nanotubos de carbono individualmente revestido; (d) la envuelta de al menos una capa de material aislante del hilo 222 composite de nanotubos de carbono; (e) la envuelta de al menos una capa de material de blindaje sobre la al menos una capa de material aislante; y (f) el revestimiento de una capa de material de envainado sobre la al menos una capa de material de blindaje.

En la etapa (a), la estructura 214 de nanotubos de carbono puede ser una película de nanotubos de carbono. La película de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono, y hay unos interespacios entre dos nanotubos de carbono adyacentes. Los nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono pueden ser paralelos a una superficie de la película de nanotubos de carbono. Una distancia entre dos nanotubos de carbono adyacentes puede ser mayor que un diámetro de los nanotubos de carbono. La película de nanotubos de carbono puede tener una estructura autoestable. El término “autosoportada” significa que la película de nanotubos de carbono no necesita estar formada sobre una superficie de sustrato para ser soportada por el sustrato, sino que mantiene la forma de película por sí misma debido a la gran fuerza atractiva de van der Waals entre los nanotubos de carbono adyacentes de la película de nanotubos de carbono.

La película de nanotubos de carbono puede ser fabricada mediante las siguientes subetapas de: (a1) la provisión de un conjunto 216 de nanotubos de carbono (por ejemplo, un conjunto 216 de nanotubos de carbono superalineados); (a2) la tracción de una película de nanotubos de carbono respecto del conjunto 216 de nanotubos de carbono mediante la utilización de una herramienta (por ejemplo, cinta adhesiva, alicates, tenacillas, u otra herramienta que permita que múltiples nanotubos de carbono sean agarrados y atrapados de manera simultánea).

- 5 En la etapa (a1), un conjunto 216 de nanotubos de carbono superalineados puede ser formado mediante un procedimiento de deposición química al vapor y en detalle incluye (a11) la provisión de un sustrato sustancialmente plano y liso; (a12) la formación de una capa de catalizador sobre el sustrato; (a13) el recocido del sustrato con la capa catalizadora en el aire a una temperatura que aproximadamente oscila entre aproximadamente 700° C y aproximadamente 900° C durante aproximadamente de 30 a aproximadamente 90 minutos; (a14) el calentamiento del sustrato con la capa catalizadora a una temperatura que aproximadamente oscila entre aproximadamente 500° C y aproximadamente 700° C dentro de un horno con un gas protector en su interior; y (a15) el suministro de un gas de fuente de carbono al horno durante aproximadamente de 5 a 30 minutos para hacer crecer el conjunto 216 de nanotubos de carbono superalineados sobre el sustrato.
- 10 En la etapa (a11), el sustrato puede ser una oblea de silicio tipo P, una oblea de silicio tipo N o una oblea de silicio con una película sobre ella de dióxido de silicio. Aquí, una oblea de silicio tipo P funciona como sustrato.
- En la etapa (a12), el catalizador puede estar fabricado en hierro (Fe), cobalto (Co), Níquel (Ni) o cualquier aleación de estos.
- 15 En la etapa (a14), el gas protector puede estar compuesto por al menos un elemento entre nitrógeno (N₂), amoníaco (NH₃), y un gas noble. En la etapa (a15), el gas de fuente de carbono puede ser un gas de hidrocarburo, como por ejemplo etileno (C₂ H₄), metano (CH₄), acetileno (C₂ H₂), etano (C₂ H₆), o cualquier combinación de estos.
- 20 La formación 216 de nanotubos de carbono superalineados puede tener una altura aproximada de 200 a 400 micrómetros e incluye una pluralidad de nanotubos de carbono paralelos entre sí y aproximadamente perpendiculares al sustrato. Una formación 216 de nanotubos de carbono puede consistir en una formación de nanotubos de carbono de una sola pared, una formación de nanotubos de carbono de doble pared o de nanotubos de carbono de paredes múltiples. Los diámetros de los nanotubos de carbono de pared única oscilan aproximadamente entre 0,5 nanómetros y aproximadamente 10 nanómetros. Los diámetros de los nanotubos de carbono de doble pared oscilan aproximadamente entre aproximadamente 1 nanómetro y aproximadamente 50 nanómetros. Los diámetros de los nanotubos de carbono de paredes múltiples oscilan aproximadamente entre 1 nanómetro y aproximadamente 50 nanómetros.
- 25 La formación 216 de nanotubos de carbono superalineados formados con arreglo a las condiciones expuestas está esencialmente exenta de impurezas, como por ejemplo partículas de catalizador carbonáceas o residuales. Los nanotubos de carbono de la formación 216 de nanotubos de carbono superalienados están estrechamente compactados entre sí mediante la fuerza atractiva de van der Waals.
- 30 En la etapa (a2), la película de nanotubos de carbono puede constituirse mediante las siguientes etapas: (a21) la selección de una pluralidad de segmentos de nanotubos de carbono con una anchura predeterminada a partir de una formación 216 de nanotubos de carbono; y (a22) la tracción de segmentos de nanotubos de carbono a una velocidad regular / uniforme para conseguir la película de nanotubos de carbono.
- 35 En la etapa (a21), los segmentos de nanotubos de carbono que presentan una anchura predeterminada pueden ser seleccionados utilizando una cinta adhesiva como instrumento para contactar con una formación 216 de nanotubos de carbono. Cada segmento de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono paralelos entre sí. En la etapa (a22), la dirección de tracción es arbitraria (por ejemplo, sustancialmente perpendicular a la dirección de crecimiento de la formación 216 de nanotubos de carbono).
- 40 Más en concreto durante el proceso de tracción, cuando los segmentos de nanotubos de carbono iniciales son estirados, otros segmentos de nanotubos de carbono serán también estirados extremo con extremo debido a la fuerza atractiva de van der Waals entre extremos de segmentos adyacentes. Este proceso de estiramiento asegura que se forme una película de nanotubos de carbono uniforme con una anchura predeterminada. Con referencia a la FIG. 5, la película de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono unidos extremo con extremo.
- 45 Los nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono son todos sustancialmente paralelos a la dirección de tracción / estiramiento de la película de nanotubos de carbono, y la película de nanotubos de carbono obtenida de esta manera puede formarse de manera selectiva para que tenga una anchura predeterminada. La película de nanotubos de carbono formada mediante el procedimiento de tracción / estiramiento presenta una uniformidad superior de grosor y una uniformidad superior de conductividad respecto de una película de nanotubos de carbono típicamente desordenada. Así mismo, el procedimiento de tracción / estiramiento es sencillo, rápido y apropiado para
- 50 aplicaciones industriales.
- 55 La longitud y la anchura de la película de nanotubos de carbono depende del tamaño de la formación 216 de nanotubos de carbono. Cuando el sustrato es una oblea de silicio de tipo P de 10,16 cm, como en la primera forma de realización, la anchura de la película de nanotubos de carbono aproximadamente oscila entre 0,01 cm y aproximadamente 10 cm, la longitud de la película de nanotubos de carbono puede situarse por encima de los 100 m, y el grosor de la película de nanotubos de carbono aproximadamente oscila entre 0,5 nanómetros y aproximadamente 100 micrómetros.
- En la etapa (b), el al menos un revestimiento conductor puede estar formado sobre nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono mediante un procedimiento de deposición en fase de vapor física (PVD)

como por ejemplo una evaporación al vacío o una pulverización catódica. En la primera forma de realización, el al menos un revestimiento conductor está constituido mediante un procedimiento de evaporación al vacío.

5 El procedimiento de evaporación al vacío para la formación de al menos un revestimiento conductor en la etapa (b), puede también incluir las siguientes subetapas: (b1) la provisión de un recipiente 210 al vacío que incluya al menos una fuente 212 de vaporización; y (b2) el calentamiento de la al menos una fuente 212 de vaporización para depositar el revestimiento conductor sobre dos estructuras opuestas de la estructura 214 de nanotubos de carbono.

10 En la etapa (b1), el recipiente 210 al vacío incluye en su interior una zona de deposición. En la presente forma de realización, los tres pares de fuentes de vaporización están respectivamente montadas sobre las porciones superior y de fondo de la zona de deposición. Cada par de fuentes 212 de vaporización incluye una fuente 212 superior de vaporización situada sobre una superficie superior de la zona de deposición, y una fuente 212 inferior de vaporización situada sobre una superficie de fondo de la zona de deposición. Las dos fuentes 212 de vaporización están dispuestas sobre los lados opuestos del recipiente 210 al vacío. Cada par de fuentes 212 de vaporización está fabricada con un tipo de material metálico. Para modificar los materiales en pares diferentes de fuentes 212 de vaporización, la capa 112 humectante, la capa 113 de transición, la capa 114 conductora y la capa 115 antioxidante pueden disponerse de forma ordenada sobre los nanotubos de carbono en la estructura 214 de nanotubos de carbono. Las fuentes 212 de vaporización pueden estar dispuestas a lo largo de una dirección de tracción de la estructura 214 de nanotubos de carbono sobre las porciones superior y de fondo de la zona de deposición. La estructura 214 de nanotubos de carbono está situada dentro del recipiente 210 al vacío y entre la fuente 212 superior de vaporización y la fuente 212 de vaporización inferior. Hay una distancia entre la estructura 214 de nanotubos de carbono y las fuentes 212 de vaporización. Una superficie superior de la estructura 214 de nanotubos de carbono está directamente encarada hacia las fuentes 212 superiores de vaporización. Una superficie inferior de la estructura 214 de nanotubos de carbono está encarada directamente hacia las fuentes 212 inferiores de vaporización. El recipiente 210 al vacío puede ser aspirado al vacío mediante la utilización de una bomba de vacío (no mostrada).

25 En la etapa (b2), la fuente 212 de vaporización puede ser calentada mediante un dispositivo de calentamiento (no mostrado). El material de la fuente 212 de vaporización es vaporizado o sublimado para formar un gas. El gas confluye con los nanotubos de carbono fríos dispuestos en la estructura 214 de nanotubos de carbono y se coagula sobre la superficie superior y sobre la superficie inferior de los nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono. Debido a una pluralidad de interespacios existentes entre los nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono, además de que la estructura 214 de nanotubos de carbono es relativamente delgada, el material conductor puede ser infiltrado en los interespacios situados entre los nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono. El material conductor propiamente dicho puede ser depositado sobre la mayor parte, si no toda, la superficie exterior de los nanotubos de carbono. Una microestructura de la estructura 214 de nanotubos de carbono con al menos un revestimiento conductor se muestra en la FIG. 6 y en la FIG. 7.

30 Cada fuente 212 de vaporización puede incorporar un área correspondiente de deposición mediante el ajuste de la distancia de la película de nanotubos de carbono y las fuentes 212 de vaporización. Las fuentes 212 de vaporización pueden ser calentadas de manera simultánea, mientras la estructura 214 de nanotubos de carbono es traccionada a través de las múltiples zonas de deposición existentes entre las fuentes 212 de vaporización para formar múltiples capas de material conductor.

35 Para incrementar la densidad del gas existente en la zona de deposición, y para impedir la oxidación del material conductor, el grado de vacío del recipiente 210 al vacío puede situarse por encima de 1 Pascal (Pa). En la primera forma de realización, el grado de vacío es de aproximadamente 4×10^{-4} Pa.

40 Se debe entender que la formación 216 de nanotubos de carbono constituida en la etapa (a1) puede estar directamente situada en el recipiente 210 al vacío. La película 214 de nanotubos de carbono puede ser traccionada hasta el interior del recipiente 210 al vacío y pasar a continuación por cada fuente 212 de vaporización, con la continua deposición de cada revestimiento conductor. De esta manera, la etapa de tracción y la etapa de deposición pueden llevarse a cabo de manera simultánea.

45 En la primera forma de realización, el procedimiento para la formación de al menos un revestimiento conductor incluye las siguientes etapas: la formación de una capa 112 humectante sobre una superficie de la estructura 214 de nanotubos de carbono; la formación de una capa 113 de transición sobre la capa 112 humectante; la formación de una capa 114 conductora sobre la capa 113 de transición; y la formación de una capa 115 antioxidante sobre la capa 114 conductora. En el procedimiento descrito con anterioridad, las etapas de formación de la capa 112 humectante, de la capa 113 de transición y de la capa 115 antioxidante, son opcionales.

50 La etapa (b) incluye también la formación de una capa de refuerzo situada por fuera de el al menos un revestimiento conductor. Más en concreto, la estructura 214 de nanotubos de carbono con el al menos un revestimiento conductor puede ser sumergida en un recipiente 220 con un polímero líquido. De esta manera, la entera superficie y los espacios dispuestos entre la pluralidad de nanotubos de carbono en la estructura 214 de nanotubos de carbono puede empaparse con el polímero líquido. Después de la concentración (esto es, después de ser curada), la capa de refuerzo puede constituirse sobre el lado exterior de los nanotubos de carbono revestidos.

En la etapa (c), cuando la estructura 214 de nanotubos de carbono es la película de nanotubos de carbono que presenta una anchura relativamente pequeña (por ejemplo, de aproximadamente 0,5 nanómetros a 100 micrómetros), la estructura 214 de nanotubos de carbono con al menos un revestimiento conductor sobre ella se puede apreciar como un hilo 222 composite de nanotubos de carbono sin tratamiento mecánico o químico adicional.

5 Cuando la estructura 214 de nanotubos de carbono es la película de nanotubos de carbono que presenta una anchura relativamente amplia (por ejemplo, de aproximadamente 140 micrómetros a aproximadamente 10 cm). El hilo 222 composite de nanotubos de carbono puede estar fabricado mediante tratamiento mecánico (por ejemplo, un proceso de rotación o torsión convencional). El tratamiento mecánico del hilo 222 composite de nanotubos de carbono puede ser ejecutado mediante la torsión o el corte de la estructura 214 de nanotubos de carbono con al menos un revestimiento conductor a lo largo de una dirección alineada de los nanotubos de carbono de la estructura 214 de nanotubos de carbono.

Hay muchas formas de torsionar la estructura 214 de nanotubos de carbono. Una manera incluye las siguientes etapas: la adherencia de un extremo de la estructura de nanotubos de carbono a un motor rotatorio; la torsión de la estructura de nanotubos de carbono mediante el motor rotatorio para formar el hilo 222 composite de nanotubos de carbono. Un segundo modo incluye las siguientes etapas: el suministro de un eje de rotación; el contacto del eje de rotación con un extremo de la estructura 214 de nanotubos de carbono; y la torsión de la estructura 214 de nanotubos de carbono por el eje de rotación.

Una pluralidad de hilos 222 composite de nanotubos de carbono puede ser almacenada o torsionada para formar un hilo composite de nanotubos de carbono con un diámetro mayor. Una pluralidad de estructuras 214 de nanotubos de carbono revestidos puede estar dispuesta en paralelo entre sí y, a continuación. Torsionada para formar el hilo 222 composite de nanotubos de carbono con el diámetro de mayor tamaño. Así mismo, dos o más estructuras 214 de nanotubos de carbono revestidas pueden ser almacenadas y a continuación torsionadas para formar el hilo 222 composite de nanotubos de carbono con el diámetro de mayor tamaño.

La conductividad del hilo 222 composite de nanotubos de carbono es mejor que la conductividad de la estructura 214 de nanotubos de carbono sin el revestimiento conductor dispuesto sobre cada nanotubo de carbono. La resistividad del hilo 222 composite de nanotubos de carbono puede oscilar entre aproximadamente $10 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ hasta aproximadamente $500 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. En la presente forma de realización el hilo 222 composite de nanotubos de carbono tiene un diámetro de aproximadamente 120 micrómetros, y una resistividad de aproximadamente de $360 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. La resistividad de la estructura 214 de nanotubos de carbono sin el revestimiento conductor es de aproximadamente de $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot m \sim 2 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$.

Una imagen del SEM de un hilo 222 composite de nanotubos de carbono se puede apreciar en las FIGs. 8 y 9. El hilo 222 composite de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono con al menos un revestimiento conductor y alineados alrededor del eje geométrico del hilo 222 composite de nanotubos de carbono como una hélice.

35 De manera opcional, las etapas de formación de la estructura 214 de nanotubos de carbono, el al menos un revestimiento conductor, y la capa de refuerzo pueden ser tratadas en el recipiente 210 al vacío para conseguir una producción continua del hilo 222 composite de nanotubos de carbono. El hilo 222 composite de nanotubos de carbono obtenido puede a continuación ser recogido por un primer rodillo 224. El hilo 222 composite de nanotubos de carbono es enrollado sobre el primer rodillo 224.

40 La etapa (d) puede ser ejecutada por un primer dispositivo 230 de compresión. El polímero de fusión es revestido sobre una superficie exterior del hilo 222 composite de nanotubos de carbono mediante el primer dispositivo 230 de compresión. Después de la concentración (por ejemplo, después de ser curada), se constituye la capa 120 aislante. En la primera forma de realización, el polímero es un componente de espuma de polietileno. Cuando el cable 10 coaxial incluya dos o más capas 120 aislantes, se puede repetir la etapa (d).

45 En la etapa (e), se puede formar una capa de material de blindaje mediante unos hilos tejidos o mediante unas películas enrolladas alrededor de la al menos una capa de material 120 aislante. Las películas 232 de blindaje pueden ser suministradas por un segundo rodillo 234. Los hilos pueden ser hilos de metal o hilos de nanotubos de carbono. Las películas pueden ser películas de metal, películas de nanotubos de carbono o películas composite con nanotubos de carbono. Los hilos pueden ser enrollados sobre la al menos una capa de material 120 aislante mediante un bastidor 236. Los nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono pueden estar dispuestos de forma ordenada y / o desordenada.

La etapa (f) puede ser ejecutada por un segundo dispositivo 240 de compresión. El material de envainado está revestido sobre una superficie exterior de la capa 130 de blindaje mediante el segundo dispositivo 240 de compresión para formar la capa 140 de envainado. Después de la concentración (por ejemplo, de ser curada), se forma la capa 140 de envainado. En la primera forma de realización, el material de envainado es un material composite de polímero de nanoarcilla. El cable 10 coaxial obtenido puede ser a continuación recogido por un tercer rodillo 260 mediante el enrollamiento en espiral del cable 10 coaxial sobre el tercer rodillo 260.

Con referencia a la FIG. 10, un cable 30 coaxial de acuerdo con una segunda forma de realización, incluye una pluralidad de almas 310, una pluralidad de capas 320 aislantes, una capa 330 de blindaje y una capa 340 de envainado. Cada capa 320 aislante envuelve un alma 310 correspondiente. La capa 330 de blindaje envuelve la pluralidad de capas 320 aislantes. La capa 340 de envainado envuelve la capa 330 de blindaje. Entre la capa 330 de blindaje y la capa 320 aislante se sitúa el material aislante. El procedimiento de fabricación del cable 30 coaxial de la segunda forma de realización es similar a la del cable 10 coaxial de la primera forma de realización.

Con referencia a la FIG. 11, un cable 40 coaxial de acuerdo con una tercera forma de realización incluye una pluralidad de almas 410, una pluralidad de capas 420 aislantes, una pluralidad de capas 430 de blindaje y una capa 440 de envainado. Cada capa 430 aislante envuelve cada alma 410 correspondiente. Cada capa 430 aislante envuelve una capa 420 aislante correspondiente. La capa 440 de envainado envuelve todas las capas 430 de blindaje. El procedimiento de fabricación del cable 40 coaxial de la tercera forma de realización es similar a la del cable 10 coaxial de la primera forma de realización.

En esta forma de realización, cada capa 430 de blindaje puede blindar, respectivamente, cada alma 410. Los cables 40 coaxiales están configurados para impedir la interferencia procedente de factores externos, e impedir la interferencia entre la pluralidad de almas 410.

Con referencia a la FIG. 12, un cable 50 coaxial de acuerdo con una cuarta forma de realización incluye un alma 520, una capa 530 aislante, una capa 540 de blindaje, y una capa 550 de envainado. La capa 530 aislante envuelve el alma 520. La capa 540 de blindaje envuelve la capa 530 aislante. La capa 550 de envainado envuelve la capa 540 de blindaje. El alma 520, la capa 530 aislante, la capa 540 de blindaje y la capa 550 de envainado son coaxiales.

Con referencia a la FIG. 13, el alma 520 incluye una estructura 500 en forma de hilo de nanotubos de carbono, un revestimiento 510 conductor y una capa 516 de refuerzo. El revestimiento 510 conductor envuelve la estructura 500 en forma de hilo de nanotubos de carbono e incluye al menos una capa 514 conductora. La capa 516 de refuerzo envuelve el revestimiento 510 conductor. La estructura 500 en forma de hilo de nanotubos de carbono incluye uno o una pluralidad de hilos 502 de nanotubos de carbono. El diámetro del alma 520 es de aproximadamente 10 micrómetros hasta aproximadamente 1 centímetro. Aquí, la estructura 500 a modo de hilo de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de hilos 502 de nanotubos de carbono trenzados entre sí y que tienen un diámetro de aproximadamente 1 micrómetro a aproximadamente 1 centímetro.

El revestimiento 510 conductor puede también incluir una capa 512 humectante, una capa 513 de transición, una capa 514 conductora, y una capa 515 antioxidante. Como se mencionó con anterioridad, el revestimiento 510 conductor presenta al menos una capa 514 conductora. Aquí, el revestimiento conductor incluye todos los elementos mencionados con anterioridad. La capa 512 humectante cubre y envuelve la estructura 500 a modo de hilo de nanotubos de carbono. La capa 513 de transición cubre y envuelve la capa 512 humectante. La capa 514 conductora cubre y envuelve la capa 513 de transición. La capa 515 antioxidante cubre y envuelve la capa 514 conductora.

Con referencia a la FIG. 14, los hilos 502 de nanotubos de carbono pueden ser hilos de nanotubos de carbono torsionados, hilos de nanotubos de carbono no torsionados, o cualquier combinación de estos. Aquí, los hilos 502 de nanotubos de carbono son combinaciones de los hilos de nanotubos de carbono torsionados y de los hilos de nanotubos de carbono no torsionados.

Con referencia a la FIG. 15, se muestra un hilo de nanotubos de carbono no torsionado. El hilo de nanotubos de carbono no torsionado incluye una pluralidad de segmentos de nanotubos de carbono que presenta una pluralidad de nanotubos de carbono sustancialmente orientados a lo largo de una misma dirección (esto es, una dirección a lo largo del eje geométrico longitudinal del hilo de nanotubos de carbono no torsionado). Los segmentos de nanotubos de carbono pueden variar en anchura, grosor, uniformidad y configuración. Los nanotubos de carbono son paralelos al eje geométrico longitudinal del hilo de nanotubos de carbono no torsionado. La longitud del hilo de nanotubos de carbono no torsionado puede ser arbitrariamente determinada, según se desee. El diámetro del hilo de nanotubos de carbono no torsionado puede oscilar entre aproximadamente 1 micrómetro y aproximadamente 1 centímetro.

Con referencia a la FIG. 16, en ella se muestra un hilo de nanotubos de carbono torsionado. El hilo de nanotubos de carbono torsionado incluye una pluralidad de nanotubos de carbono orientados alrededor de una dirección axial longitudinal de los mismos. Los nanotubos de carbono están alineados alrededor del eje geométrico del hilo torsionado de nanotubos de carbono como una hélice. La longitud del hilo de nanotubos de carbono puede ser arbitrariamente seleccionada según se desee. El diámetro del hilo de nanotubos de carbono torsionado puede oscilar entre aproximadamente 1 micrómetro y aproximadamente 1 centímetro. El hilo de nanotubos de carbono torsionado está formado mediante la rotación de dos extremos de una película de nanotubos de carbono en direcciones opuestas utilizando fuerza mecánica u otros medios conocidos. Así mismo, el hilo de nanotubos de carbono torsionado puede ser tratado con un disolvente orgánico volátil. Después de ser tratado por el disolvente orgánico, los nanotubos de carbono adyacente y paralelos del hilo de nanotubos de carbono torsionado pueden ser liados formando conjuntamente un haz, debido a la tensión de superficie del disolvente orgánico cuando el disolvente orgánico se volatiliza. El área de superficie del hilo de nanotubos de carbono torsionado puede decrecer, debido a que los nanotubos de carbono torsionados del hilo de nanotubos de carbono pueden ser liados conjuntamente formando un haz. La densi-

dad y resistencia del hilo de nanotubos de carbono torsionado puede aumentar, debido a la ligazón del hilo de nanotubos de carbono torsionado.

5 El cable 10, 30, 40, 50 coaxial proporcionado en las formas de realización presenta las siguientes propiedades superiores. En primer lugar, el cable 10, 30, 40, 50 coaxial incluye una pluralidad de nanotubos de carbono orientados unidos extremo con extremo por la fuerza atractiva de van der Waals, por medio de lo cual el cable coaxial ofrece una gran resistencia y dureza. En segundo lugar, la superficie exterior de cada nanotubo de carbono está cubierta por al menos un revestimiento conductor, de tal manera que el alma 110, 210, 410, 520 compuesta por nanotubos de carbono presenta una alta conductividad. En tercer lugar el procedimiento para fabricar el alma 110, 210, 410, 520 del cable 10, 30, 40, 50 coaxial se puede llevar a cabo estirando una estructura de nanotubos de carbono a partir de una formación de nanotubos de carbono y formando al menos un revestimiento conductor sobre la estructura de nanotubos de carbono. El procedimiento es simple y relativamente poco costoso. Así mismo, el cable 10, 30, 40, 50 coaxial puede ser formado de manera continua y, por tanto, se puede conseguir una producción en masa del mismo. En cuarto lugar, dado que los nanotubos de carbono tienen un diámetro pequeño, y el cable incluye una pluralidad de nanotubos de carbono y al menos un revestimiento conductor sobre ellos, de esta manera, el cable 10, 30, 40, 50 coaxial tiene una anchura menor que un hilo de metal formado mediante un procedimiento de estirado del hilo convencional y puede ser utilizado en cables ultrafinos. Finalmente, dado que los nanotubos de carbono son huecos, y que un grosor de la al menos una capa de material conductor es solo de varios nanómetros, de esta manera es menos probable que se produzca un efecto superficial en el cable 10, 30, 40, 50 coaxial y las señales no se deteriorarán tanto durante la transmisión.

20

REIVINDICACIONES

1.- Un cable (10) coaxial que comprende:

5 un alma (110) que comprende una pluralidad de nanotubos (111) de carbono que presentan al menos un revestimiento conductor dispuesto alrededor de los nanotubos (111) de carbono, en el que los nanotubos (111) de carbono y el revestimiento conductor están organizados bajo la forma de al menos un hilo (222) composite de nanotubos de carbono y los nanotubos de carbono están dispuestos de manera ordenada; una capa (120) aislante que envuelve el alma (110); una capa (130) de blindaje que envuelve la capa (120) aislante; y una capa (140) de envainado que envuelve la capa (130) de blindaje,
 10 **caracterizado porque** el cable conductor comprende una capa (114) conductora y una capa (112) humectante situada entre los nanotubos (111) de carbono y la capa (114) conductora.

2.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el al menos un revestimiento conductor está en contacto con la superficie de los nanotubos (111) de carbono.

3.- Un cable coaxial de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que los nanotubos (111) de carbono están unidos extremo con extremo con una fuerza de atracción de van der Waals entre ellos.

4.- Un cable coaxial de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la resistividad del hilo (222) composite de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente $10 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. y aproximadamente $500 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$.

5.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los nanotubos (111) de carbono del hilo (222) composite de nanotubos de carbono están alineados a lo largo de la dirección axial del hilo (222) composite de nanotubos de carbono.

6.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los nanotubos (111) de carbono del hilo (222) composite de nanotubos de carbono están alineados de forma helicoidal alrededor de la dirección axial del hilo (222) composite de nanotubos de carbono.

7.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con la reivindicación 4, en el que un diámetro del al menos un hilo (222) de nanotubos de carbono oscila entre aproximadamente 4,5 nanómetros y aproximadamente 100 micrómetros.

8.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el al menos un revestimiento conductor comprende también una capa (113) de transición entre la capa (112) humectante y la capa (114) conductora y una capa (115) antioxidante alrededor de la capa (114) conductora.

9.- Un cable (10) coaxial de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el material de la capa (114) conductora comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, plata, oro y aleaciones de estos, y en el que el material de la capa (112) humectante comprende un material seleccionado entre el grupo compuesto por níquel, paladio, titanio y aleaciones de estos, en el que el materia de la capa (113) de transición comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, plata y aleaciones de estos, y el material de la capa (115) antioxidante comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, platino y aleaciones de estos.

10.- Un procedimiento para fabricar un cable (10) coaxial, que comprende las etapas de:

- (a) la provisión de una estructura (214) de nanotubos de carbono que comprende una pluralidad de nanotubos (111) de carbono;
- (c) la formación de un hilo (222) composite de nanotubos de carbono a partir de los nanotubos (111) de carbono con al menos un revestimiento conductor;
- (d) la envuelta de al menos una capa de material aislante sobre el hilo (222) composite de nanotubos de carbono;
- (e) la envuelta de una capa de material de envainado sobre al menos una capa de material aislante; y
- (f) el revestimiento de al menos una capa de material de envainado sobre al menos una capa de material de blindaje,

caracterizado porque el procedimiento comprende también las etapas de (b) la formación de al menos un revestimiento conductor sobre una pluralidad de nanotubos (111) de carbono de la estructura (214) de nanotubos de carbono, en el que el revestimiento conductor comprende una capa (114) conductora, una capa (112) humectante situada entre los nanotubos (111) de carbono y la capa (114) conductora, una capa (113) de transición entre la capa (112) humectante y la capa (114) conductora y una capa (115) antioxidante alrededor de la capa (114) conductora.

11.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la etapa (b) es ejecutada por las etapas de:

- (b1) la provisión de un recipiente (210) bajo vacío con al menos una fuente (212) de vaporización de material conductor; y

(b2) el calentamiento de la al menos una fuente (212) de vaporización de material conductor para depositar un revestimiento conductor sobre cada uno de los nanotubos (111) de carbono en la estructura (214) de nanotubos de carbono.

12.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la etapa (c) comprende también las etapas de:

- 5 (c1) la adherencia de un extremo de la estructura (214) de nanotubos de carbono a un motor rotatorio;
(c2) la torsión de la estructura (214) de nanotubos de carbono por el motor rotatorio

13.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la etapa (c) comprende también las siguientes etapas de:

- 10 (c1') el suministro de un eje de rotación;
(c2') el contacto del eje de rotación con un extremo de la estructura (214) de nanotubos de carbono; y
(c3') la torsión de la estructura (214) de nanotubos de carbono por el eje de rotación.

14.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que en la etapa (c) el hilo (222) composite de nanotubos de carbono se obtiene mediante el corte de la estructura (214) de nanotubos de carbono paralelamente a una dirección de alineamiento de los nanotubos (111) de carbono

15.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el material de la capa (114) conductora comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, plata, oro y aleaciones de estos, en el que el material de la capa (112) humectante comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en níquel, paladio, titanio y aleaciones de estos, en el que el material de la capa (113) de transición comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, plata y aleaciones de estos, y en el que el material de la capa (115) antioxidante comprende un material seleccionado entre el grupo que consiste en oro, platino y aleaciones de estos.

20

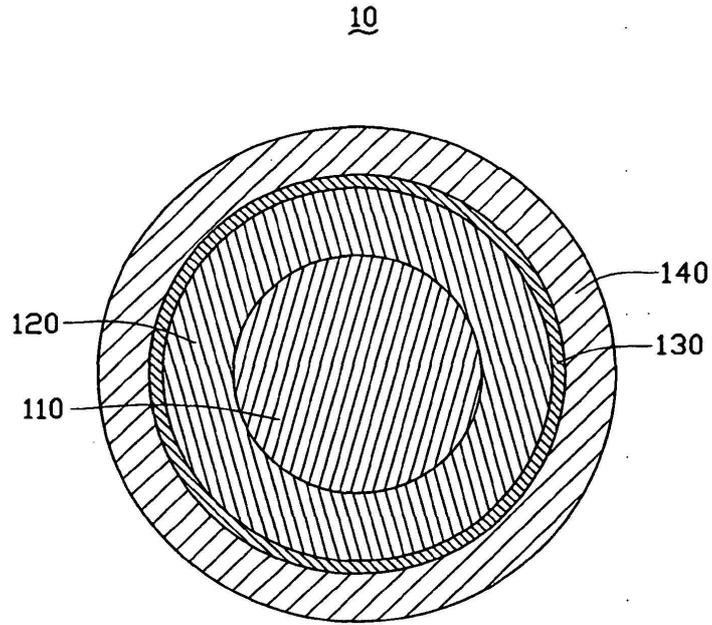


FIG. 1

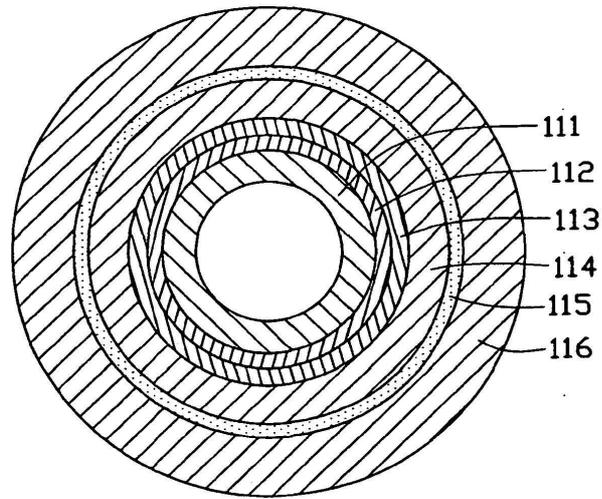


FIG. 2

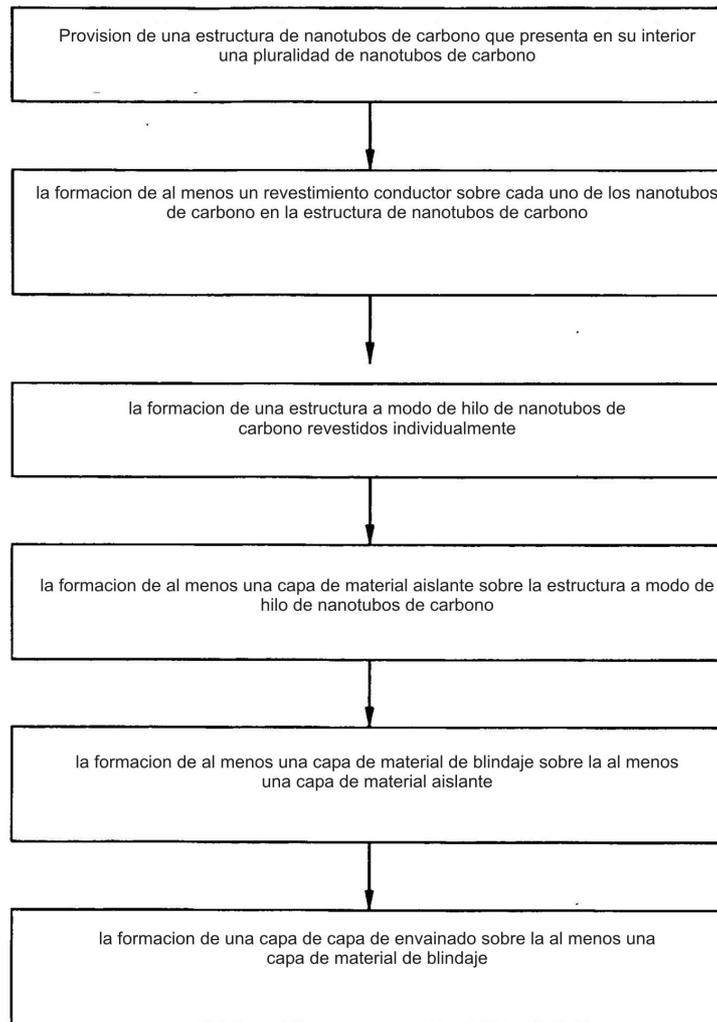


FIG. 3

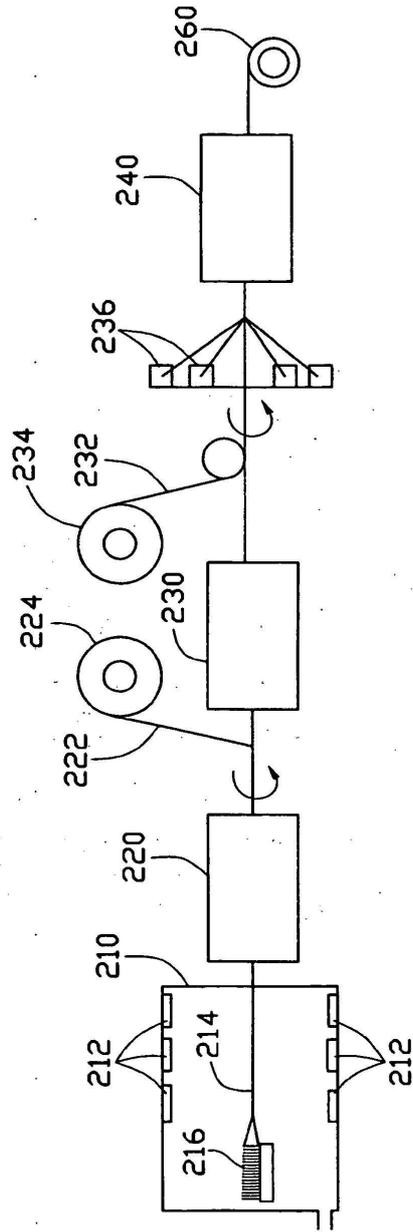


FIG. 4

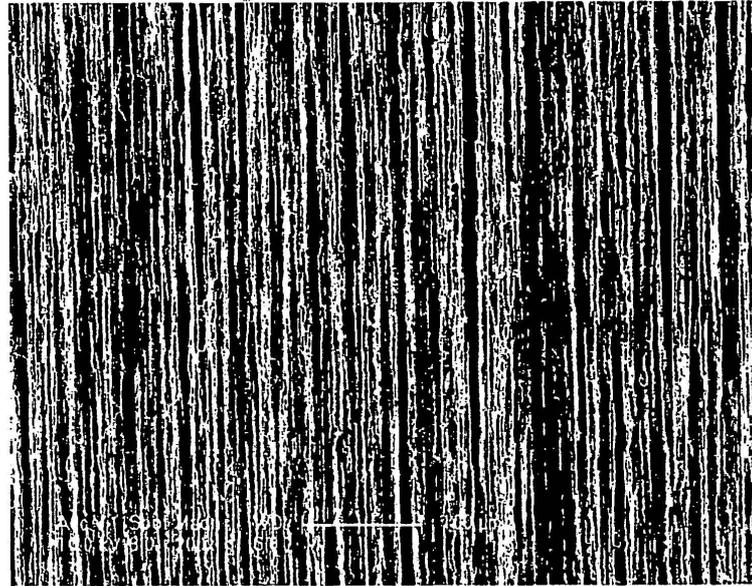


FIG. 5



FIG. 6

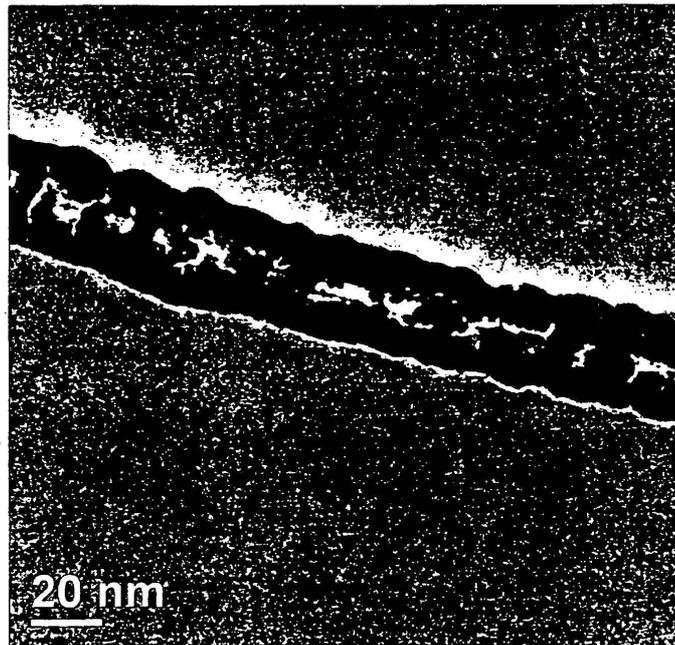


FIG. 7

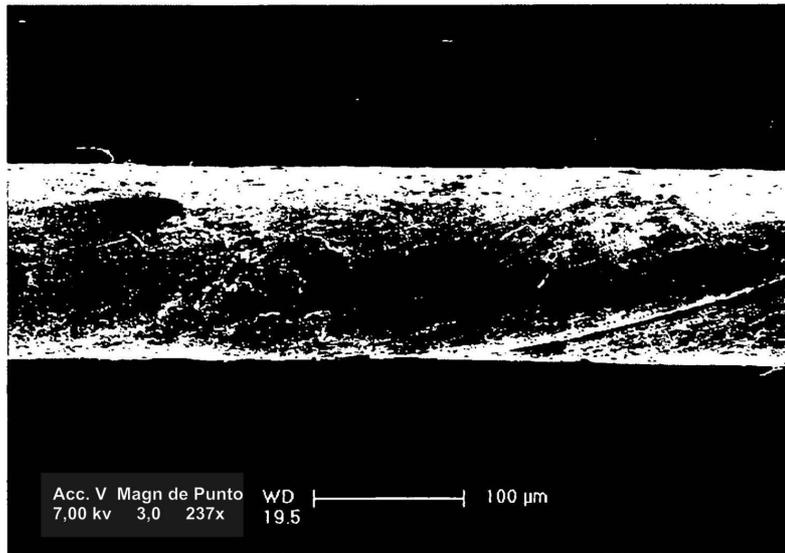


FIG. 8



FIG. 9

30

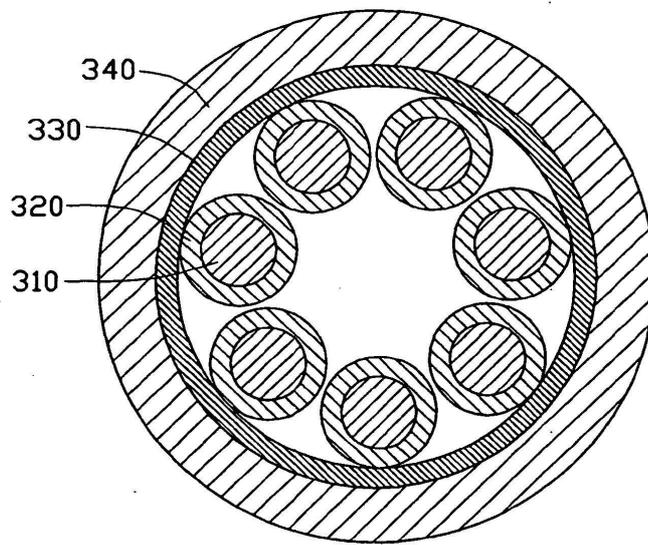


FIG. 10

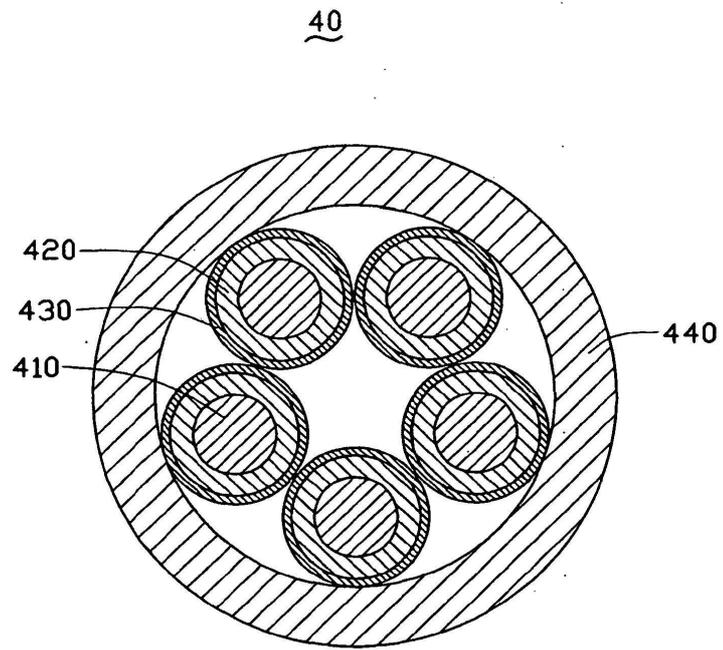


FIG. 11

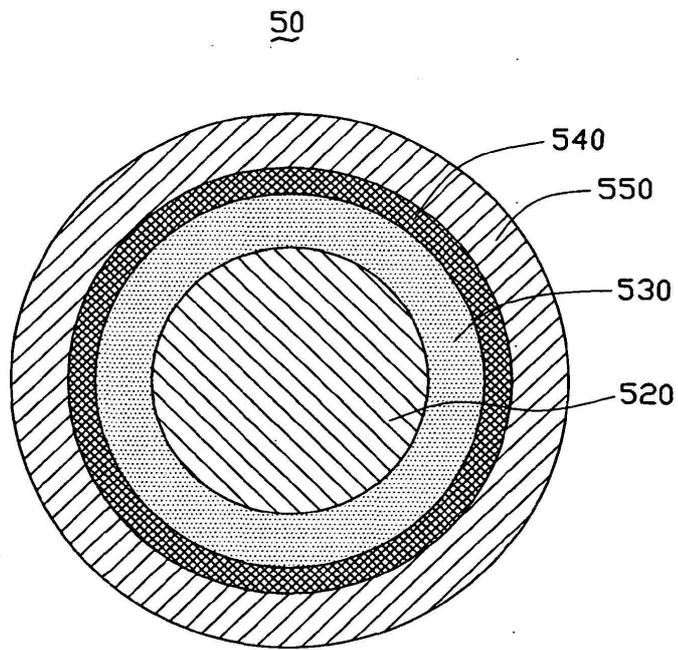


FIG. 12

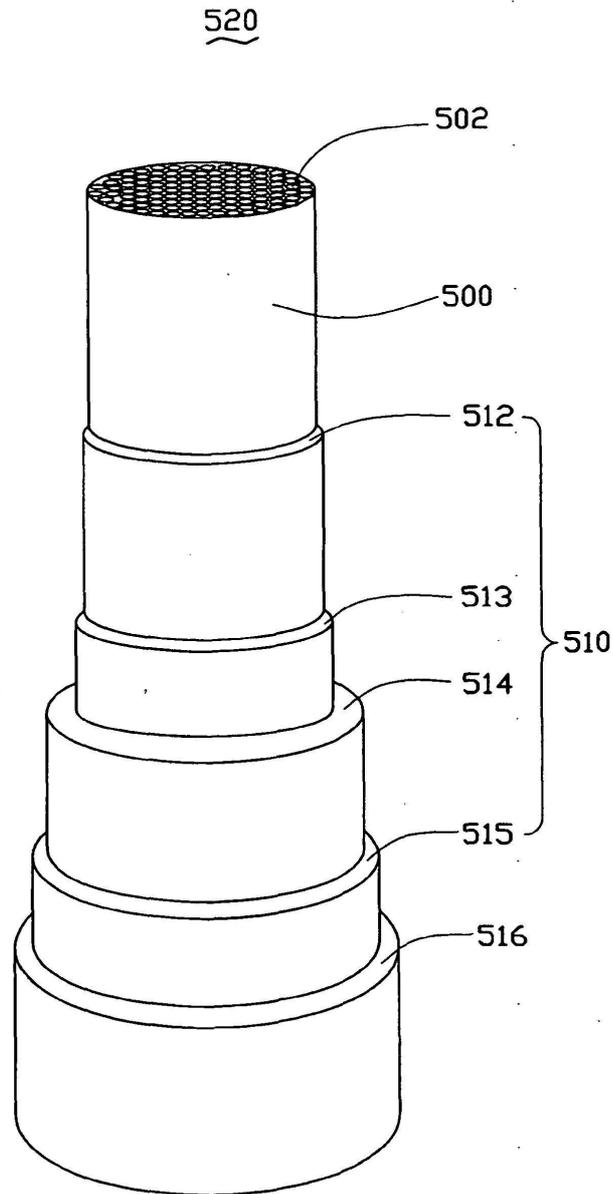


FIG. 13

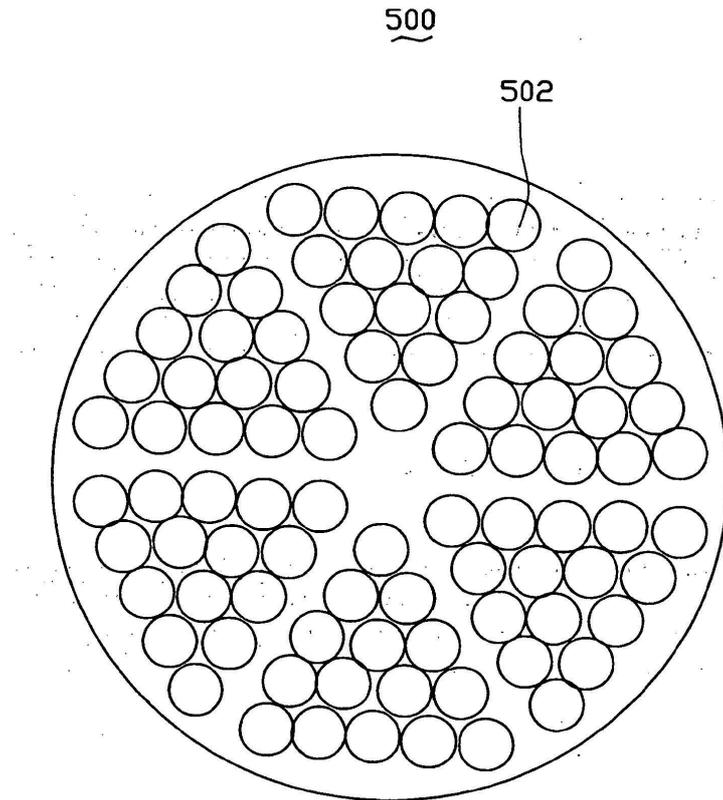


FIG. 14

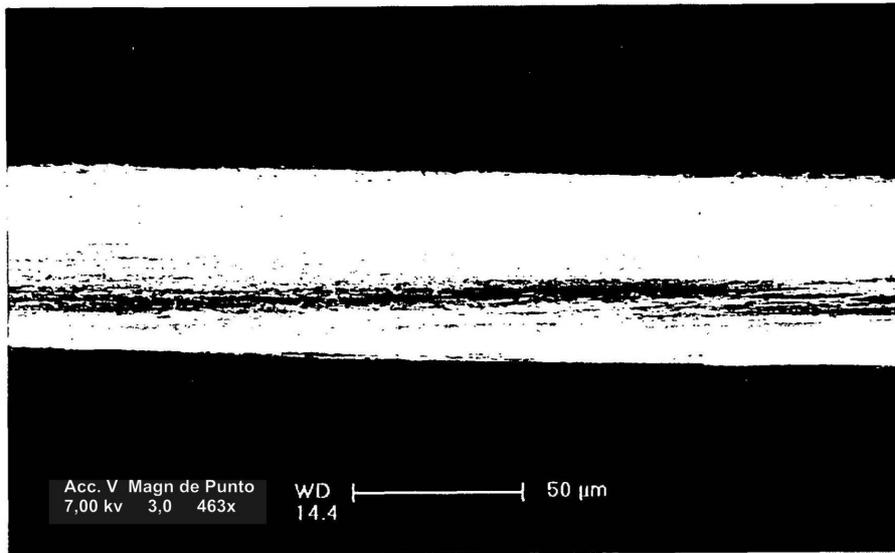


FIG. 15

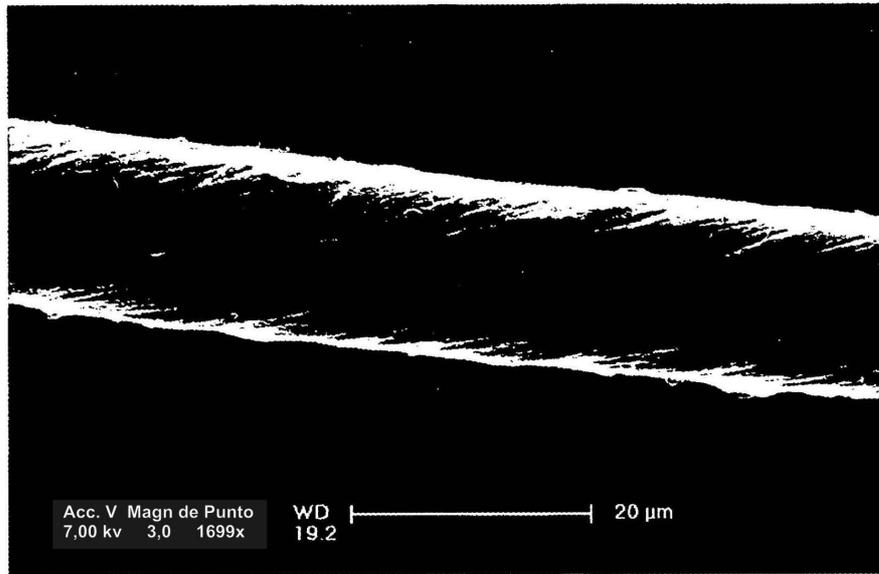


FIG. 16