

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 744**

51 Int. Cl.:

B32B 5/02	(2006.01)	B32B 5/26	(2006.01)
D04H 1/4242	(2012.01)	B32B 7/04	(2006.01)
D04H 1/72	(2012.01)	D04H 1/44	(2006.01)
D01G 1/06	(2006.01)		
D02G 3/02	(2006.01)		
B82Y 30/00	(2011.01)		
D04H 1/4382	(2012.01)		
D04H 1/4391	(2012.01)		
D04H 1/728	(2012.01)		
D04H 1/74	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2006 E 14193087 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2860153**

54 Título: **Aparato y método para formación y recolección de hojas no tejidas nanofibrosas**

30 Prioridad:

28.07.2005 US 703328 P

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

27.09.2018

73 Titular/es:

**NANOCOMP TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
57 Daniel Webster Highway
Merrimack, NH 03054, US**

72 Inventor/es:

**LASHMORE, DAVID S;
BROWN, JOSEPH J;
CHAFFEE, JARED K;
RESNICOFF, BRUCE y
ANTOINETTE, PETER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 683 744 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

Aparato y método para formación y recolección de hojas no tejidas nanofibrosas

Campo técnico

5 La presente invención está relacionada con sistemas para formación y recolección de materiales nanofibrosos, y más particularmente con la formación de hilos y hojas no tejidas a partir de nanotubos, nanoalambres u otras estructuras filamentosas que tienen dimensiones de nanoescala.

Antecedentes de la técnica

10 Se conoce que los nanotubos de carbono tienen extraordinaria resistencia a la tracción, incluido alto alargamiento hasta el fallo y módulo de tracción relativamente alto. Los nanotubos de carbono también pueden ser sumamente resistentes a fatiga, daño por radiación y calor. Con este fin, la adición de nanotubos de carbono a materiales composite puede aumentar la resistencia a la tracción y la tiesura de los materiales composite.

15 En los últimos quince (15) años, como las propiedades de los nanotubos de carbono se han entendido mejor, el interés en nanotubos de carbono ha aumentado enormemente dentro y fuera de la comunidad de investigación. Una clave para hacer uso de estas propiedades es la síntesis de nanotubos en suficientes cantidades para que se desplieguen ampliamente. Por ejemplo, pueden ser necesarias grandes cantidades de nanotubos de carbono si van a ser usadas como componentes de alta fortaleza de composites en estructuras a macroescala (es decir, estructuras que tienen dimensiones mayores de 1 cm.)

20 Una ruta común a síntesis de nanotubos puede ser mediante el uso de pirólisis en fase gaseosa, tal como la empleada en conexión con deposición química de vapor. En este proceso, se puede formar un nanotubo a partir de la superficie de una nanopartícula catalítica. Específicamente, la nanopartícula catalítica puede ser expuesta a una mezcla de gases que contiene compuestos de carbono que sirven como materia prima para la generación de un nanotubo desde la superficie de la nanopartícula.

25 Recientemente, una ruta prometedora para la producción de alto volumen de nanotubos ha sido emplear un sistema de deposición química de vapor que hace crecer nanotubos a partir de partículas de catalizador que "flotan" en el gas de reacción. Un sistema de este tipo típicamente hace discurrir una mezcla de gases de reacción a través de una cámara calentada dentro de la que se pueden generar los nanotubos a partir de nanopartículas que han sido precipitadas desde el gas de reacción. Puede ser posibles otras numerosas variaciones, incluidas donde las partículas de catalizador pueden ser presuministradas.

30 En casos donde pueden ser generados grandes volúmenes de nanotubos de carbono, sin embargo, los nanotubos pueden conectarse a las paredes de una cámara de reacción, dando como resultado el bloqueo de nanomateriales que salen de la cámara. Además, estos bloqueos pueden inducir un acúmulo de presión en la cámara de reacción, que puede dar como resultado la modificación de la reacción cinética global. Una modificación de la cinética puede llevar a la reducción de la uniformidad del material producido.

35 Una preocupación adicional con los nanomateriales puede ser que tienen que se manejados y procesados sin generar grandes cantidades de particulados en el aire, dado que los peligros asociados con materiales a nanoescala todavía no se entienden bien.

40 El procesamiento de nanotubos o materiales a nanoescala para aplicaciones a macroescala ha aumentado constantemente en años recientes. El uso de materiales a nanoescala en fibras textiles y materiales relacionados ha estado aumentando. En la técnica textil, a las fibras que son de longitud fija y que han sido procesadas en gran masa se les puede hacer referencia como fibras cortadas. La tecnología para manejar fibras cortadas, tales como lino, lana y algodón se ha establecido hace tiempo. Para hacer uso de fibras cortadas en telas u otros elementos estructurales, las fibras cortadas pueden ser formadas primero hasta estructuras voluminosas tales como hilos, estopas u hojas, que luego pueden ser procesadas hasta los materiales apropiados.

45 Nanotubos largos, que pueden tener dimensiones de 20 nm o menos de diámetro y 10 micrómetros o más de longitud, pueden tener relaciones de aspecto relativamente altas. Estas fibras de nanotubo, cuando son producidas en grandes cantidades a partir de, por ejemplo, deposición química de vapor, pueden ser usadas como nueva fuente de fibras cortadas a pesar de ser más pequeñas que la mayoría de otras fibras cortadas textiles.

50 Por consiguiente, sería deseable proporcionar un sistema y un planteamiento para recoger y manejar nanotubos sintetizados que pueda minimizar la generación particulados en el aire, y de manera tal que se permita el procesamiento de los nanotubos hasta un material fibroso de alta fortaleza para subsiguiente incorporación a diversas aplicaciones, estructuras o de otro modo.

Compendio de la invención

La presente invención, en una realización, proporciona un sistema para formar materiales nanofibrosos, tales como hilo. El sistema incluye un alojamiento que tiene una entrada para acoplar una cámara de síntesis independiente dentro de la que pueden producirse nanotubos. El sistema también incluye un husillo que tiene un extremo de admisión, un extremo de salida opuesto y una senda entre los mismos. En una realización, el husillo se extiende desde dentro del alojamiento, cruzando la entrada y adentro de la cámara para recoger los nanotubos a través del extremo de admisión y para posteriormente retorcer los nanotubos hasta un hilo nanofibroso. El sistema incluye además un carrete posicionado dentro del alojamiento y aguas abajo del husillo para devanar sobre el mismo el hilo del husillo. También se puede proporcionar un sistema de sensor para generar datos de retroinformación para controlar una tasa de giro de husillo y carrete, para evitar comprometer la integridad del hilo conforme está siendo devanado alrededor del carrete. En una realización, se pueden proporcionar un brazo de guía entre el husillo y carrete para dirigir el hilo que sale del husillo sobre el carrete para subsiguiente devanado.

La presente invención, en una realización adicional, proporciona un método para formar un hilo nanofibroso. El método incluye recibir una pluralidad de nanotubos sintetizados que se mueven sustancialmente en una dirección. El ambiente puede ser un ambiente hermético al aire. En una realización, antes de la recepción, puede impartirse un flujo en vórtice a los nanotubos para proporcionar un retorcimiento inicial. A continuación, los nanotubos pueden ser retorcidos juntos hasta formar un hilo en una dirección sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de los nanotubos. Después de eso, el hilo se puede mover hacia un área para recolección y posteriormente ser recolectados al devanar el hilo alrededor de un eje sustancialmente transversal a una dirección de movimiento del hilo. La tasa de devanado puede ser controlada para evitar comprometer la integridad del hilo.

En un ejemplo, se proporciona un aparato para presentar nanotubos sintetizados de una manera retorcida para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos. El aparato incluye un trozo de cuerpo que tiene una senda a través de la que pueden fluir nanotubos sintetizados. El aparato también puede incluir un trozo de capuchón conectado a un extremo distal del trozo de cuerpo y que tiene una abertura a través de la que pueden salir los nanotubos. Entre el trozo de capuchón y el trozo de cuerpo se puede situar un canal circunferencialmente alrededor de la senda. El aparato puede incluir además una pluralidad de lumbreras de salida, posicionadas dentro del canal, en comunicación de fluidos con la senda, para impartir un flujo en vórtice a la senda. De esta manera, nanotubos que fluyen a través de la senda se pueden presentar de una manera retorcida después de salir por el extremo distal del trozo de cuerpo.

En un ejemplo, se proporciona otro aparato para presentar nanotubos sintetizados para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos. El aparato incluye un disco que tiene un extremo proximal y un extremo distal. Un pasadizo, en una realización, se extiende entre el extremo proximal y un extremo distal. El aparato también incluye un trozo constreñido en el extremo distal del pasadizo para permitir acumulación de los nanotubos en el mismo. Con este fin, el trozo constreñido en el extremo distal puede proporcionar una fuente desde la que se pueden presentar nanotubos para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un sistema para formación y recolección de materiales nanofibrosos según una realización de la presente invención.

La figura 2 ilustra una variante del sistema mostrado en la figura 1.

Las figuras 3A-B ilustran un generador de vórtice para uso en conexión con el sistema mostrado en la figura 1.

Las figuras 4 ilustran otra variante del sistema mostrado en la figura 1.

Las figuras 5-6 ilustran otro sistema de la presente invención para formación y recolección de materiales nanofibrosos.

La figura 7 ilustra otro generador de vórtice para uso en conexión con el sistema mostrado en la figura 1.

Descripción de realizaciones específicas

Nanotubos para uso en conexión con la presente invención pueden ser fabricados usando una variedad de planteamientos. Actualmente, existen múltiples procesos y variaciones de los mismos para hacer crecer nanotubos. Estos incluyen: (1) Deposición química de vapor (CVD), un proceso común que puede ocurrir a presiones casi ambiente o altas, (2) descarga de arco, un proceso a temperatura alta que puede producir tubos que tienen un alto grado de perfección, y (3) ablación por láser. Cabe señalar que aunque a continuación se hace referencia a nanotubo sintetizado a partir de carbono, se pueden usar otros compuestos en conexión con la síntesis de nanotubos para uso con la presente invención.

La presente invención, en una realización, emplea un proceso CVD o procedimientos similares de pirólisis en fase gaseosa bien conocidos en la industria para generar los nanotubos apropiados. En particular, como las temperaturas de crecimiento para CVD se pueden ser comparativamente bajas yendo, por ejemplo, de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 1300 °C, nanotubos de carbono, tanto de única pared (SWNT, *single wall nanotube*, nanotubo de

única pared) como multipared (MWNT, *multiwall nanotube*, nanotubo multipared), pueden crecer, en una realización, a partir de partículas de catalizador nanoestructural suministradas por gases reactivos que contienen carbono (es decir, fuente de carbono gaseoso).

5 Además, la fortaleza de los SWNT y MWNT generados para uso en conexión con la presente invención puede ser aproximadamente 30 GPa como máximo. La fortaleza, cabe señalar, es sensible a defectos. Sin embargo, el módulo elástico de los SWNT y MWNT fabricados para uso con la presente invención típicamente no son sensibles a defectos y pueden variar de aproximadamente 1 a aproximadamente 1,5 TPa. Además, el alargamiento hasta el fallo, que generalmente puede ser un parámetro sensible a la estructura, puede ir de un pequeño porcentaje a un máximo de aproximadamente 10 % en la presente invención.

10 Haciendo referencia ahora a la figura 1, se ilustra un sistema 10 para recoger nanotubos de longitud extendida producidos mediante un proceso CVD dentro de una cámara de síntesis 11, y para posteriormente formar estructuras o materiales fibrosos, tales como hilo, a partir de los nanotubos. La cámara de síntesis 11, en general, incluye un extremo de entrada 111, en el que se pueden suministrar gases de reacción, una zona caliente 112, donde puede ocurrir síntesis de nanotubos de longitud extendida 113, y un extremo de salida 114 desde el que pueden salir y recogerse los productos de la reacción, es decir los nanotubos de longitud extendida 113 y gases de escape. En una realización, la cámara de síntesis 11 puede ser un tubo de cuarzo 115, que se extiende a través de un horno 116, y puede incluir rebordes 117 proporcionados en el extremo de salida 114 y el extremo de entrada 114 para sellar el tubo 115. Aunque ilustrado como tal en la figura 1, se debe apreciar que en el diseño de la cámara de síntesis 11 se pueden emplear otras configuraciones.

20 El sistema 10, en una realización de la presente invención, incluye un alojamiento 12. El alojamiento 12, como se ilustra en la figura 1, puede ser sustancialmente hermético al aire para minimizar la liberación de particulados en el aire potencialmente peligrosos generados desde dentro de la cámara de síntesis 11 al ambiente, y para impedir que entre oxígeno al sistema 10 y llegue a la cámara de síntesis 11. Se debe apreciar que la presencia de oxígeno dentro de la cámara de síntesis 11 puede comprometer la producción y afectar a la integridad de los nanotubos extendidos 113.

25 El sistema 10 también incluye una entrada 13 para acoplar los rebordes 117 en el extremo de salida 114 de la cámara de síntesis 11 de una manera sustancialmente hermética al aire. En una realización, la entrada 13 puede incluir al menos un escape de gas 131 a través del que los gases y el calor pueden dejar el alojamiento 12. El gas que sale del escape 131, en una realización, puede tener permitido pasar a través de un líquido, tal como agua, o un filtro para recoger nanomateriales no reunidos sobre un husillo rotatorio 14 aguas arriba del escape 10. Adicionalmente, el gas de escape puede ser expuesto a una llama y aire a fin de desenergizar diversos componentes del gas de escape, por ejemplo, se puede oxidar hidrógeno reactivo para formar agua.

30 El husillo rotatorio 14, como se muestra en la figura 1, se puede diseñar para extenderse desde dentro del alojamiento 12, a través de la entrada 13, y adentro de la cámara de síntesis 11 para la recogida de nanotubos de longitud extendida 113. En una realización, el husillo rotatorio 14 puede incluir un extremo de admisión 141 en el que puede entrar una pluralidad de nanotubos y ser girados hasta un hilo 15. En una realización, el sentido de giro puede ser sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de los nanotubos 113. El husillo rotatorio 14 también puede incluir una senda, tal como núcleo hueco 142, a lo largo del que puede ser guiado el hilo 15 hacia el extremo de salida 143 del husillo 14. El extremo de admisión 141 del husillo rotatorio 14 puede incluir una variedad de diseños. En una realización, el extremo de admisión 141 puede simplemente incluir una abertura (no se muestra) a través de la que pueden entrar los nanotubos 113. Como alternativa, puede incluir una estructura semejante a un embudo 144 que puede servir para guiar los nanotubos 113 al extremo de admisión 141. La estructura 144 también puede servir para soportar el hilo 15, si se rompe, hasta el momento que pueda reconstituirse por sí mismo al retorcer con nanotubos recientemente depositados 113. En una realización, se puede proporcionar un rodillo, cabestrante u otros dispositivos restrictivos (no se muestran) adyacentes al extremo de admisión 141 del husillo 14 a fin de: (1) servir como punto desde el que se puede retorcer el hilo 15, y (2) impedir elasticidad en el hilo 15 al tirar del hilo demasiado rápidamente hacia la núcleo 142 del husillo 14, que puede impedir que el hilo 15 se reforme si se ha roto.

35 El sistema 10 incluye además un brazo de guía 16 que puede ser acoplado al extremo de salida 143 del husillo rotatorio 14 para guiar y dirigir el hilo 15 hacia un carrete 17 para reunirlos sobre el mismo. Según una realización de la presente invención, se puede proporcionar un set de poleas 161, ojales o ganchos como accesorios al brazo de guía 16 para definir un camino sobre el que puede ser dirigido el hilo 15 a lo largo del brazo de guía 16. Como alternativa, se puede permitir que el hilo 15 pase a través de una estructura tubular (no se muestra) que puede dirigir el hilo 15 desde el extremo de salida 143 del husillo 14 a un punto desde el que se puede devanar hilo 15 sobre el carrete 17.

40 El brazo de guía 16 y el husillo rotatorio 14, en una realización, pueden trabajar juntos para inducir retorcimiento en el hilo 15. La rotación del husillo 14 y el brazo de guía 16, como se muestra en la figura 1, puede ser impulsada mecánicamente, por ejemplo, por un motor eléctrico 18 acoplado al husillo 14 por medio de una cinta 181, por ejemplo.

45 El carrete 17, situado dentro del alojamiento 12, se puede posicionar, en una realización, aguas abajo del brazo de guía 16 para la recolección del hilo 15. En particular, hilo 15 que avanza desde el brazo de guía 16 puede ser dirigido a un carrete giratorio 17, de manera que después de eso el hilo 15 puede ser devanado circunferencialmente alrededor

del carrete 17. Aunque mostrado en alineación axial con el husillo rotatorio 14, se debe apreciar que el carrete 17 se puede colocar en cualquier otra ubicación dentro del alojamiento 12, siempre que el carrete 17 pueda ser girado alrededor de su eje para recoger hilo 15 desde el brazo de guía 16. En una realización el eje de giro del carrete 17 puede ser sustancialmente transversal a la dirección de movimiento del hilo 15 sobre el carrete 17.

5 Para impartir rotación al carrete 17, un impulsor mecánico adicional 19 se puede acoplar al carrete 17. En una realización, el carrete 17 puede ser sincronizado para girar o rotar a una tasa de rotación cercana o sustancialmente similar a la del husillo 14 para permitir recolección uniforme del hilo 15 sobre el carrete 17. De otro modo, si, por ejemplo, la tasa de rotación del carrete 17 es más rápida que la del husillo 14, puede ocurrir la rotura del hilo 15 desde el brazo de guía 16 al carrete 17, o si la tasa es más lenta que la del husillo 14, trozos flojos del hilo 15 pueden terminar enredados.

10 Para mantener sustancial sincronización de las tasas de rotación, el movimiento de los impulsores mecánicos 18 y 19 puede ser ajustado por un sistema de control (no se muestra). En una realización, el sistema de control se puede diseñar para recibir datos desde sensores de posición, tales como codificadores ópticos, conectados a cada uno de los impulsores mecánicos 17 y 18. Posteriormente, sobre la base de los datos, el sistema de control puede usar un algoritmo de control a fin de modificar la potencia suministrada a cada impulsor a fin de controlar la tasa de cada impulsor de modo que sustancialmente coincida con la tasa de síntesis de nanotubos. Como resultado, el sistema de control puede impartir: (1) velocidad constante de hilo controlada por límites de tensión establecidos, o (2) tensión constante controlada por límites de velocidad. En una realización, la velocidad de hilo puede ser restablecida en tiempo real dependiendo de los valores de tensión, de modo que la tensión puede ser mantenida dentro de un límite preestablecido. Adicionalmente, la tensión de hilo puede ser restablecida en tiempo real dependiendo de los valores de velocidad, de modo que la tensión puede ser mantenida dentro de un valor establecido.

El sistema de control también puede variar la tasa entre el carrete 17 y el husillo 14, si es necesario, para controlar el hilo tomado por el carrete 17. Adicionalmente, el sistema de control puede provocar que el carrete 17 se mueva adelante y atrás a lo largo de su eje, para permitir que el hilo 15 sea devanado uniformemente alrededor del mismo.

25 En funcionamiento, bajo producción en estado estable usando un proceso de la presente invención, nanotubos de longitud extendida pueden ser recogidos de dentro de la cámara de síntesis 11 y después de eso se puede formar hilo 15. En particular, conforme los nanotubos 113 emergen de la cámara de síntesis 11, pueden ser recogidos en un fardo, alimentado al extremo de admisión 141 del husillo 14, y posteriormente girados o retorcidos hasta el hilo 15 dentro del mismo. Cabe señalar que un retorcimiento continuo del hilo 15 puede acumular suficiente esfuerzo angular como para provocar rotación cerca de un punto donde llegan nuevos nanotubos 113 en el husillo 14 para el proceso de formación de hilo. Además, se puede aplicar una tensión continua al hilo 15 o su avance puede ser permitido en una tasa controlada, para permitir captación circunferencialmente alrededor del carrete 17.

30 Típicamente, la formación del hilo 15 resulta de enfardar nanotubos 113 que posteriormente pueden ser girados apretadamente hasta un hilo retorcido. Como alternativa, un retorcimiento principal del hilo 15 puede ser anclado en algún punto dentro del sistema 10 y los nanotubos recogidos 113 pueden ser devanados en el hilo 15 retorcido. Estos dos modos de crecimiento se pueden implementar en conexión con la presente invención.

35 Mirando ahora a la figura 2, se puede proporcionar un generador de vórtice, tal como centrifugador de gas 20, hacia el extremo de salida 114 de la cámara de síntesis 11 para generar un sustancial flujo en vórtice a fin de impartir un movimiento de retorcimiento a los nanotubos 113 antes de ser dirigidos al husillo 14 y ser girados hasta el hilo 15. La generación de un vórtice para impartir movimiento de retorcimiento también puede servir para igualar la cantidad de material de nanotubo usado en la formación del hilo 15. El centrifugador de gas 20, como se ilustra en las figuras 3A-B, se puede diseñar para incluir un trozo de capuchón 31, un trozo de cuerpo 32, y un canal 33 posicionado circunferencialmente alrededor del centrifugador de gas 20 entre el trozo de capuchón 31 y el trozo de cuerpo 32.

40 El trozo de capuchón 31, en una realización, incluye un conducto 311 a través del que un gas inerte desde una línea de suministro 312 puede entrar al canal 33 del centrifugador de gas 30 para subsiguiente generación de un flujo en vórtice. Ejemplos de un gas inerte para uso en conexión con el centrifugador de gas 20 incluyen, He, Ar o otros gases inertes adecuados.

45 El trozo de cuerpo 32, por otro lado, incluye una senda asimétrica 321, a través de la que puede fluir gas (es decir, fluido) y nanomateriales fibrosos (es decir, nanotubos 113) generados desde la zona caliente 112 de la cámara de síntesis 11 (flechas 35 en la figura 3A). En una realización, la senda 321 incluye un trozo en disminución 322 adyacente a un extremo proximal 325 del trozo de cuerpo 32 y un trozo sustancialmente uniforme 323 adyacente a un extremo distal 326 del trozo de cuerpo 32. Con un diseño de este tipo, el trozo en disminución 322 y el trozo uniforme 323 pueden actuar juntos para minimizar sobre-acumulación o acúmulo de nanotubos 113 aguas arriba del husillo 14. Específicamente, la senda 321 puede actuar para guiar los nanotubos 113 al trozo en disminución 322 y cruzando el trozo uniforme 323, de modo que nanotubos 113 generados desde la cámara de síntesis 11 pueden evitar ser cogidos en cantos afilados u otras obstrucciones salientes dentro de la cámara de síntesis 11. Para permitir que los nanotubos salgan de la senda 321, el trozo de capuchón 31 incluye una abertura 313, en sustancial alineación axial con el trozo uniforme 323 de la senda 321.

El trozo de cuerpo 32 también puede incluir un rebaje 324, que con un acoplamiento entre el trozo de cuerpo 32 y el trozo de capuchón 31, se convierte en el canal 33. El trozo de cuerpo 32 puede incluir además lumbreras de salida 325 posicionadas dentro del rebaje 324. En una realización, las lumbreras de salida 325 pueden ser distribuidas simétricamente alrededor del trozo uniforme 323 para posteriormente generar, dentro del trozo uniforme 323 de la senda 321, un flujo en vórtice desde el gas inerte previamente introducido al canal 33. Se debe apreciar que como el flujo en vórtice requiere una componente de vector de velocidad tangencial alrededor de un eje dado, p. ej., eje de simetría del centrifugador de gas 30, a fin de proporcionar esta componente de velocidad tangencial, las lumbreras de salida 325, como se ilustra en la figura 3B, pueden tener que ser posicionadas en un plano normal al eje de simetría, y de tal manera que cada lumbrera de salida 325 entre al trozo uniforme 323 de la senda 321 en un ángulo sustancialmente no perpendicular. En otras palabras, cada lumbrera de salida 325 tiene que estar en comunicación tangencial con la senda 321, de modo que fluido (p. ej., gas inerte) dentro del canal 33, cuando se le permite moverse cruzando cada lumbrera de salida 325, puede fluir al trozo uniforme 323 de la senda 321 de una manera tangencial.

También se debe apreciar que al proporcionar una constricción sólida al flujo de gas y nanomateriales generados, el centrifugador de gas 20 también puede permitir una sustancial libertad al definir modos de formación de hilo y estopa para el sistema 10 de la presente invención. Además, en la medida necesaria, el centrifugador de gas 20 puede proporcionar un área donde se pueden acumular nanotubos 113, particularmente cuando el gas suministrado a través del centrifugador de gas 20 está a un bajo caudal para crear una fuente desde la que se pueden extraer nanotubos 113, tal como mediante un guiador (véase la descripción más adelante) para posteriormente retorcer hasta el hilo 15.

En una realización alternativa, se puede usar un generador de vórtice diferente, tal como el centrifugador electrostático 70, como se ilustra en las figuras 7A-B, para impartir un flujo en vórtice sustancial a los nanotubos 113 antes a dirigir los nanotubos 113 al husillo 14 donde pueden ser girados hasta el hilo 15. El centrifugador electrostático 70, en una realización, incluye un cuerpo sustancialmente tubular 71 que tiene un extremo de entrada 72, un extremo de salida 73, y una senda 74 que se extiende entre los mismos. El centrifugador electrostático 70 también puede incluir una pluralidad de contactos eléctricos 75 situados circunferencialmente alrededor de la senda 74. Cada contacto 75 incluye un extremo positivo +V y un extremo negativo -V, y se puede hacer de un material metálico, tal como cobre. En este sentido, a cada uno de los contactos 75 se puede aplicar una tensión para generar un campo eléctrico. Además, como se puede aplicar tensión a cada contacto 75 en sucesión, se puede generar un campo electrostático rotatorio. Como los nanotubos 113 tienen una relación de aspecto sustancialmente alta y como pueden ser conductores, los nanotubos 113 se pueden conectar al campo electrostático y moverse a modo de vórtice o devanado conforme el campo se mueve alrededor de la senda 74. Cabe señalar que el movimiento de devanado impartido a los nanotubos 113 puede ser sustancialmente transversal a la dirección a lo largo de la que pueden moverse los nanotubos 113 desde el extremo de entrada 72 al extremo de salida 73 del trozo de cuerpo 71. Para controlar la aplicación de tensión a cada contacto 75 sucesivo, se puede usar cualquier chip controlador o procesador disponible comercialmente.

Según una realización de la presente invención, al comienzo de la formación del hilo 15, puede ser beneficioso empezar el hilo con un "guiador". Este guiador, por ejemplo, puede ser un pedazo adicional de hilo de nanotubo, algún otro tipo de hilo o filamento, o un alambre delgado. En una realización, se puede usar un alambre porque este puede proporcionar el requisito de tiesura necesario para transferir el movimiento de retorcimiento del husillo 14 a la acumulación de banda o fardo de nanotubos 113 hasta que exista suficiente acúmulo, de manera que el alambre puede amarrarse a un extremo de un hilo que crece. El alambre usado, en una realización, puede ser, por ejemplo, un alambre ferroso o níquel-cromo, dado que estas aleaciones pueden aguantar la temperatura dentro de la zona caliente (600 °C - 1300 °C) de la cámara de síntesis 11. Además, se ha observado que nanotubos producidos por medio de un proceso CVD se adhieren relativamente bien a estas aleaciones. En particular, como nanopartículas catalíticas en el extremo de los nanotubos 113 pueden incluir materiales ferromagnéticos, tales como Fe, Co, Ni, etc., estas nanopartículas pueden atraer magnéticamente a los dominios magnéticos sobre los materiales de aleación ferrosa.

En la medida que se proporcione un guiador, puede ser necesario preenhebrar el guiador antes del comienzo de la reacción. Específicamente, en el carrete 17 se puede proporcionar un orificio, en una realización, que sirva como punto de anclaje para un extremo del guiador. Adicionalmente, en las poleas de guía 161 se pueden proporcionar hendiduras o ranuras para permitir al guiador ser insertado fácilmente en el brazo de guía 16. El guiador puede entonces ser insertado en el husillo 14, y después de eso avanzado adentro de la cámara de síntesis 11 aguas arriba del centrifugador de gas 20, si se emplea uno.

Mirando a la figura 4, cuando se usa un guiador, se puede proporcionar un anclaje 40 en lugar de centrifugador de gas 20 para proporcionar una fuente desde la que el guiador puede tirar de los nanotubos al husillo 14 para iniciar el proceso de fabricación de hilo. En una realización, el anclaje 40 se puede posicionar hacia el extremo de salida 114 de la cámara de síntesis 11 para constreñir el flujo de gas y nanotubos 113 de modo que dentro del anclaje 40 se puede generar una acumulación de nanotubos 113. Para hacerlo, el anclaje 40 se puede diseñar como disco que tiene un extremo distal 41, un extremo proximal 42 y un pasadizo 44 que se extiende entre los mismos. Como se ilustra en la figura 4, el pasadizo 44 puede ser en disminución desde el extremo proximal 42 hacia el extremo distal 41. De esta manera, cuando los nanotubos 113 entran al pasadizo 44 hacia el trozo constreñido 45, el trozo constreñido 45 puede actuar para acumular nanotubos 113 en el mismo para proporcionar una fuente para el guiador. Aunque se proporciona como forma en disminución o toroidal, se debe apreciar que el pasadizo 44 del anclaje 40 se puede diseñar para que incluya una variedad de formas, siempre que funcione para constreñir el flujo de gas y los nanotubos 113 en la cámara

11.

Para mejorar la acumulación de nanotubos en la misma, en el trozo constreñido 45 se pueden proporcionar salientes (no se muestra) u otros diseños similares para proporcionar una superficie a la que se puede conectar una banda o fardo de nanotubos 113. En una realización, el anclaje 40 se puede posicionar cerca del horno 116 donde los nanotubos 113 pueden tener una tendencia relativamente mayor a adherirse a superficies sólidas. Como puede estar cerca del horno 16, el anclaje 40 se puede hacer, en una realización, de un material de grafito o cualquier otro material que aguante calor del horno 16.

Asumiendo que los nanotubos 113 se pueden producir a una tasa constante, el diseño y la ubicación del anclaje 40 cerca del horno 116 puede permitir a los nanotubos 113 acumularse sobre el mismo a una tasa uniforme. Con este fin, se puede generar una fuente controlada de nanotubos 113 para subsiguiente recogida y formación del hilo 15 que tiene propiedades sustancialmente uniformes. Además, el anclaje 40 puede actuar para proporcionar un punto desde el que se puede tirar de los nanotubos 113 para permitir alineación sustancial de los nanotubos 113 en una dirección sustancialmente coaxial con el hilo 15. La capacidad de alinear los nanotubos 113 a lo largo de un eje del hilo 15 puede mejorar la transferencia de carga entre los nanotubos 113 para permitir la formación de un hilo 15 de alta fortaleza. No obstante, se debe apreciar que el hilo 15 se puede formar independientemente de si el anclaje 40 está presente.

Posteriormente se puede iniciar síntesis y recolección del hilo 15 al provocar que el carrete 17, husillo 14, brazo de guía 16, y guiador roten. En una realización, tras iniciar la síntesis de nanotubos 113, los nanotubos 113 pueden ser dirigidos hacia el guiador para permitir acumulo o enfarde de los nanotubos 113 sobre el mismo. Después de eso, una vez una banda o enfarde de nanotubos 113 empieza a acumularse sobre el guiador, y el guiador puede ser retirado al provocar que el carrete 17 rote a una tasa ligeramente diferente que el husillo 14 y el brazo de guía 16. La formación del hilo de nanotubo 15, como se ha descrito anteriormente, puede proceder automáticamente después de eso una vez el guiador ha sido retirado suficientemente de la zona caliente 112 de la cámara de síntesis 11. En particular, la banda de nanotubos 113 puede ser retorcida hasta un hilo 15 en un punto cerca del extremo de admisión 141 del husillo 14. Entonces se puede permitir a los trozos retorcidos del hilo 15 moverse a lo largo del núcleo 142 hacia el extremo de salida 143 del husillo 14. Al salir por el extremo de salida 143, el hilo 15 puede ser guiado a lo largo de brazo de guía 16 y dirigido hacia el carrete 17. El hilo 15 puede después de eso ser devanado alrededor del carrete 17 a una tasa controlada.

Según otra realización, el sistema 10 también puede ser usado para formación continua de una estopa (no se muestra) a partir de nanotubos 113 sintetizados dentro de la cámara de síntesis 11. Esta estopa puede ser procesada posteriormente hasta un hilo devanado apretadamente, similar a tecnologías comunes en la técnica de formación hebras e hilos. En una realización, la estopa puede ser recogida usando el husillo hueco 14, el brazo de guía 16 y el carrete 17, como se ha descrito anteriormente. La estopa formada se puede extender desde el carrete 17, a través del brazo de guía 16 y el husillo 14 adentro de la cámara de síntesis 11 cerca del extremo de salida 114. Los nanotubos 113, en una realización, pueden acumularse sobre la estopa por devanado de la estopa, ya que la estopa gira rápidamente y es retirada lentamente. Para este modo de funcionamiento puede no ser necesario un anclaje. Sin embargo, si fuera necesario proporcionar un punto en el que se pueda conectar el extremo creciente de la estopa giratoria, se puede usar un anclaje.

La formación de un hilo o estopa según una realización de la presente invención proporciona un planteamiento para producir una estructura fibrosa relativamente largo que puede ser empleada en aplicaciones que requieren longitud. En particular, la acción de retorcimiento durante la formación del hilo permite que las fibras cortadas (es decir, nanotubos) sean sostenidas juntas hasta la estructura fibrosa más grande (es decir, hilo). Adicionalmente, el retorcimiento de fibras alineadas axialmente (es decir, nanotubos) puede mejorar la transferencia de carga entre las fibras para permitir la formación de un hilo de alta fortaleza.

Específicamente, fibras cortadas, tales como los nanotubos sintetizados por el proceso de la presente invención, pueden estar provistas de una alta relación de aspecto (p. ej., > 100:1 longitud:diámetro). Como resultado, pueden servir mejor que las de relaciones de aspecto más pequeñas para transferir cargas estructurales entre fibras individuales dentro de un hilo. Si bien las fibras con relación de aspecto esencialmente infinita serían ideales, la escala de longitud de las estructuras en la que puede ser incorporado el hilo define mejor la longitud y las relaciones de aspecto necesarias de las fibras constituyentes. Por ejemplo, si se necesita puentear una distancia de únicamente uno a dos centímetros, puede no necesitarse fibras mucho más largas que esta distancia. Además, dentro de un hilo, la transferencia de carga típicamente ocurre como interacción entre cada uno de los puntos de contacto de fibras adyacentes. En cada punto de contacto, cada fibra puede interactuar por medio de, por ejemplo, cohesión de Van der Waal, cohesión por hidrógeno o interacción iónica. Como tal, la presencia de una pluralidad de fibras en el hilo de la presente invención puede aumentar el número de puntos de contacto y así la interacción por cohesión entre fibras adyacentes para mejorar la transferencia de carga entre las fibras. Además, como el retorcimiento puede aumentar aún más el número de puntos de contacto entre fibras constituyentes en un hilo al forzar a fibras individuales a juntarse más cerca, puede ser ventajoso para la fortaleza total del hilo impartir retorcimiento. En este sentido, la capacidad de controlar independientemente retorcimiento y velocidad de captura puede ser importante a fin de optimizar la fortaleza.

La fortaleza del hilo puede además ser mejorada aumentando la fortaleza de cohesión entre fibras adyacentes. En una realización, el hilo puede ser impregnado con un material matricial, tal como un polímero, o una molécula de agente tensoactivo para reticular fibras adyacentes. La reticulación de las fibras usando enlaces químicos iónicos o covalentes puede proporcionar medios adicionales para mejorar la fortaleza total del hilo.

- 5 Cabe señalar que como el número de puntos de contacto aumenta las oportunidades de que se transfiera fonón o electrón entre nanotubos adyacentes, la impartición de un retorcimiento al hilo también puede mejorar la conductividad eléctrica y térmica del hilo de la presente invención.

10 Con referencia ahora a las figuras 5-6, se ilustra, según otra realización de la presente invención, un sistema 50 para recoger nanotubos sintetizados hechos a partir de un proceso CVD dentro de una cámara de síntesis 51, y para posteriormente formar materiales o estructuras fibrosas voluminosas a partir los nanotubos. En particular, el sistema 50 puede ser usado en la formación de una hoja no tejida sustancialmente continua generada de nanotubos compactados y entrelazados y que tiene suficiente integridad estructural para ser manejada como hoja.

15 El sistema 50, como el sistema 10, puede ser acoplado a una cámara de síntesis 51. La cámara de síntesis 51, en general, incluye un extremo de entrada, en el que se pueden suministrar gases de reacción, una zona caliente, donde puede ocurrir síntesis de nanotubos de longitud extendida, y un extremo de salida 514 desde el que pueden salir y recogerse los productos de la reacción, es decir los nanotubos de longitud extendida y gases de escape. En una realización, la cámara de síntesis 51 puede incluir un tubo de cuarzo 515, que se extiende a través de un horno, y puede incluir rebordes 517 proporcionados en el extremo de salida 514 y el extremo de entrada para sellar el tubo 515. Aunque ilustrado generalmente en la figura 5, se debe apreciar que en el diseño de la cámara de síntesis 51 se pueden emplear otras configuraciones.

20 El sistema 50, en una realización de la presente invención, incluye un alojamiento 52. El alojamiento 52, como se ilustra en la figura 5, puede ser sustancialmente hermético al aire para minimizar la liberación de particulados en el aire potencialmente peligrosos desde dentro de la cámara de síntesis 51 al ambiente, y para impedir que entre oxígeno al sistema 50 y llegue a la cámara de síntesis 51. En particular, la presencia de oxígeno dentro de la cámara de síntesis 51 puede afectar a la integridad y comprometer la producción de los nanotubos.

25 El sistema 50 también puede incluir una entrada 53 para acoplar los rebordes 517 en el extremo de salida 514 de la cámara de síntesis 51 de una manera sustancialmente hermética al aire. En una realización, la entrada 53 puede incluir al menos un escape de gas 531 a través del que los gases y el calor pueden dejar el alojamiento 52. El gas que sale del escape 531, en una realización, puede tener permitido pasar a través de un líquido, tal como agua, o un filtro para recoger nanomateriales no reunidos aguas arriba del escape 531. Adicionalmente, el gas de escape puede ser tratado de una manera similar a la descrita anteriormente. Específicamente, el gas de escape puede ser tratado con una llama a fin de desenergizar diversos componentes del gas de escape, por ejemplo, hidrógeno reactivo se puede oxidar para formar agua.

30 El sistema 50 puede incluir además una superficie en movimiento, tal como la cinta 54, situada adyacente a la entrada 53 para recoger y transportar los nanomateriales, es decir, nanotubos, desde el extremo de salida 514 de la cámara de síntesis 51. Para recoger los nanomateriales, la cinta 54 se puede posicionar en un ángulo sustancialmente transversal al flujo de gas que lleva los nanomateriales desde el extremo de salida 514 para permitir que los nanomateriales sean depositados sobre la cinta 54. En una realización, la cinta 54 se puede posicionar sustancialmente perpendicular al flujo de gas y puede ser de naturaleza porosa para permitir que el flujo de gas que lleva los nanomateriales pase a través de la misma y para salir de la cámara de síntesis 51. El flujo de gas desde la cámara de síntesis 51 puede, adicionalmente, salir a través del escape 531 a la entrada 53.

35 Para llevar los nanomateriales lejos de la entrada 53 del sistema 50, la cinta 54 se puede diseñar como bucle continuo similar a una cinta transportadora convencional. Con este fin, la cinta 54, en una realización, puede ser enrollada alrededor de elementos rotatorios opuestos 541 y puede ser impulsada por un dispositivo mecánico, tal como un motor eléctrico 542, en sentido horario, como se ilustra con las flechas 543. Como alternativa, se puede usar un tambor (no se muestra) para proporcionar la superficie en movimiento para transportar el nanomaterial. Un tambor de este tipo también puede ser impulsado por un dispositivo mecánico, tal como el motor eléctrico 542. En una realización, los motores 542 pueden ser controlados mediante el uso de un sistema de control, similar al usado en conexión con los impulsores mecánicos 18 y 19, de modo que se puede optimizar tensión y velocidad.

40 Todavía mirando a la figura 5, el sistema 50 puede incluir un aplicador de presión, tal como el rodillo 55, situado adyacente a la cinta 54 para aplicar una fuerza compactadora (es decir, presión) sobre los nanomateriales recogidos. En particular, conforme los nanomateriales son transportados hacia el rodillo 55, los nanomateriales sobre la cinta 54 pueden ser forzados a moverse bajo y contra el rodillo 55, de manera que se puede aplicar presión a los nanomateriales entrelazados mientras los nanomateriales se compactan entre cinta 54 y rodillo 55 hasta una hoja no tejida coherente sustancialmente cohesionada 56 (véase la figura 6). Para mejorar la presión contra los nanomateriales sobre la cinta 54, se puede posicionar una placa 544 por detrás de la cinta 54 para proporcionar una superficie dura contra la que puede ser aplicada presión desde el rodillo 55. Cabe señalar que el uso del rodillo 55 puede no ser necesario si los nanomateriales recogidos abundantes en cantidad y suficientemente entrelazados, de manera que existe un número adecuado de lugares de contacto para proporcionar la fortaleza de cohesión necesaria para generar

la hoja no tejida 56.

5 Para desacoplar la hoja no tejida 56 de nanomateriales entrelazados de la cinta 54 para subsiguiente retirada del alojamiento 52, se puede proporcionar un escalpelo o pala 57 aguas abajo del rodillo 55 con su canto contra la superficie 545 de la cinta 54. De esta manera, conforme la hoja no tejida 56 se mueve aguas abajo pasando el rodillo 55, la pala 57 puede actuar para elevar la hoja no tejida 56 de la superficie 545 de la cinta 54.

10 Adicionalmente, se puede proporcionar un carrete o rodillo 58 aguas abajo de la pala 57, de modo que la hoja no tejida 56 desacoplada puede ser dirigida posteriormente sobre el mismo y ser devanada alrededor del rodillo 58 para recolección. Por supuesto, se pueden usar otros mecanismos, siempre que la hoja no tejida 56 pueda ser recogida de la retirada del alojamiento 52 después de eso. El rodillo 58, como la cinta 54, puede ser impulsado, en una realización, por un impulsor mecánico, tal como un motor eléctrico 581, de modo que su eje de rotación puede ser sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de la hoja no tejida 56.

15 A fin de minimizar la cohesión de la hoja no tejida 56 a sí misma conforme está siendo devanada alrededor del rodillo 58, puede aplicarse un material de separación 59 (véase la figura 6) sobre un lado de la hoja no tejida 56 antes de que la hoja 56 sea devanada alrededor del rodillo 58. El material de separación 59 para uso en conexión con la presente invención puede ser uno de diversas chapas metálicas o polímeros disponibles comercialmente que se pueden suministrar en un rodillo continuo 591. Con este fin, se puede tirar del material de separación 59 junto con la hoja no tejida 56 sobre el rodillo 58 conforme la hoja 56 está siendo devanada alrededor del rodillo 58. Cabe señalar que el polímero que comprende el material de separación 59 se puede proporcionar en una hoja, líquido, o cualquier otra forma, siempre que pueda ser aplicado a un lado de la hoja no tejida 56. Además, como los nanotubos entrelazados dentro de la hoja no tejida 56 pueden contener nanopartículas catalíticas de un material ferromagnético, tal como Fe, Co, Ni, etc., el material de separación 59, en una realización, puede ser un material no magnético, p. ej., conductor o de otro modo, para impedir que la hoja no tejida 56 se pegue fuertemente al material de separación 59.

20 Además, el sistema 50 puede estar provisto de un sistema de control (no se muestra), similar al sistema 10, de modo que por consiguiente se pueden ajustar tasas de rotación de impulsores mecánicos 542 y 581. En una realización, el sistema de control se puede diseñar para recibir datos desde sensores de posición, tales como codificadores ópticos, conectados a cada uno de los impulsores mecánicos 542 y 581. Posteriormente, sobre la base de los datos, el sistema de control puede usar un algoritmo de control a fin de modificar la potencia suministrada a cada impulsor a fin de controlar la tasa de cada impulsor de modo que sustancialmente coincida con la tasa de recogida de nanotubos sobre la cinta 54 para evitar comprometer la integridad de la hoja no tejida conforme está siendo devanada alrededor del carrete. Adicionalmente, el sistema de control puede actuar para sincronizar una tasa de giro del rodillo 58 con la de la cinta 54. En una realización, la tensión de la hoja no tejida 56 puede ser restablecida en tiempo real dependiendo de los valores de velocidad, de modo que la tensión entre la cinta 54 y rodillo 58 puede ser mantenida dentro de un valor establecido.

30 El sistema de control también puede variar la tasa entre rodillo 58 y cinta 54, si es necesario, para controlar la captura de la hoja no tejida 56 por el rodillo 58. Adicionalmente, el sistema de control puede provocar que el rodillo 58 se ajuste ligeramente adelante y atrás a lo largo de su eje, para permitir que la hoja no tejida 56 permanezca uniformemente sobre el rodillo 58.

35 En la medida deseada, puede emplearse un campo electrostático (no se muestra) para alinear los nanotubos, generados desde la cámara de síntesis 51, aproximadamente en una dirección del movimiento de cinta. El campo electrostático puede ser generado, en una realización, colocando, por ejemplo, dos o más electrodos circunferencialmente alrededor del extremo de salida 514 de la cámara de síntesis 51 y aplicando una tensión alta a los electrodos. La tensión, en una realización, puede variar de aproximadamente 10 V a aproximadamente 100 kV, y preferiblemente de aproximadamente 4 kV a aproximadamente 6 kV. Si es necesario, los electrodos pueden ser blindados con un aislamiento, tal como un pequeño aislamiento de cuarzo u otro adecuado. La presencia del campo eléctrico puede provocar que los nanotubos se muevan a través del mismo para alinearse sustancialmente con el campo, para impartir una alineación de los nanotubos sobre la cinta 54 en movimiento.

40 El sistema 50, como se ha señalado, puede proporcionar nanomateriales voluminosos de alta fortaleza en una hoja no tejida. Al proporcionar los nanomateriales en una hoja no tejida, los nanomateriales voluminosos pueden ser manejados fácilmente y posteriormente ser procesados para aplicaciones de uso extremo, incluidas (i) sistemas estructurales, tales como telas, armaduras, refuerzos de composite, antenas, conductores eléctricos o térmicos, y electrodos, (ii) elementos estructurales mecánicos, tales como placas y vigas en I, y (iii) cableado o cuerdas. Otras aplicaciones pueden incluir almacenamiento de hidrógeno, baterías o componentes de condensador.

45 Además, la hoja no tejida puede ser incorporada en estructuras de composite para aplicaciones adicionales de uso extremo, tales como productos de mercancías deportivas, cascos, etc. En una realización, un material composite se puede formar impregnando la hoja no tejida con un precursor matricial, tal como Krayton, viniléster, PEEK, bispoliloída, BMI (bismaleimida), epoxis o poliamidas, y posteriormente dejar que la matriz se polimerice o se cure térmicamente.

50 En una realización alternativa, se puede formar un composite estratificado de materiales al sinterizar hojas no tejidas junto con un material de matriz. Por ejemplo, capas adyacentes de hojas no tejidas pueden ser separadas con una

hoja de precursor de matriz y posteriormente sinterizadas en una prensa caliente bajo presión isostática.

También cabe señalar que, aunque en esta memoria se tratan aplicaciones estructurales, el hilo basado en nanomaterial y hojas no tejidas puede ser usado en otras numerosas aplicaciones que requieren estructuras que sean formadas de nanomateriales. Dichas estructuras pueden ser usadas, por ejemplo, en aplicaciones eléctricas como materiales conductores, o como electrodos de un condensador, o batería o celda de carburante. En un caso de este tipo, como los nanomateriales proporcionados en la estructura de electrodo tienen un área superficial sustancialmente alta, los nanomateriales pueden proporcionar condensadores o baterías con un área sustancialmente grande en la que se podrían localizar los electrones o iones a fin de almacenar carga o transferir carga a o desde el electrodo. La alta área superficial o química superficial de los nanomateriales en estructuras de macroescala voluminosa también puede ser una propiedad útil en aplicaciones de filtración mecánica.

Además, como los nanomateriales, tales como nanotubos de carbono se conocen por tener coeficientes de transferencia de calor extremadamente altos, estructuras voluminosas producidas con el sistema de la presente invención también pueden ser útiles como conductores de fonones o energía térmica.

También se debe apreciar que los hilos y estopas hechos de nanomateriales sintetizados de la presente invención, especialmente con nanotubos preferencialmente alineados a lo largo del eje del hilo, pueden ser incorporados como conjuntos voluminosos que tienen fibras orientadas sustancialmente paralelas entre sí, tal como en una tela tejida. Adicionalmente, estructuras de macroescala se pueden hacer de hojas no tejidas de la presente invención que tienen fibras alineadas. Como estas estructuras de fibras conductoras paralelas tienen un espaciamiento controlado basado en, por ejemplo, la cantidad de nanomateriales, el espaciamiento de hilos en un hilado, o el grosor de los hilos individuales, la presencia de fibras alineadas en estos conjuntos o estructuras de macroescala puede impartir propiedades interesantes a los conjuntos y estructuras de macroescala.

Por ejemplo, en aplicaciones eléctricas, se pueden usar conductores paralelos como filtros polarizadores, rejillas de difracción, y ocasionalmente objetos con grandes secciones transversales de retrodispersión. Todas estas aplicaciones pueden ser dependientes de la longitud de onda de ondas electromagnéticas incidentes, y el espaciamiento, diámetro y longitud de los conductores paralelos que interactúan con las ondas. Al controlar el espaciamiento entre fibras conductoras paralelas, puede controlarse la interacción de un conjunto de estas fibras con radiación electromagnética de frecuencias específicas. Por ejemplo, un filtro polarizador para radiación electromagnética de terahercios de frecuencia puede ser definido por un tamaño de hebra y apriete de un hilado de hilos de nanotubos. Usando, por ejemplo, hilos de 100 micrómetros de diámetro tejidos con un paso de 300 micrómetros debería ser suficiente para polarizar radiación con longitudes de onda en las inmediaciones de 300 micrómetros, que corresponde a una onda electromagnética de 1 THz.

Como segundo ejemplo, nanotubos alineados dentro de una hoja no tejida o hilo puede tener espaciamentos y diámetros de nanotubo del orden de varios nanómetros, pero caminos conductores mucho más largos a lo largo del eje de los nanotubos. Al proporcionar nanotubos alineados en una hoja no tejida o dentro de un hilo continuo, se puede proporcionar una rejilla de difracción que puede interactuar fuertemente con rayos X. Estas estructuras voluminosas, por lo tanto, pueden ser formadas fácilmente para proporcionar rejillas de difracción y polarizadores para rayos X. Además, como polarizadores perpendiculares pueden bloquear la transmisión de las ondas electromagnéticas incidentes en los polarizadores y con los que interactúa cada polarizador, puede ser posible bloquear rayos X usando dos hojas no tejidas de nanotubos alineados, siempre que los nanotubos en la primera hoja puedan ser orientados sustancialmente perpendiculares a los nanotubos en la segunda hoja. Una tela tejida apretadamente de hilos de nanotubos alineados también puede tener un efecto similar. Como tal, puede ser posible usar estructuras voluminosas que tienen nanotubos alineados en blindaje de absorción electromagnética de amplio espectro para rayos X, ultravioletas, luz visible, infrarrojos, terahercios, radiación de microondas, y frecuencias de radar y radio.

En otra realización, los materiales nanofibrosos de la presente invención que tienen nanotubos alineados se pueden incorporar para uso en composites anisótropos y conductores térmicos, y especialmente en rejillas, filtros y protectores de radiación electromagnética, u otras ondas, tales como electrones o neutrones con longitudes de onda mayores de, por ejemplo, 0,1 nm.

Si bien la invención ha sido descrita en conexión con las realizaciones específicas de la misma, se entenderá que permite además modificación. Además, esta solicitud pretende cubrir cualesquiera variaciones, usos o adaptaciones de la invención, que incluyan tales salidas la presente descripción que entran dentro de práctica conocida o habitual, en la técnica a la que atañe la invención.

Ciertos aspectos se describen en las siguientes cláusulas numeradas.

1. Un sistema para formar un hilo nanofibroso, el aparato comprende: un alojamiento que tiene una entrada para acoplar una cámara de síntesis independiente dentro de la que se producen nanotubos; un husillo que tiene un extremo de admisión, un extremo de salida opuesto, y una senda entre los mismos, el husillo se extiende desde dentro del alojamiento, cruzando la entrada y adentro de la cámara para recoger los nanotubos a través del extremo de admisión y retorcer los nanotubos hasta un hilo nanofibroso; un carrete posicionado dentro del alojamiento y aguas abajo del

husillo para devanar sobre el mismo el hilo desde el husillo; un sistema de sensor diseñado para proporcionar datos de retroinformación para controlar una tasa de giro del husillo y el carrete, para evitar comprometer la integridad del hilo tal conforme está siendo devanado alrededor del carrete.

- 5 2. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el alojamiento es sustancialmente hermético al aire para minimizar la liberación en el aire de nanotubos y particulados relacionados generados desde dentro de la cámara.
3. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el husillo incluye un embudo en el extremo de admisión para guiar los nanotubos a través del extremo de admisión y al husillo.
4. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el carrete se diseña para moverse adelante y atrás a lo largo de su eje para proporcionar captación sustancialmente uniforme del hilo alrededor del carrete.
- 10 5. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos para controlar la tensión de hilo.
6. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar la tasa de giro del carrete con la del husillo.
- 15 7. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar la tasa de giro del husillo y el carrete para que sea sustancialmente similar a la tasa de síntesis de los nanotubos.
8. Un sistema como se presenta en la cláusula 1, que incluye además un brazo de guía situado entre el husillo y el carrete para dirigir el hilo que sale del husillo sobre el carrete para subsiguiente devanado alrededor del carrete.
- 20 9. Un sistema como se presenta en la cláusula 8, en donde el brazo de guía incluye uno de un set de poleas, ganchos, ojales o una combinación de los mismos para definir un camino sobre el que el hilo puede ser dirigido a lo largo del brazo de guía hacia el carrete.
- 25 10. Un método para formar un hilo nanofibroso, el método comprende: recibir una pluralidad de nanotubos sintetizados que se mueven sustancialmente en una dirección; retorcer la pluralidad de nanotubos juntos en una dirección sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de los nanotubos hasta un hilo; dirigir el hilo hacia un área para recolección; recoger el hilo devanando el hilo alrededor de un eje sustancialmente transversal a una dirección de movimiento del hilo; y controlar el devanado a una tasa que evita comprometer la integridad del hilo.
- 30 11. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de recepción incluye introducir en embudo, en un ambiente hermético al aire, los nanotubos hacia un área constreñida.
12. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de recepción incluye enfardar la pluralidad de nanotubos dentro de un área constreñida.
13. Un método como se presenta en la cláusula 10, que incluye además, antes de la etapa de recepción, proporcionar un anclaje sobre el que se pueden conectar nanotubos sintetizados para permitir que los nanotubos se muevan sustancialmente en una dirección.
- 35 14. Un método como se presenta en la cláusula 10, que incluye además, antes a la etapa de recepción, impartir un flujo en vórtice sobre los nanotubos sintetizados para proporcionar un retorcimiento inicial.
15. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de retorcer incluye aumentar los puntos de contacto entre nanotubos adyacentes para mejorar la fortaleza del hilo formado.
16. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de retorcer incluye impregnar el hilo con un material que puede impartir reticulación entre los nanotubos para mejorar la fortaleza del hilo formado.
- 40 17. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de dirigir incluye mover el hilo a lo largo de una senda definida.
18. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de recoger incluye hacer avanzar a lo largo del eje para permitir un devanado uniforme.
- 45 19. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de controlar incluye utilizar datos de retroinformación de las etapas de retorcer y devanar para controlar una tasa de retorcimiento y devanado.
20. Un método como se presenta en la cláusula 19, en donde la etapa de utilizar incluye sincronizar la tasa de devanado con la de retorcimiento.
21. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de controlar incluye controlar la tensión de hilo.

22. Un método como se presenta en la cláusula 10, en donde la etapa de controlar incluye sincronizar la tasa de devanado y retorcimiento con una sustancialmente similar a una tasa de recepción de los nanotubos.
23. Un sistema para formar una hoja no tejida nanofibrosa, el aparato comprende: un alojamiento que tiene una entrada para acoplar una cámara de síntesis independiente dentro de la que se producen nanotubos; una superficie en movimiento posicionada adyacente a la entrada dentro del alojamiento para recoger y trasportar los nanotubos que fluyen desde la cámara de síntesis; un aplicador de presión situado adyacente a la superficie en movimiento para aplicar una fuerza contra los nanotubos recogidos en la superficie en movimiento, para compactar los nanotubos hasta una hoja no tejida de nanotubos entrelazados; un carrete posicionado dentro del alojamiento y aguas abajo del aplicador de presión para devanar sobre el mismo la hoja no tejida; y un separador para aplicar un material sobre un lado de la hoja no tejida antes de que la hoja sea devanada alrededor del carrete para minimizar la cohesión de la hoja no tejida a sí misma sobre el carrete.
24. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde el alojamiento es sustancialmente hermético al aire para minimizar la liberación en el aire de nanotubos y particulados relacionados generados desde dentro de la cámara.
25. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde la superficie en movimiento se posiciona en un ángulo sustancialmente transversal al flujo de nanotubos desde la cámara de síntesis para permitir que los nanotubos sean depositados sobre el mismo.
26. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde la superficie en movimiento es una cinta dispuesta alrededor de elementos rotatorios opuestos.
27. Un sistema como se presenta en la cláusula 26, en donde la cinta es porosa para permitir que gas que fluye desde la cámara de síntesis pase a través de la misma.
28. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, el aplicador de presión incluye una placa posicionada por detrás de la superficie en movimiento para proporcionar una superficie dura contra la que se puede aplicar presión desde el aplicador.
29. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde el carrete tiene un eje de rotación que es sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de la hoja no tejida.
30. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, que incluye además una pala aguas abajo del aplicador de presión y que tiene un canto contra la superficie en movimiento para elevar y desacoplar la hoja no tejida de la superficie en movimiento para subsiguiente devanado alrededor del carrete.
31. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, que incluye además un sistema de sensor diseñado para proporcionar datos de retroinformación para controlar una tasa de giro de la superficie en movimiento y carrete, para evitar comprometer la integridad de la hoja no tejida a medida que está siendo devanada alrededor del carrete.
32. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos para controlar la tensión de la hoja no tejida entre la superficie en movimiento y el carrete.
33. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar una tasa de giro del carrete a la de la superficie en movimiento.
34. Un sistema como se presenta en la cláusula 23, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar una tasa de giro de la superficie en movimiento y el carrete a una sustancialmente similar a la tasa de depósito de nanotubos sobre la superficie en movimiento.
35. Un método para formar una hoja no tejida nanofibrosa, el método comprende: depositar una pluralidad de nanotubos sintetizados sobre una superficie; trasportar los nanotubos lejos de un punto de deposición; aplicar presión sobre la pluralidad de nanotubos contra la superficie, para compactar los nanotubos hasta una hoja no tejida de nanotubos entrelazados; dirigir la hoja no tejida hacia un área para recolección; poner un material sobre un lado de la hoja no tejida para impedir que la hoja no tejida se cohesione a sí misma; y recoger la hoja no tejida devanando la hoja alrededor de un eje sustancialmente transversal a una dirección de movimiento de la hoja.
36. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde la etapa de depositar incluye depositar continuamente los nanotubos sobre la superficie dentro de un ambiente hermético al aire.
37. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde la etapa de trasportar incluye mover los nanotubos lejos en una dirección sustancialmente transversal a una dirección de deposición.
38. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde la etapa de aplicar incluye forzar los nanotubos a moverse entre la superficie y un mecanismo de rodillos.
39. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde la etapa de dirigir incluye elevar la hoja no tejida desde la superficie de modo que se desacople sustancialmente para subsiguiente recolección.

40. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde, en la etapa de poner, el material es un material no magnético para impedir que la hoja no tejida se pegue fuertemente al material.
41. Un método como se presenta en la cláusula 35, en donde la etapa de recoger incluye controlar una tasa de devanado, para evitar comprometer la integridad de la hoja no tejida.
- 5 42. Un método como se presenta en la cláusula 35, que incluye además, antes de la etapa de depositar, generar un campo electrostático a través del que pueden ser dirigidos los nanotubos para permitir alineación sustancial de los nanotubos.
- 10 43. Un aparato para presentar nanotubos sintetizados de una manera retorcida para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos, el aparato comprende: un trozo de cuerpo que tiene una senda a través de la que pueden fluir nanotubos sintetizados; un trozo de capuchón conectado a un extremo distal del trozo de cuerpo y que tiene una abertura a través de la que pueden salir los nanotubos; un canal posicionado entre el trozo de capuchón y el trozo de cuerpo y circunferencialmente alrededor de la senda; una pluralidad de lumbreras de salida, situadas dentro del canal, en comunicación de fluidos con la senda, para impartir un flujo en vórtice en la senda de manera que nanotubos que fluyen a través de la senda se pueden presentar de una manera retorcida tras salir por el extremo distal de la cuerpo.
- 15 44. Un aparato como se presenta en la cláusula 43, en donde la senda en el trozo de cuerpo incluye un trozo en disminución adyacente a un extremo proximal del trozo de cuerpo y un trozo sustancialmente uniforme adyacente al extremo distal del trozo de cuerpo.
45. Un aparato como se presenta en la cláusula 43, en donde la senda en el trozo de cuerpo actúa para minimizar el acúmulo de nanotubos que pueden comprometer la síntesis de los nanotubos.
- 20 46. Un aparato como se presenta en la cláusula 43, en donde la senda en el trozo de cuerpo es asimétrica.
47. Un aparato como se presenta en la cláusula 43, en donde la abertura en el trozo de capuchón en sustancial alineación axial con la senda para permitir que salgan nanotubos de la senda.
48. Un aparato como se presenta en la cláusula 43, en donde las lumbreras de salida se sitúan tangencialmente a la senda para impartir suficiente velocidad tangencial a flujo de fluido a la senda para la generación de un flujo en vórtice desde el mismo.
- 25 49. Un aparato para presentar nanotubos sintetizados de una manera retorcida para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos, el aparato comprende: un trozo de cuerpo que tiene una senda a través de la que pueden fluir nanotubos sintetizados; una pluralidad de contactos eléctricos situados dentro de la senda circunferencialmente alrededor del trozo de cuerpo, para permitir que sea aplicada una corriente eléctrica a cada contacto en sucesión para generar un campo electrostático rotatorio dentro de la senda, de manera que nanotubos que fluyen a través de la senda pueden ser presentados de una manera retorcida a medida que salen del trozo de cuerpo.
- 30 50. Un aparato para presentar nanotubos sintetizados para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos, el aparato comprende: disco que tiene un extremo proximal y un extremo distal; un pasadizo que se extiende entre el extremo proximal y el extremo distal; y un trozo constreñido en el extremo distal del pasadizo para permitir acumulación de los nanotubos en el mismo para uso como fuente desde la que se pueden presentar nanotubos para subsiguiente formación de materiales nanofibrosos.
- 35 51. Un aparato como se presenta en la cláusula 50, en donde el disco se hace de un material grafito de o cualquier otro material que aguante temperatura relativamente alta.
- 40 52. Un aparato como se presenta en la cláusula 50, en donde el pasadizo es en disminución desde el extremo proximal hacia el extremo distal de la disco.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para formar un hilo nanofibroso (15), el sistema comprende: un alojamiento (12) que tiene una entrada (13) para acoplar una cámara de síntesis independiente (11) dentro de la que se producen nanotubos (113); un husillo (14) que tiene un extremo de admisión (141), un extremo de salida opuesto (143), y una senda (142) entre los mismos, el husillo (14) se extiende desde dentro del alojamiento (12), cruzando la entrada (13) y adentro de la cámara (11) para recoger los nanotubos (113) a través del extremo de admisión (131) y posteriormente retorcer los nanotubos hasta un hilo nanofibroso (15); un carrete (17) posicionado dentro del alojamiento (12) y aguas abajo del husillo (14) para devanar sobre el mismo el hilo (15) desde el husillo (14); un sistema de sensor diseñado para proporcionar datos de retroinformación para controlar una tasa de giro del husillo (14) y el carrete (17), para evitar comprometer la integridad del hilo (15) conforme está siendo devanado alrededor del carrete (17).
2. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el alojamiento (12) es sustancialmente hermético al aire para minimizar la liberación en el aire de nanotubos (113) y particulados relacionados generados desde dentro de la cámara (11).
3. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el husillo (14) incluye un embudo (144) en el extremo de admisión (141) para guiar los nanotubos (113) a través del extremo de admisión (141) y al husillo (14).
4. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el carrete (17) se diseña para moverse adelante y atrás a lo largo de su eje para proporcionar captación sustancialmente uniforme del hilo (15) alrededor del carrete (17).
5. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos para controlar la tensión de hilo.
6. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar la tasa de giro del carrete (17) con la del husillo.
7. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, en donde el sistema de sensor se diseña para proporcionar datos que se pueden usar para sincronizar la tasa de giro del husillo (14) y el carrete (17) para que sea sustancialmente similar a la tasa de síntesis de los nanotubos (113).
8. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 1, que incluye además un brazo de guía (16) situado entre el husillo (14) y el carrete (17) para dirigir el hilo (15) que sale del husillo (14) sobre el carrete (17) para subsiguiente devanado alrededor del carrete.
9. Un sistema (10) como se presenta en la reivindicación 8, en donde el brazo de guía (16) incluye uno de un set de poleas (161), ganchos, ojales o un combinación de los mismos para definir un camino sobre el que el hilo (15) puede ser dirigido a lo largo del brazo de guía (16) hacia el carrete (17).
10. Un método para formar un hilo nanofibroso (15), el método comprende: recibir una pluralidad de nanotubos sintetizados (113) que se mueven sustancialmente en una dirección; retorcer la pluralidad de nanotubos juntos en una dirección sustancialmente transversal a la dirección de movimiento de los nanotubos hasta un hilo; dirigir el hilo hacia un área para recolección; recoger el hilo devanando el hilo alrededor de un eje sustancialmente transversal a una dirección de movimiento del hilo; y controlar la devanado a una tasa que evita comprometer la integridad del hilo.
11. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de recepción incluye introducir en embudo, en un ambiente hermético al aire, los nanotubos hacia un área constreñida.
12. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de recepción incluye enfardar la pluralidad de nanotubos dentro de un área constreñida.
13. Un método como se presenta en la reivindicación 10, que incluye además, antes de la etapa de recepción, proporcionar un anclaje sobre el que se pueden conectar nanotubos sintetizados para permitir que los nanotubos se muevan sustancialmente en una dirección.
14. Un método como se presenta en la reivindicación 10, que incluye además, antes a la etapa de recepción, impartir un flujo en vórtice sobre los nanotubos sintetizados para proporcionar un retorcimiento inicial.
15. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de retorcer incluye aumentar los puntos de contacto entre nanotubos adyacentes para mejorar la fortaleza del hilo formado.
16. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de retorcer incluye impregnar el hilo con un material que puede impartir reticulación entre los nanotubos para mejorar la fortaleza del hilo formado.
17. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de dirigir incluye mover el hilo a lo largo de una senda definida.

18. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de recoger incluye hacer avanzar a lo largo del eje para permitir un devanado uniforme.
19. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de controlar incluye utilizar datos de retroinformación de las etapas de retorcer y devanar para controlar una tasa de retorcimiento y devanado.
- 5 20. Un método como se presenta en la reivindicación 19, en donde la etapa de utilizar incluye sincronizar la tasa de devanado con la de retorcimiento.
21. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de controlar incluye controlar la tensión de hilo.
- 10 22. Un método como se presenta en la reivindicación 10, en donde la etapa de controlar incluye sincronizar la tasa de devanado y retorcimiento con una sustancialmente similar a una tasa de síntesis de los nanotubos.

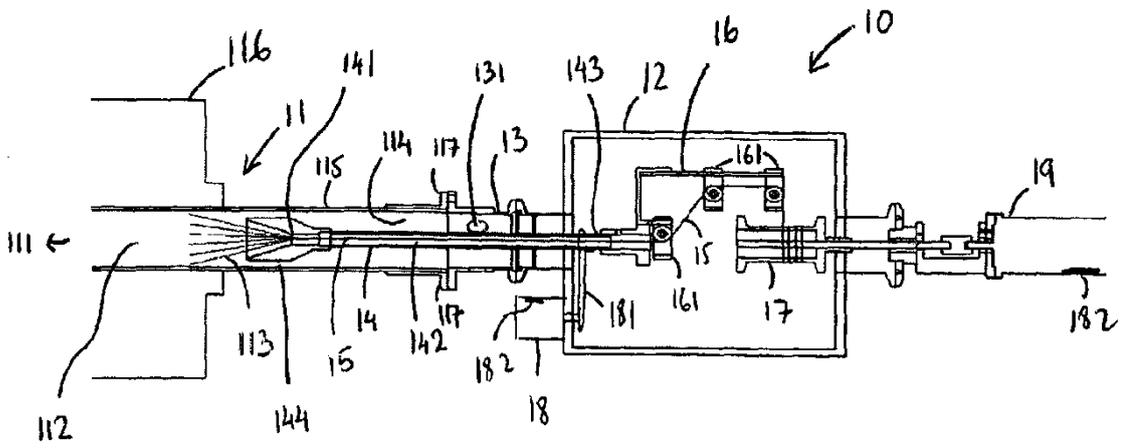


Figura 1

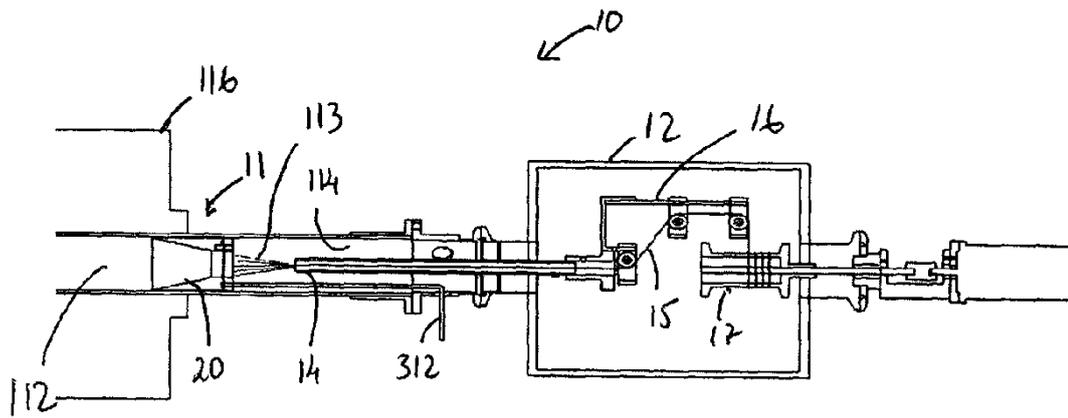


Figura 2

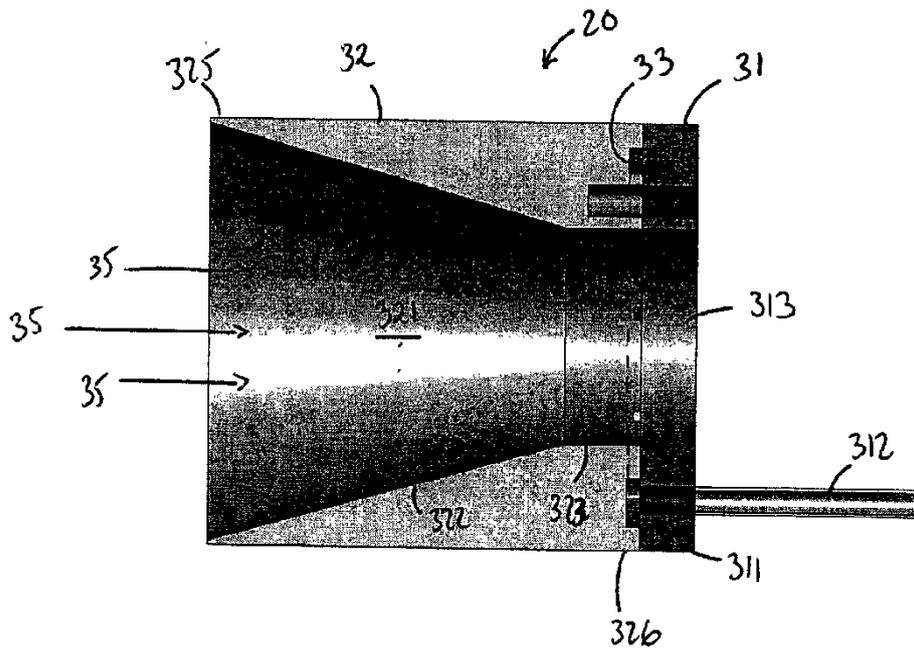


Figura 3A

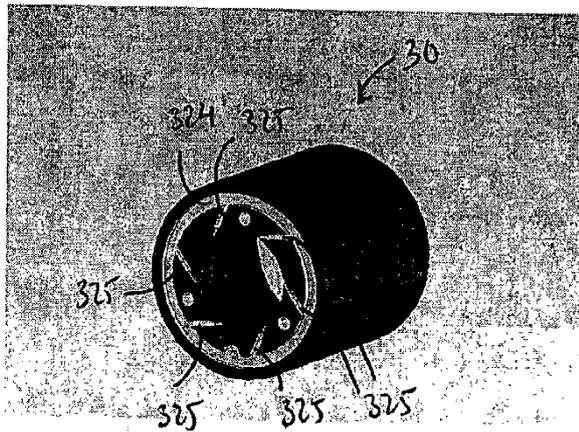


Figura 3B

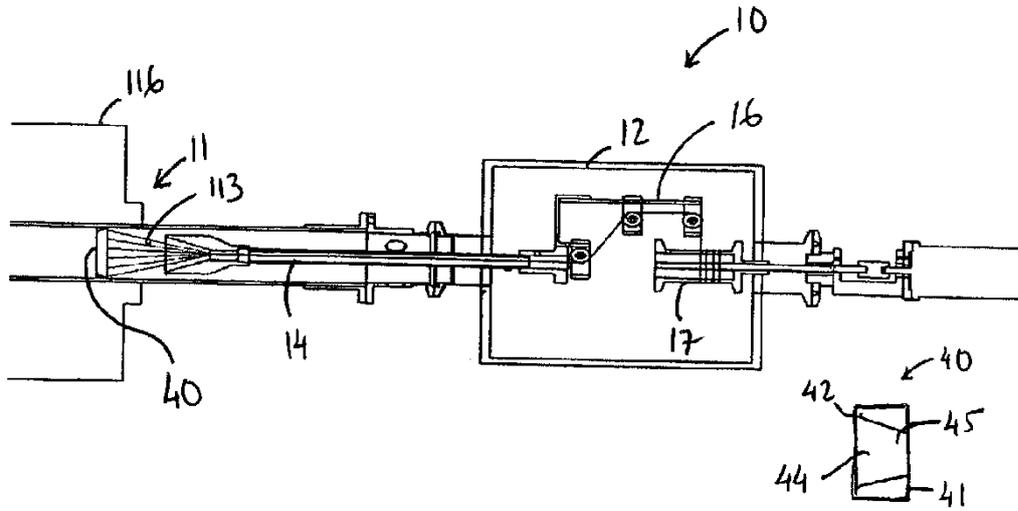


Figura 4

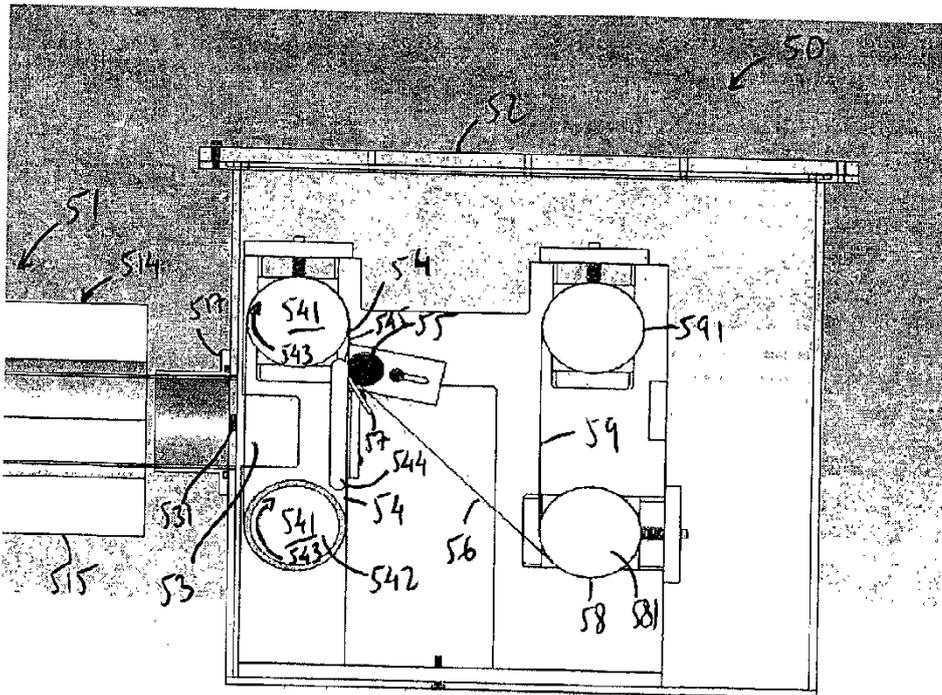


Figura 5

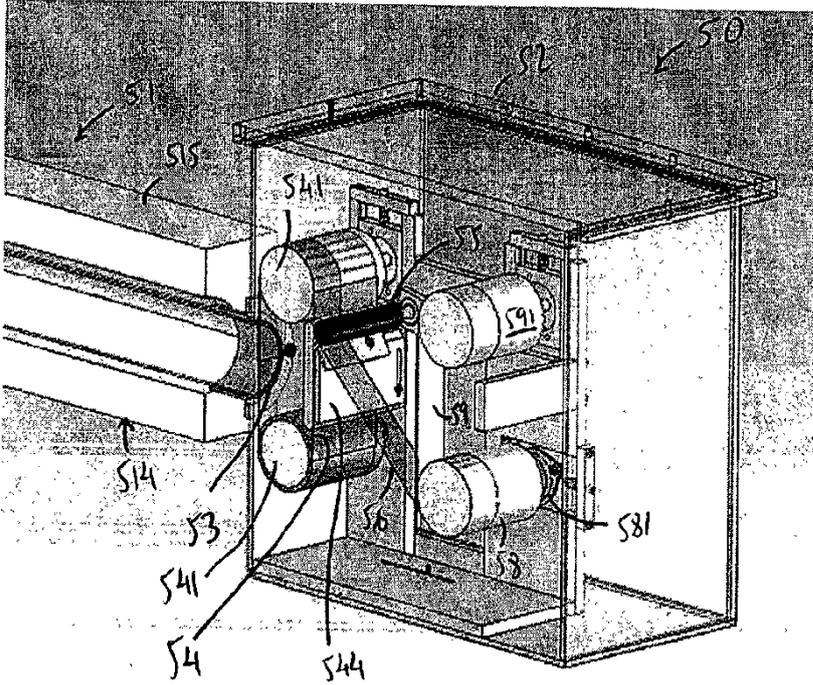


Figura 6

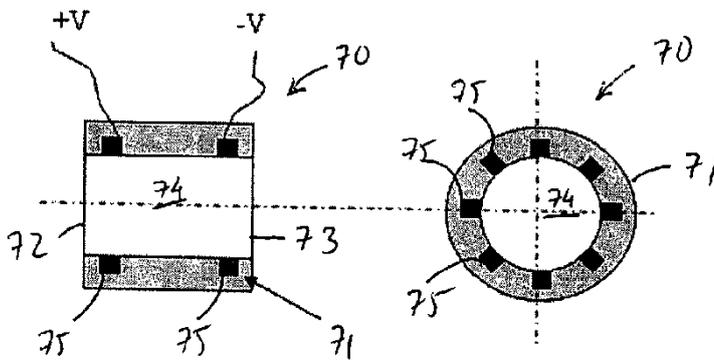


Figura 7A

Figura 7B