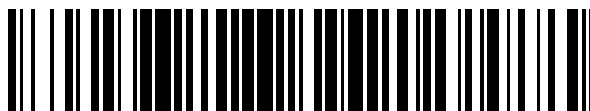


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 442**

51 Int. Cl.:

H01B 1/04 (2006.01)

B82B 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09250174 .1**

96 Fecha de presentación: **22.01.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2085976**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.08.2009**

54 Título: **Material composite de nanotubos de carbono y su procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

01.02.2008 CN 200810066040

01.02.2008 CN 200810066045

01.02.2008 CN 200810066039

01.02.2008 CN 200810066043

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

26.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

26.11.2012

73 Titular/es:

**TSING HUA UNIVERSITY (50.0%)
NO. 1, QINHUA YUAN HAI DIAN DISTRICT
BEIJING CITY, CN y
HON HAI PRECISION INDUSTRY CO., LTD.
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**LIU, KAI;
JIANG, KAI-LI;
LIU, LIANG;
FAN, SHOU-SHAN;
ZHAO, QING-YU y
ZHAI, YONG-CHAO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 391 442 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

Material composite de nanotubos de carbono y su procedimiento de fabricación

La presente invención se refiere al campo de los materiales composite y de sus procedimientos de fabricación, más concretamente, a un material composite de nanotubos de carbono y a un procedimiento para su fabricación.

5 Los nanotubos de carbono (CNTs) son un material carbonáceo novedoso que concitó un gran interés desde principios de los 90. Los nanotubos de carbono presentan unas propiedades conductoras del calor, conductoras de electricidad y mecánicas interesantes y potencialmente útiles. Los nanotubos de carbono pueden ser dispensados en una matriz para formar un material composite. A continuación, el material composite puede ser impreso por serigrafía o depositado por procedimientos líquidos de licor sobre un sustrato para formar un material composite de nanotubos de carbono. De esta manera, el material composite de nanotubos de carbono puede ofrecer propiedades tanto de los nanotubos de carbono como del material de la matriz.

10 Sin embargo, los procedimientos mencionados con anterioridad para la fabricación del material composite de nanotubos de carbono presentan muchos inconvenientes. En primer lugar, los procedimientos son relativamente complejos y costosos. En segundo lugar, los nanotubos de carbono tienen tendencia a agruparse en el material composite. De esta manera, pueden reducirse relativamente la resistencia y la dureza del material composite. En tercer lugar, los nanotubos de carbono del material composite están desorganizados y no se dispersan en ninguna dirección concreta. De esta manera, no puede conseguirse de manera satisfactoria una conductividad térmica y eléctrica óptimas.

15 Lo que se necesita, por tanto, es un material composite de nanotubos de carbono y un procedimiento para su fabricación en los cuales los problemas referidos se eliminen o al menos se mitiguen.

Vista desde un primer aspecto, la presente invención proporciona un material composite de nanotubos de carbono que comprende:

una pluralidad de nanotubos de carbono que están unidos extremo con extremo en paralelo unos con otros por unas fuerzas de atracción de van der Waals; y

25 al menos una capa de revestimiento conductora dispuesta alrededor de los nanotubos de carbono.

Vista desde otro aspecto, la presente invención proporciona un material composite de nanotubos de carbono que comprende:

30 una estructura de película de nanotubos de carbono que comprende una pluralidad de nanotubos de carbono que están unidos extremo con extremo en paralelo unos con otros por unas fuerzas de atracción de van der Waals y en paralelo con respecto a una superficie de la película de nanotubos de carbono; y

al menos una capa de revestimiento conductor dispuesta alrededor del nanotubo de carbono.

Vista desde otro aspecto adicional más, la presente invención proporciona un procedimiento para la fabricación de un material composite de nanotubos de carbono, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

35 (a) la provisión de una película de nanotubos de carbono que presenta una pluralidad de nanotubos de carbono unidos extremo con extremo y que son paralelos unos con respecto a otros, estando la película de nanotubos de carbono formada por las siguientes subetapas:

la provisión de una matriz de nanotubos de carbono;

la selección de una pluralidad de segmentos de nanotubos de carbono que presentan una anchura predeterminada entre la matriz de nanotubos de carbono

40 extracción de los segmentos de nanotubos de carbono a una velocidad igual / uniforme para conseguir una película de nanotubos de carbono uniforme, y

45 (b) la formación de al menos una capa de revestimiento conductor sobre una pluralidad de nanotubos de carbono en la película de nanotubos de carbono mediante un procedimiento de deposición por evaporación en vacío, comprendiendo el procedimiento de deposición por evaporación en vacío las siguientes subetapas:

la provisión de dos fuentes de evaporación dispuestas de forma separada en el lado opuesto de la película de nanotubos de carbono;

el calentamiento de las dos fuentes de evaporación para depositar una capa de revestimiento conductor sobre dos superficies opuestas de la película de nanotubos de carbono,

50 en el que la capa de revestimiento conductor comprende una capa conductora.

5 Muchos aspectos del presente material de composite de nanotubos de carbono y del procedimiento para su fabricación pueden ser comprendidos de forma más acabada con referencia a los dibujos relacionados a continuación. Los componentes de los dibujos no están necesariamente trazados a escala, ya que lo que se pretende es ilustrar con claridad los principios del presente material composite de nanotubos de carbono y del procedimiento para su fabricación.

La FIG. 1 muestra una imagen de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) de un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con la presente forma de realización.

La FIG. 2 muestra una imagen de un Microscopio Electrónico de Transmisión (SEM) de un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con otra forma de realización.

10 La FIG. 3 muestra una vista en sección transversal esquemática de un solo nanotubo de carbono del material composite de nanotubos de carbono.

La FIG. 4 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento para la fabricación de un material composite de nanotubos de carbono de la FIG. 1.

La FIG. 5 es un sistema para la fabricación de un material composite de nanotubos de carbono de la FIG. 1.

15 Los mismos caracteres de referencia indican las mismas partes a lo largo de las mismas vistas. Las ejemplificaciones contenidas en la presente memoria ilustran al menos una forma de realización del presente material composite de nanotubos de carbono y de su procedimiento de fabricación, al menos en una forma.

A continuación se hará referencia a los dibujos para describir, con detalle, formas de realización del presente material composite de nanotubos de carbono y de su procedimiento de fabricación.

20 Un material composite de nanotubos de carbono incluye una estructura de nanotubos de carbono y al menos una capa de revestimiento conductor. La estructura de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono orientados en sucesión y unidos extremo con extremo por la fuerza de atracción de van Waals. Los nanotubos de carbono de la estructura de nanotubos de carbono presentan una longitud prácticamente igual y son paralelos unos respecto de otros para formar un segmento de nanotubos de carbono. En la presente forma de
25 realización, una capa de revestimiento conductor está dispuesta alrededor de los nanotubos de carbono de la estructura de nanotubos de carbono. La capa de revestimiento conductor está en contacto con la superficie de los nanotubos de carbono. Cada nanotubo de carbono está rodeado por la capa de revestimiento conductor.

La estructura de nanotubos de carbono es una estructura de nanotubos de carbono autónoma. El término "autónoma" significa que la estructura de nanotubos de carbono no tiene que estar conformada sobre una superficie
30 de un sustrato para ser soportada por el sustrato, sino que mantiene la forma por sí misma debido a la gran fuerza de atracción de van der Waals entre los nanotubos de carbono adyacentes del material composite de nanotubos de carbono.

La estructura de nanotubos de carbono, que incluye la pluralidad de nanotubos de carbono orientados, puede ser una película de nanotubos de carbono, por ejemplo los nanotubos de carbono que se forman en una estructura de
35 película, o un alambre de nanotubos de carbono, por ejemplo los nanotubos de carbono que se forman en una estructura en forma de alambre. Con referencia a la FIG. 1, si la estructura de nanotubos de carbono es la película de nanotubos de carbono, los nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono están dispuestos en la misma dirección. La película de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono paralelos a una superficie de la película de nanotubos de carbono. La capa de revestimiento conductor cubre la superficie de la
40 película de nanotubos de carbono. Con referencia a la FIG. 2, si la estructura de nanotubos de carbono es un alambre de nanotubos de carbono, los nanotubos de carbono están alineados alrededor del eje geométrico del alambre de nanotubos de carbono.

Con referencia a la FIG. 3, en ella se inserta un nanotubo de carbono individual 111 solo como un ejemplo para clarificar el material composite de nanotubos de carbono de una estructura plana o de una estructura en forma de
45 alambre. El nanotubo de carbono 111 situado dentro del material composite de nanotubos de carbono está cubierto por la capa 117 de revestimiento conductor dispuesta sobre su superficie exterior. En la presente forma de realización, la capa 117 de revestimiento conductor está en contacto directo con la superficie exterior del nanotubo de carbono individual 111. Más en concreto, la capa 117 de revestimiento conductor puede incluir una capa de humidificación 112, una capa de transición 113 y una capa antioxidación 115. Así mismo, la capa 117 de
50 revestimiento conductor presenta al menos una capa conductora 114 situada entre la capa de transición 113 y la capa antioxidación 115. En la presente forma de realización, la capa 117 de revestimiento conductor incluye todos los elementos mencionados con anterioridad. La capa de humidificación 112 es la capa más interior de la capa 117 de revestimiento conductor, que cubre y está en contacto directo con la superficie exterior del nanotubo de carbono 111. La capa de transición 113 envuelve la capa de humidificación 112. La capa conductora 114 envuelve la capa de
55 transición 113. La capa antioxidación 115 envuelve la capa conductora 114, en serie.

Típicamente, la capa de humidificación 112 está configurada para suministrar una transición satisfactoria entre el nanotubo de carbono 111 y la capa conductora 114. El material de la capa de humidificación 112 puede ser seleccionado entre un grupo compuesto por hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), paladio (Pd), titanio (Ti) y aleaciones de estos. Un grosor de la capa de humidificación 112 oscila, de forma aproximada, entre 1 y 10 nanómetros. En la presente forma de realización, el material de la capa de humidificación 112 es Ni y el grosor de la capa de humidificación 112 es de 2 nanómetros. Puede entenderse que la capa de humidificación 112 es opcional cuando la humectabilidad entre los nanotubos de carbono y el metal es satisfactoria.

La capa de transición 113 está dispuesta para combinar la capa de humidificación 112 con la capa conductora 114. El material de la capa de transición 113 puede ser seleccionado entre un grupo compuesto por cobre (Cu), plata (Ag) y aleaciones de estos. Un grosor de la capa de transición 113 oscila, de forma aproximada, entre 1 y 10 nanómetros. En la presente forma de realización, el material de la capa de transición 113 es Cu y el grosor de la capa de transición 113 es de 2 nanómetros. Tal y como se ha descrito con anterioridad, puede entenderse que la capa de transición 113 es opcional cuando la capa de humidificación 112 y la capa conductora 114 pueden combinarse una con otra.

La capa conductora 114 está configurada para potenciar la conductividad del material composite 100 de nanotubos de carbono. El material de la capa conductora 114 puede ser seleccionado entre cualquier material conductor apropiado incluyendo Cu, Ag, oro (Au) y aleaciones de estos. Un grosor de la capa conductora 114 oscila, de manera aproximada, entre 1 y 20 nanómetros. En la presente forma de realización, el material de la capa conductora 114 es Ag y tiene un grosor de 10 nanómetros.

La capa antioxidación 115 está configurada para impedir que la capa conductora 114 sea oxidada cuando quede expuesta al aire, lo cual puede reducir la conductividad del material composite 100 de nanotubos de carbono. El material de la capa antioxidación 115 puede ser cualquier material apropiado incluyendo Au, platino (Pt), y cualquier otro material metálico antioxidación o aleaciones de estos. Un grosor de la capa de antioxidación 115 oscila entre 1 y 10 nanómetros. En la presente forma de realización, el material de la capa de antioxidación 115 es Pt y presenta el grosor de la capa antioxidación 115 que es de 2 nanómetros. Así mismo, puede entenderse que la capa antioxidación 115 es opcional cuando la capa conductora 114 es difícil que sea oxidada.

Así mismo, la capa de revestimiento 117 incluye, así mismo, una capa de refuerzo 116. La capa de refuerzo 116 puede ser aplicada a la superficie exterior de la capa de revestimiento conductor 117 para potenciar la resistencia del material composite de nanotubos de carbono. El material de la capa de refuerzo 116 puede ser cualquier material apropiado incluyendo un polímero de alta resistencia, como por ejemplo acetato de polivinilo (PVA), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), o parafenileno benzobisoxazola (PBO). Un grosor de la capa de refuerzo 116 oscila entre 0,1 micrómetros y 1 micrómetro. En la presente forma de realización, la capa de refuerzo 116 está dispuesta sobre la superficie exterior de la capa antioxidación 115. El material de la capa de refuerzo 116 es PVA y el grosor de la capa de refuerzo es de 0,5 micrómetros. Así mismo, debe entenderse que la capa de refuerzo 116 es opcional cuando el material composite de nanotubos de carbono es lo suficientemente fuerte.

Con referencia a la FIG. 4 y a la FIG. 5, en ellas se muestra un procedimiento para la fabricación del material composite 222 de nanotubos de carbono. En la presente forma de realización, se muestra una película 214 de nanotubos de carbono solo a modo de ejemplo para clarificar el procedimiento de fabricación del material composite 222 de nanotubos de carbono. El procedimiento incluye las siguientes etapas: (a) la provisión de una película 214 de nanotubos de carbono que incluya una pluralidad de nanotubos de carbono; y, (b) la formación de al menos una capa de revestimiento conductor 117 dispuesta sobre la película 214 de nanotubos de carbono para obtener un material composite 222 de nanotubos de carbono.

En la etapa (a), la película de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono y hay unos espacios intermedios 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 presentar una estructura autoestable. La película de nanotubos de carbono puede estar formada por las siguientes subetapas: (a1) la provisión de una matriz 216 de nanotubos de carbono (por ejemplo, una matriz de nanotubos de carbono superalineada); (a2) la extracción de una película 214 de nanotubos de carbono de la matriz 216 de nanotubos de carbono mediante la utilización de un instrumento (por ejemplo, cinta adhesiva, pinzas, tenacillas u otro instrumento que permita que sean prendidos y traccionados de manera simultánea los múltiples nanotubos de carbono).

En la etapa (a1), la matriz 216 de nanotubos de carbono superalineados puede estar dispuesta y constituida por las siguientes subetapas: (a11) la provisión de un sustrato liso y sustancialmente plano; (a12) la formación de una capa del catalizador del sustrato; (a13) el recocido del sustrato con la capa del catalizador en el aire a una temperatura que oscile entre 700° C y 900° C durante de 30 a 90 minutos; (a14) el calentamiento del sustrato con la capa del catalizador a una temperatura que oscila entre 500° C y 740° C en un horno con un gas protector en el horno; y (a15) el suministro de un gas de fuente de carbono al horno durante de 5 a 30 minutos y el crecimiento de la matriz 216 de nanotubos de carbono alineados sobre el sustrato.

En la etapa (a11), el sustrato puede ser una oblea de silicio de tipo P, una oblea de silicio de tipo N o una oblea de silicio con una película de dióxido de silicio sobre ella. En la presente forma de realización, se utiliza como sustrato una oblea de silicio de tipo P de 10,16 cm.

5 En la etapa (a12), el catalizador puede estar hecho de hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni) o cualquier aleación que comprenda hierro (Fe), cobalto (Co), y níquel (Ni).

En la etapa (a14), el gas protector puede estar compuesto por al menos un gas entre el nitrógeno (N₂), amoníaco (NH₃) y un gas noble. En la etapa (a5) el gas de la fuente de carbono puede ser un gas de hidrocarburo como por ejemplo etileno (C₂H₄), metano (CH₄), acetileno (C₂H₂), etano (C₂H₆), o cualquier combinación de estos.

10 La matriz 216 de nanotubos de carbono superalineados puede tener, de manera aproximada, de 200 a 400 micrómetros de altura e incluir una pluralidad de nanotubos de carbono paralelos unos respecto a otros y, de manera aproximada, perpendiculares con respecto al sustrato. Los nanotubos de carbono de la matriz 216 de nanotubos de carbono pueden ser unos nanotubos de carbono de una sola pared, nanotubos de carbono de paredes dobles, o nanotubos de carbono de paredes múltiples. Los diámetros de los nanotubos de carbono de una sola pared oscilan entre 0,5 nanómetros y 10 nanómetros. Los diámetros de los nanotubos de carbono de pared doble oscila entre 1 y 15 50 nanómetros. Los diámetros de los nanotubos de carbono de paredes múltiples oscilan entre 1,5 nanómetros y 50 nanómetros.

La matriz 216 de nanotubos de carbono superalineados constituida bajo las condiciones expuestas está esencialmente libre de impurezas, como por ejemplo partículas de catalizador carbonáceas o residuales. Los nanotubos de carbono de la matriz 216 de nanotubos de carbono superalineados están íntimamente compactados entre sí mediante una fuerza de atracción de van der Waals.

20 En la etapa (a2), la película 214 de nanotubos de carbono puede ser formada mediante las siguientes subetapas: (a21) la selección de una pluralidad de segmentos de nanotubos de carbono que tenga una anchura predeterminada entre la matriz 216 de nanotubos de carbono; y (a22) la tracción de los segmentos de nanotubos de carbono a una velocidad igual / uniforme para conseguir una película 214 de nanotubos de carbono uniforme.

25 En la etapa (a21), los segmentos de nanotubos de carbono que tienen una anchura predeterminada pueden ser seleccionados mediante la utilización de un instrumento, como por ejemplo una cinta adhesiva, para contactar con la matriz 216 de nanotubos de carbono. El segmento de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono paralelos unos respecto a otros. En la etapa (a22), la dirección de tracción es arbitraria (por ejemplo, sustancialmente perpendicular a la dirección de crecimiento de la matriz 216 de nanotubos de carbono).

30 Más en concreto, durante la etapa (a22), debido a que los segmentos de nanotubos de carbono iniciales son estirados, otros segmentos de nanotubos de carbono son, así mismo, estirados extremo con extremo debido a la fuerza de atracción de van der Waals entre los extremos de los segmentos adyacentes. Este proceso de estiramiento asegura que pueda ser formada una película 214 de nanotubos de carbono uniforme que tenga una anchura predeterminada. La película 214 de nanotubos de carbono incluye una pluralidad de nanotubos de carbono unidos extremo con extremo. Los nanotubos de carbono de la película 214 de nanotubos de carbono son todos sustancialmente paralelos a la dirección de tracción / estiramiento de la película 214 de nanotubos de carbono, y la película 214 de nanotubos de carbono producida de la forma indicada puede deformarse de manera selectiva para que tenga una anchura predeterminada. La película 214 de nanotubos de carbono constituida mediante el procedimiento de tracción / estiramiento ofrece una uniformidad de grosor y una conductividad superiores respecto de una película 214 de nanotubos de carbono típicamente desordenadas. Así mismo, el procedimiento de tracción / 40 estiramiento es sencillo, rápido e indicado para aplicaciones industriales.

La longitud y la anchura de la película 214 de nanotubos de carbono depende del tamaño de la matriz 216 de nanotubos de carbono. Cuando el sustrato es una oblea de silicio de tipo P de 10,16 cm, como en la presente forma de realización, la anchura de la película 214 de nanotubos de carbono oscila entre 0,5 nanómetros y 10 cm, y el 45 grosor de la película 214 de nanotubos de carbono oscila entre 0,5 nanómetros y 100 micrómetros.

En la etapa (b), al menos una capa de revestimiento conductor puede estar conformada sobre los nanotubos de carbono de la película 214 de nanotubos de carbono mediante un procedimiento de deposición física de vapor (PVD) como por ejemplo una evaporación en vacío o un bombardeo iónico. En la presente forma de realización, la al menos una capa de revestimiento conductor está constituida mediante un procedimiento de evaporación en vacío.

50 El procedimiento de evaporación al vacío para la constitución de la al menos una capa de revestimiento conductor de la etapa (b) puede incluir, así mismo, las siguientes subetapas: (b1) la provisión de un recipiente 210 al vacío que incluya al menos una fuente de evaporación 212; y (b2) el calentamiento de la al menos una fuente de evaporación 212 para depositar una capa de revestimiento conductor sobre dos superficies opuestas de la película 214 de nanotubos de carbono.

55 El recipiente 210 al vacío incluye en su interior una zona de deposición. En la presente forma de realización, tres pares de fuentes de evaporación están respectivamente montadas sobre las porciones superior e inferior de la zona de deposición. Cada par de fuentes de evaporación 212 / 212' incluye una fuente de evaporación superior 212

situada sobre una superficie superior de la zona de deposición, y una fuente de evaporación inferior 212' situada sobre una superficie inferior de la zona de deposición. Las dos fuentes de evaporación 212 / 212' están sobre los lados opuestos del recipiente 210 al vacío. Cada par de fuentes de evaporación 212 / 212' está fabricado con un tipo de material metálico. Para variar los materiales en pares diferentes de fuentes de evaporación 212 / 212', la capa de humidificación 112, la capa de transición 113, la capa conductora 114 y la capa antioxidación 115 pueden estar constituidas de manera ordenada sobre la película 214 de nanotubos de carbono. Las fuentes de evaporación pueden estar dispuestas a lo largo de una dirección de tracción de la película 214 de nanotubos de carbono sobre las porciones superior e inferior de la zona de deposición. La película 214 de nanotubos de carbono está situada dentro del recipiente 210 al vacío y entre la fuente de evaporación superior 212 y la fuente de evaporación inferior 212'. Hay una distancia entre la película 214 de nanotubos de carbono y las fuentes de evaporación 212 / 212'. Una superficie superior de la película 214 de nanotubos de carbono está directamente encarada hacia las fuentes de evaporación 212. Una superficie inferior de la película 214 de nanotubos de carbono está directamente encarada hacia las fuentes de evaporación inferiores 212'. El recipiente 210 al vacío puede ser vacuoexpulsado mediante la utilización de una bomba de vacío (no mostrada).

En la etapa (b2), la fuente de evaporación 212 puede ser calentada por un dispositivo de calentamiento (no mostrado). El material de la fuente de evaporación 212 es evaporado o sublimado para formar un gas. El gas encuentra los nanotubos de carbono fríos de la película 214 de nanotubos de carbono y se coagula sobre la superficie superior y sobre la superficie inferior de la película 214 de nanotubos de carbono. Debido a que existe una pluralidad de espacios intermedios entre los nanotubos de carbono adyacentes de la película 214 de nanotubos de carbono y que la película 214 de nanotubos de carbono es relativamente delgada, el material conductor puede ser infiltrado en los espacios intermedios de la película 214 de nanotubos de carbono. El material conductor propiamente dicho puede ser depositado sobre la mayor parte, si no toda, la superficie exterior del nanotubo de carbono único.

Cada fuente de evaporación 212 puede presentar una zona de deposición correspondiente mediante el ajuste de la distancia entre la película 214 de nanotubos de carbono y las fuentes de evaporación 212. Las fuentes de evaporación 212 pueden ser calentadas de forma simultánea, mientras que la película 214 de nanotubos de carbono es traccionada a través de las múltiples zonas de deposición existentes entre las fuentes de vaporización 212 para formar múltiples capas de revestimiento conductor.

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

Debe entenderse que la matriz 216 de nanotubos de carbono formada en la etapa (a1) puede ser directamente situada dentro del recipiente 210 al vacío. La película 214 de nanotubos de carbono puede ser traccionada dentro del recipiente 210 al vacío y pasada de manera sucesiva por cada fuente de evaporación 212, depositándose sobre ella, de manera sucesiva, cada capa de revestimiento conductor. De esta manera, la etapa de tracción y la etapa de deposición pueden ser llevadas a cabo de forma simultánea.

En la presente forma de realización, el procedimiento para la formación de la al menos una capa de revestimiento conductor incluye las siguientes etapas: la formación de una capa de humidificación sobre una superficie de la película 214 de nanotubos de carbono; la formación de una capa de transición sobre la capa de humidificación; la formación de una capa conductora sobre la capa de transición; y la formación de una capa antioxidación sobre la capa conductora. En el procedimiento descrito con anterioridad, las etapas de formación de la capa de humidificación, de la capa de transición y de la capa antioxidación son opcionales.

El procedimiento de fabricación del material composite de nanotubos de carbono incluye así mismo, de manera opcional, una etapa de formación de una capa de refuerzo situada en el exterior de la al menos una capa de revestimiento conductor. Más en concreto, la película 214 de nanotubos de carbono con la al menos una capa de revestimiento conductor puede ser sumergida dentro de un recipiente 220 que incluya un polímero líquido. De esta manera, la entera superficie de los espacios existentes entre los nanotubos de carbono de la película 214 de nanotubos de carbono pueden ser empapados en el polímero líquido. Después de la concentración (esto es, después de ser curada), puede formarse una capa de refuerzo sobre la superficie exterior de cada nanotubo de carbono revestido. Se comprende sin problemas que el material composite 222 de nanotubos de carbono fabricado mediante este procedimiento presenta una estructura plana.

Así mismo, las etapas de formación de la película 214 de nanotubos de carbono, de la al menos una capa de revestimiento conductor y de la capa de refuerzo pueden ser procesadas dentro del mismo recipiente al vacío para conseguir una producción sucesiva del material composite 222 de nanotubos de carbono.

De manera opcional, para incrementar la transparencia de la película 214 de nanotubos de carbono, antes de la etapa (c), la película 214 de nanotubos de carbono puede ser tratada por láser para reducir el grosor de la película 214 de nanotubos de carbono.

En la presente forma de realización, la frecuencia del láser es de 1064 nanómetros, la potencia de salida del láser es de 20 mW, la velocidad de barrido del láser es de 10 mm / s. Una lente de enfoque de un dispositivo láser es

retirado, y un diámetro de un punto brillante constituido por la irradiación del láser sobre la superficie de la película de nanotubos de carbono es de 3 milímetros.

El material composite 222 de nanotubos de carbono tratado y no tratado con láser y la película 214 de nanotubos de carbono con diferentes capas de revestimiento conductor, las resistencias correspondientes y las transmitancias de una luz visible con una frecuencia de 550 nanómetros se comparan en la tabla 1.

5

Tabla 1

No.	Tratado o no tratado con láser	Capa de Humidificación / Grosor	Capa Conductora / Grosor	Ohmios / Cuadrado (Ω)	Transmitancia (%)
1	No tratado	--	--	1684	85,2
2	No tratado	Ni / 2nm	--	1656	79,0
3	No tratado	Ni / 2nm	Au / 3nm	504	74,6
5	No tratado	Ni / 2nm	Au / 5nm	216	72,5
6	Tratado	Ni / 2nm	Au / 5 nm	2127	92,8
7	Tratado	Ni / 2nm	Au / 10nm	1173	92,7
8	Tratado	Ni / 2nm	Au / 15nm	495	90,7
9	Tratado	Ni / 2nm	Au / 20nm	208	89,7

Tal y como se muestra en la tabla 1, debido a la capa de revestimiento conductor situada en el exterior de los nanotubos de carbono de la película 214 de composite de nanotubos de carbono, la resistencia del material composite 222 de nanotubos de carbono es inferior a la de la película 214 de nanotubos de carbono. Sin embargo, la transmitancia y la transparencia del material composite 222 de nanotubos de carbono se reduce a medida que se incrementa el grosor de la capa de revestimiento conductor. Después de ser tratado con láser, la transmitancia y la transparencia del material composite 222 de nanotubos de carbono se incrementa. Como conclusión con respecto a un amplio número de pruebas, la resistencia del material composite 222 de nanotubos de carbono puede reducirse hasta 50 Ω la transmitancia de la luz visible puede incrementarse hasta un 95%.

10

15

En la presente forma de realización, la resistencia de la película 214 de nanotubos de carbono está por encima de los 1600 ohmios. Después del depósito de una capa de Ni y de una capa de Au, la resistencia del material composite 222 de nanotubos de carbono puede reducirse a 200 ohmios. La relación de transmisión de la luz visible oscila entre el 70% y el 95%. De esta manera, el material composite 222 de nanotubos de carbono de la presente forma de realización presenta una resistencia baja y una transparencia alta, y puede ser utilizado como una película conductora transparente.

20

Así mismo, con el fin de conseguir un material composite de nanotubos de carbono que tenga una estructura en forma de alambre, puede ser procesada así mismo una etapa adicional (c) de tratamiento del material composite de nanotubos de carbono en la estructura plana. En la etapa (c), el material composite de nanotubos de carbono en la estructura plana puede ser tratado con una fuerza mecánica (por ejemplo, un proceso de hilado convencional) para adquirir una estructura en forma de alambre. El material composite de nanotubos de carbono en la estructura plana puede ser enrollado a lo largo de la dirección alineada de los nanotubos de carbono situados en su interior para adquirir una estructura en forma de alambre revestida y enrollada.

25

En la presente forma de realización, la etapa (c) puede ser ejecutada mediante dos procedimientos. El primer procedimiento incluye las siguientes etapas de: la adherencia de un extremo de la película 214 de nanotubos de carbono individualmente revestidos a un motor rotatorio; y el enrollamiento de la película 214 de nanotubos de carbono individualmente revestidos por el motor rotatorio. El segundo procedimiento incluye las siguientes etapas de: suministro de un eje giratorio; el contacto del eje giratorio con un extremo de la película 214 de nanotubos de carbono individualmente revestidos; y el enrollamiento de la película 214 de nanotubos de carbono individualmente revestidos por el eje rotatorio.

30

35

El material composite 222 de nanotubos de carbono suministrado en la presente forma de realización presenta las siguientes propiedades superiores: la superficie exterior de cada nanotubo de carbono está recubierta por al menos una capa de revestimiento conductor. De esta manera, el material composite 222 de nanotubos de carbono revestidos tiene una gran conductividad. En tercer lugar, el procedimiento para la formación del material composite 222 de carbono revestido es sencillo y relativamente poco costoso. Así mismo, el material composite 222 de nanotubos de carbono puede ser formado de manera sucesiva y, por tanto, se puede conseguir una producción en masa del material composite 222 de nanotubos de carbono. Por último, dado que los nanotubos de carbono son

40

huecos, y que un grosor de al menos una capa de revestimiento conductor es solo de unos pocos nanómetros, de esta manera es menos probable que se produzca un efecto pelicular en el material composite 222 de nanotubos de carbono, y las señales no se desintegrarán tanto durante la transmisión.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un material composite de nanotubos de carbono que comprende:
una pluralidad de nanotubos de carbono unidos extremo con extremo en paralelo unos con otros mediante unas fuerzas de atracción de van der Waals; y
5 al menos una capa de revestimiento conductor dispuesta alrededor de los nanotubos de carbono.
- 2.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la capa de revestimiento superior está en contacto con la superficie de los nanotubos de carbono.
- 3.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que la capa de revestimiento conductor comprende una capa conductora y el material de la capa conductora está comprendida por
10 un material seleccionado entre el grupo que consiste en cobre, plata, oro y aleaciones de estos.
- 4.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con la reivindicación 3, en el que un grosor de la capa conductora oscila entre 1 nm y 20 nm.
- 5.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la capa de revestimiento conductor comprende así mismo una capa de humidificación situada entre la superficie exterior de cada nanotubo de carbono y la capa conductora.
15
- 6.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el material de la capa de humidificación se selecciona entre el grupo que consiste en hierro, cobalto, níquel, paladio, titanio y aleaciones de estos y un grosor de la capa de humidificación oscila entre 1 nm y 20 nm.
- 7.- Un material composite de nanotubos de carbono que comprende:
20 una estructura de película de nanotubos de carbono que comprende una pluralidad de nanotubos de carbono que están unidos extremo con extremo en paralelo unos con otros mediante unas fuerzas de atracción de van der Waals y que son paralelos a una superficie de la película de nanotubos de carbono; y
al menos una capa de revestimiento conductor dispuesta alrededor del nanotubo de carbono.
- 8.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la estructura de película de nanotubos de carbono es una estructura autónoma.
25
- 9.- Un material composite de nanotubos de carbono de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8, en el que la estructura de película de nanotubos de carbono comprende una película de nanotubos de carbono que comprende una pluralidad de espacios intermedios situados entre dos nanotubos de carbono adyacentes.
- 10.- Un procedimiento de fabricación de un material composite de nanotubos de carbono, comprendiendo el
30 procedimiento las etapas de:
(a) la provisión de una película de nanotubos de carbono que presenta una pluralidad de nanotubos de carbono unidos extremo con extremo y que están dispuestos en paralelo unos con respecto a otros, formándose la película de nanotubos de carbono mediante las siguientes subetapas:
la provisión de una matriz de nanotubos de carbono;
35 la selección de una pluralidad de nanotubos de carbono que presenta una anchura predeterminada entre la matriz de nanotubos de carbono
la tracción de los segmentos de nanotubos de carbono a una velocidad igual / uniforme para conseguir una película de nanotubos de carbono, y
(b) la formación de al menos una capa de revestimiento conductor sobre una pluralidad de nanotubos de carbono de la película de nanotubos de carbono mediante un procedimiento de deposición por evaporación al vacío, comprendiendo el procedimiento de deposición por evaporación al vacío las subetapas siguientes:
40 la provisión de dos fuentes de evaporación dispuestas por separado sobre el lado opuesto de la película de nanotubos de carbono;
el calentamiento de las dos fuentes de evaporación para depositar una capa de revestimiento conductor sobre dos superficies opuestas de la película de nanotubos de carbono,
45 en el que la capa de revestimiento conductor comprende una capa conductora.

- 11.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la película de nanotubos de carbono es tratada por un láser para reducir el grosor de la película de nanotubos de carbono antes de la etapa (b).
- 12.- Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 10 u 11, que comprende así mismo una etapa de enrollamiento de la película de nanotubos de carbono después de la etapa (b).
- 5 13.- Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que la película de nanotubos de carbono es enrollada a lo largo de una dirección alineada de los nanotubos de carbono dispuestos en su interior.



FIG. 1

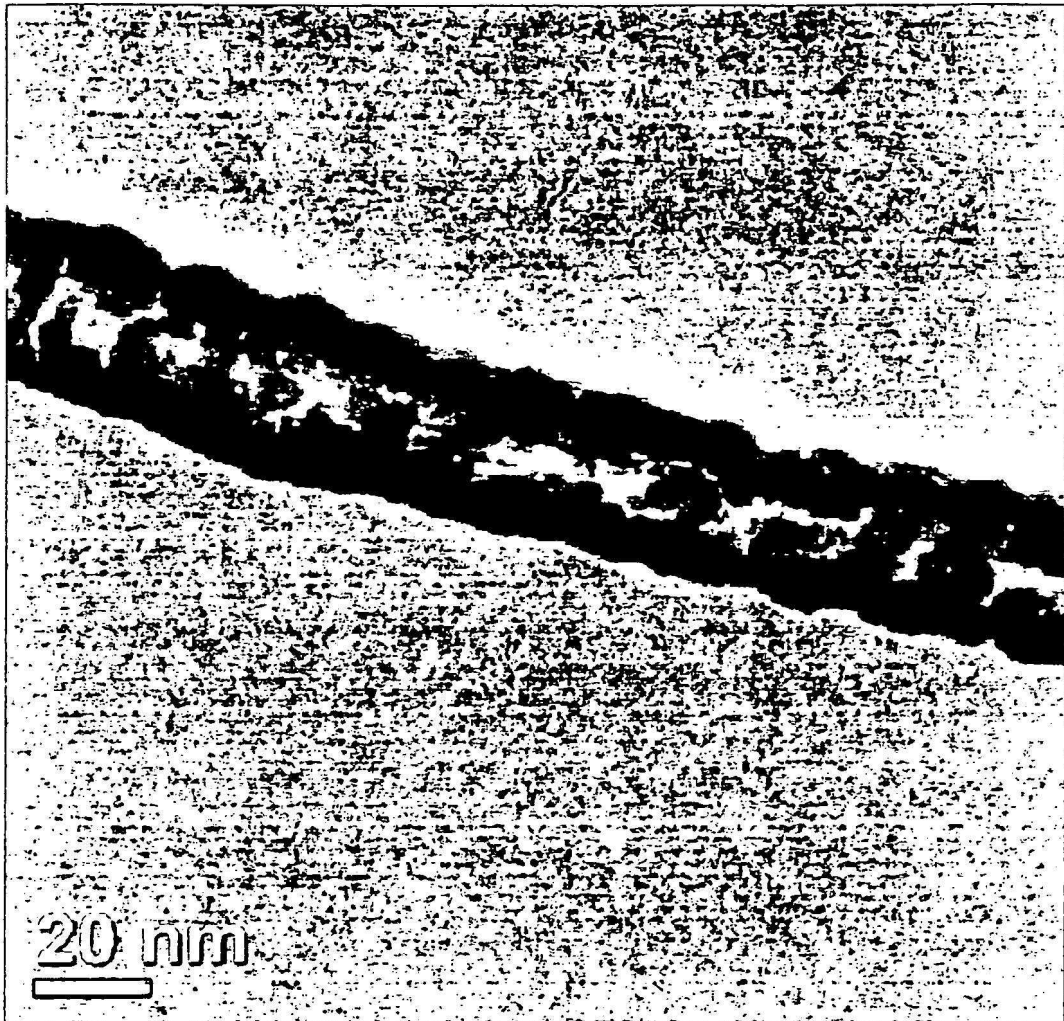


FIG. 2

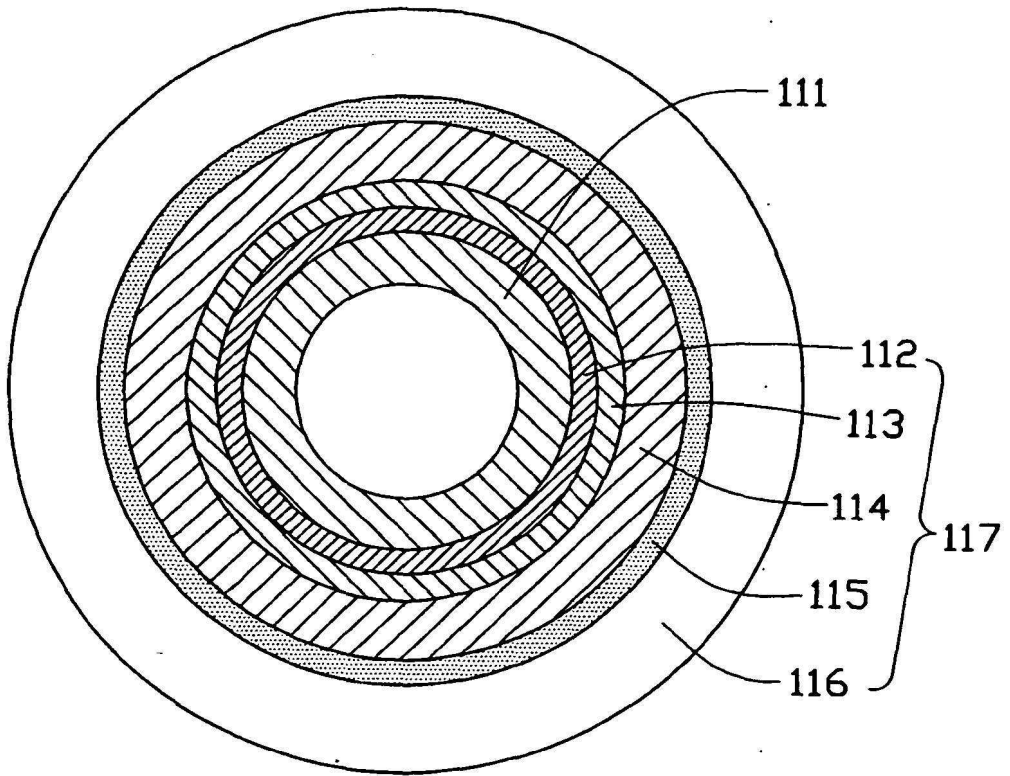


FIG. 3

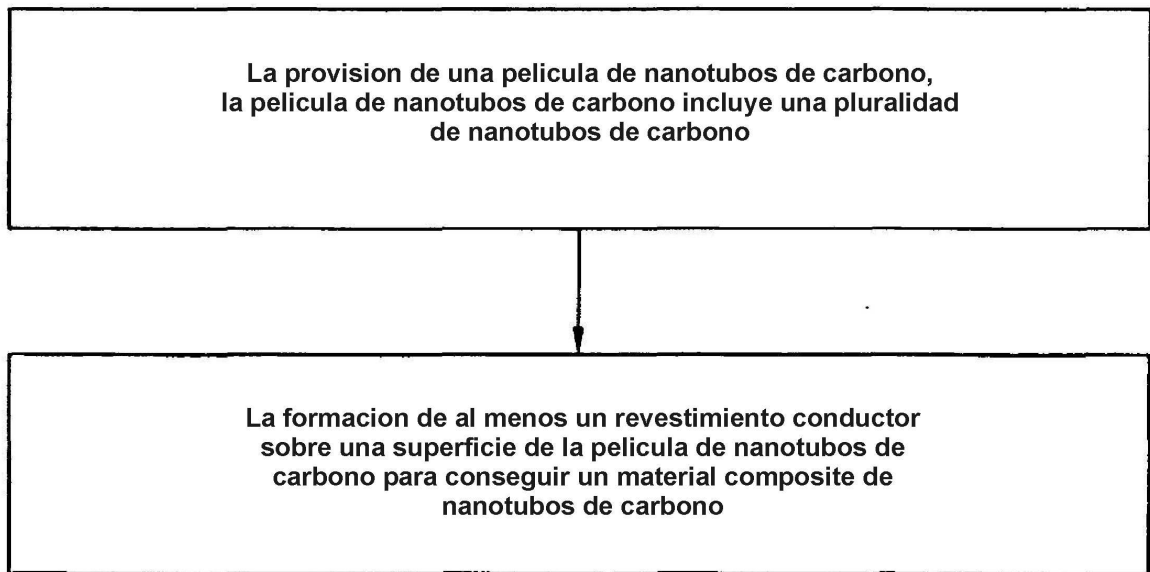


FIG. 4

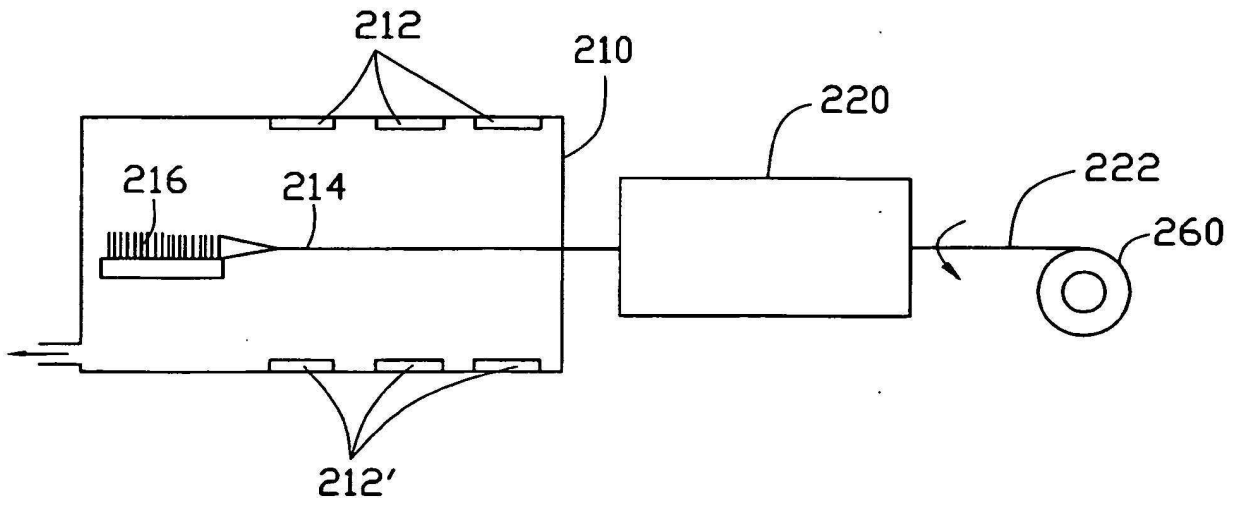


FIG. 5