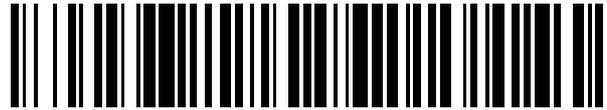


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 219**

51 Int. Cl.:

H01B 1/02	(2006.01)
H01B 1/04	(2006.01)
H02K 3/02	(2006.01)
H01F 5/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2010 PCT/US2010/041374**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2011 WO11005964**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2010 E 10797843 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019 EP 2451635**

54 Título: **Conductores híbridos y método para hacerlos**

30 Prioridad:

10.07.2009 US 224746 P

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

19.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WHITE, BRIAN;
LOMBARD, CRAIG y
LASHMORE, DAVID**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 749 219 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

Conductores híbridos y método para hacerlos

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a conductores eléctricos y térmicos, y más particularmente, a conductores híbridos que tienen conductividad y capacidad de corriente mejoradas en una amplia gama de frecuencias.

Antecedentes

10 Se sabe que los nanotubos de carbono tienen una resistencia a la tracción extraordinaria, incluyendo una alta deformación a la rotura y un módulo de tracción relativamente alto. Los nanotubos de carbono también pueden ser altamente resistentes a la fatiga, al daño por radiación y al calor. Con este fin, la adición de nanotubos de carbono a los materiales compuestos puede aumentar la resistencia a la tracción y la rigidez de los materiales compuestos.

15 En los últimos quince (15) años, a medida que se han entendido mejor las propiedades de los nanotubos de carbono, los intereses en los nanotubos de carbono han aumentado considerablemente dentro y fuera de la comunidad investigadora. Una clave para hacer uso de estas propiedades es la síntesis de nanotubos en cantidades suficientes para que puedan desplegarse ampliamente. Por ejemplo, se pueden necesitar grandes cantidades de nanotubos de carbono si se van a usar como componentes de alta resistencia de materiales compuestos en estructuras de macroescala (por ejemplo, estructuras que tienen dimensiones mayores que 1 cm).

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

25 Recientemente, una ruta prometedora para la producción de nanotubos de alto volumen ha sido emplear un sistema de deposición química de vapor que produce nanotubos a partir de partículas de catalizador que «flotan» en el gas de reacción. Tal sistema típicamente hace funcionar una mezcla de gases de reacción a través de una cámara calentada dentro de la cual los nanotubos pueden generarse a partir de nanopartículas que han precipitado del gas de reacción. Pueden ser posibles otras numerosas variaciones, incluyendo aquellas en las que las partículas de catalizador pueden ser suministradas previamente.

30 Sin embargo, en los casos en que se pueden generar grandes volúmenes de nanotubos de carbono, los nanotubos pueden adherirse a las paredes de una cámara de reacción, lo que resulta en el bloqueo de los nanomateriales que salen de la cámara. Además, estos bloqueos pueden inducir una acumulación de presión en la cámara de reacción, lo que puede dar como resultado la modificación de la cinética general de la reacción. Una modificación de la cinética puede conducir a una reducción en la uniformidad del material producido.

35 Una preocupación adicional con los nanomateriales puede ser que se necesita que sean manipulados y procesados sin generar grandes cantidades de materiales en forma de partículas en suspensión en el aire, ya que los peligros asociados con los materiales a nanoescala aún no se comprenden bien.

40 El procesamiento de nanotubos o materiales a nanoescala para aplicaciones de macroescala ha aumentado constantemente en los últimos años. El uso de materiales a nanoescala en fibras textiles y materiales relacionados también ha ido en aumento. En la técnica textil, las fibras que son de longitud fija y que se han procesado en una gran masa pueden denominarse fibras cortadas. La tecnología para el manejo de fibras cortadas, como lino, lana y algodón, se ha establecido desde hace mucho tiempo. Para hacer uso de fibras cortadas en telas u otros elementos estructurales, las fibras cortadas pueden formarse primero en estructuras a granel, como hilos, estopas o láminas, que luego pueden procesarse en los materiales apropiados.

45 Por consiguiente, sería deseable proporcionar un material que pueda aprovechar las características y propiedades de los nanotubos de carbono, de modo que un conductor hecho de nanotubos de carbono pueda procesarse para aplicaciones de uso final.

En el documento de Patente Internacional WO 2008/001998 A1 se describe un método para preparar un electrodo transparente, comprendiendo el método los pasos de formar una película de CNT sobre un sustrato deseado usando una solución dispersada de CNT y luego reducir/formar nanopartículas metálicas en la superficie de la película de CNT.

50 En el documento de Patente de los Estados Unidos US 2009/068241 A1 se describen composiciones y métodos para incorporar partículas metálicas en películas, láminas y redes de nanotubos de carbono. Las sales metálicas que son solubles en agua, alcohol, solventes orgánicos polares y sus mezclas se usan para depositar partículas metálicas en películas, láminas y redes de nanotubos de carbono.

En el documento de Patente de los Estados Unidos US 2009/068241 A1 se describen composiciones y métodos para

incorporar partículas metálicas en películas, láminas y redes de nanotubos de carbono. Las sales metálicas que son solubles en agua, alcohol, solventes orgánicos polares y sus mezclas se usan para depositar partículas metálicas en películas, láminas y redes de nanotubos de carbono.

Compendio de la invención

- 5 Según aspectos de la presente invención, se proporciona un conductor híbrido; un conductor de calor; una corriente de Foucault baja, bobinado de baja resistencia para un motor eléctrico o para un solenoide y un método como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 10 Las figs. 1A-D ilustran sistemas de deposición química de vapor (CVD, en inglés) para fabricar nanotubos, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La fig. 2 ilustra un conductor eléctrico y térmico de acuerdo con una realización de la presente invención.

La fig. 3 ilustra un conductor eléctrico y térmico de acuerdo con otra realización de la presente invención.

Las figs. 4A-E ilustran un conductor extensible eléctrica y térmicamente de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención.

- 15 Las figs. 5A-C ilustran la vista esquemática superior, la vista esquemática lateral y la vista superior descendente real de un conductor híbrido de nanotubos de metal y carbono.

La fig. 6 ilustra la respuesta de análisis de frecuencia medida de varios conductores híbridos de nanotubos de metal-carbono.

- 20 La fig. 7 es una imagen de un conductor que tiene nanotubos de carbono de 6 capas y un alambre de cobre desnudo de 1 capa de 40 AWG.

La fig. 8 es una imagen de un conductor que tiene un conductor de alambre de nanotubos de carbono desnudo de 150 capas recubierto con cobre en un extremo del conductor de alambre.

La fig. 9 ilustra la respuesta de análisis de frecuencia medida de un conductor híbrido de nanotubos de cobre-carbono, un conductor de nanotubos de carbono y alambres de aluminio y cobre a varias temperaturas.

- 25 La fig. 10 ilustra la respuesta de análisis de frecuencia medida de un conductor híbrido de nanotubo de carbono tratado con ácido.

La fig. 11 ilustra respuestas de análisis de frecuencia modeladas y medidas de un conductor híbrido de nanotubo de carbono tratado con ácido, un alambre de cobre y una lámina de cobre.

- 30 La figura 12 ilustra la resistividad dependiente de la temperatura de un conductor híbrido de nanotubo de carbono tratado con ácido, un nanotubo de carbono sin tratar, SbI_3 , $FeCl_3$ y cobre.

La fig. 13 ilustra la resistencia modelada y medida frente a la respuesta de frecuencia de un conductor híbrido de nanotubos de carbono recubiertos de cobre, un nanotubo de carbono sin recubrir y una tira de cobre.

La fig. 14 ilustra la conductividad específica de un conductor híbrido de nanotubos de carbono recubiertos de cobre, un nanotubo de carbono sin recubrir y tiras de aluminio y cobre.

- 35 **Descripción de realizaciones específicas**

La necesidad de transportar pulsos de corriente relativamente altos entre dos conductores móviles, como un condensador de alta energía, una correa de conexión a tierra, una barra de bus o tubería de bus o un circuito generador de pulso, a un circuito externo sin degradación de la forma de onda o sin calentamiento de la unión requiere una ingeniería cuidadosa de la ruta de conducción. Esto puede ser importante cuando el conductor pueda estar sujeto a movimientos que puedan causar daños por fatiga en los conductores de cobre más usados. Para satisfacer esta necesidad, la presente invención proporciona, en una realización, una propuesta de transportar pulsos de corriente relativamente altos mediante el uso de un miembro conductor basado en nanoestructura, como el hecho de nanotubos de carbono en forma de, por ejemplo, una cinta, un cable hilado o una lámina.

- 45 En la actualidad, existen múltiples procedimientos y variaciones de los mismos para hacer nanotubos y formar láminas o estructuras de cables hechas de estos nanotubos. Estos incluyen: (1) deposición química de vapor (CVD), un procedimiento común que puede ocurrir cerca de presión atmosférica o a altas presiones, y a temperaturas por encima de aproximadamente 400 °C, (2) descarga de arco, un procedimiento a alta temperatura que puede dar lugar a tubos con un alto grado de perfección y (3) ablación con láser.

En la presente invención, en una realización, se emplea un procedimiento CVD o procedimientos similares de pirólisis

en fase gaseosa conocidos en la industria para generar las nanoestructuras apropiadas, incluyendo nanotubos de carbono. Las temperaturas de crecimiento para un procedimiento de CVD pueden ser comparativamente bajas variando, por ejemplo, de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 1350 °C. Los nanotubos de carbono, tanto de pared simple (SWNT) como de pared múltiple (MWNT) (ambos por sus siglas en inglés), se pueden cultivar, en una realización de la presente invención, exponiendo partículas de catalizador en nanoescala en presencia de gases reactivos que contienen carbono (por ejemplo, fuente de carbono gaseoso). En particular, las partículas de catalizador en nanoescala pueden introducirse en los gases reactivos que contienen carbono, ya sea mediante la adición de partículas existentes o mediante síntesis *in situ* de las partículas a partir de un precursor organometálico o incluso catalizadores no metálicos. Aunque tanto el SWNT como el MWNT pueden crecer, en ciertos casos, el SWNT puede seleccionarse debido a su tasa de crecimiento relativamente mayor y su tendencia a formar estructuras similares a cuerdas, lo que puede ofrecer ventajas en el manejo, la conductividad térmica, las propiedades electrónicas y la resistencia.

La resistencia de los nanotubos de carbono individuales generados en relación con la presente invención puede ser de aproximadamente 30 GPa o más. La resistencia, como se debe observar, es sensible a los defectos. Sin embargo, el módulo elástico de los nanotubos de carbono individuales fabricados en la presente invención puede no ser sensible a defectos y puede variar de aproximadamente 0,9 TPa a aproximadamente 1,2 TPa. Además, la deformación a la rotura de estos nanotubos, que generalmente puede ser un parámetro sensible a la estructura, puede variar de aproximadamente el 10 % a un máximo de aproximadamente el 25 % en la presente invención.

Además, los nanotubos de la presente invención pueden proporcionarse con un diámetro relativamente pequeño. En una realización de la presente invención, los nanotubos fabricados en la presente invención pueden proporcionarse con un diámetro en una gama desde menos de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 10 nm.

Los nanotubos de la presente invención también se pueden usar como un miembro conductor para transportar corriente relativamente alta similar a un alambre o cable Litz. Sin embargo, a diferencia de un alambre Litz o un cable soldado a una porción de conector, el miembro conductor de nanotubos de la presente invención puede exhibir una impedancia relativamente menor en comparación. En particular, se ha observado en la presente invención que cuanto más cortos sean los pulsos de corriente, mejor funcionará el cable o la banda de alambre a base de nanotubos en comparación con una banda de cobre o un alambre Litz. Una razón para el mejor rendimiento observado puede ser que el contenido de frecuencia efectiva del pulso, que puede calcularse a partir de la transformada de Fourier de la forma de onda para pulsos de corriente que son cuadrados y cortos, por ejemplo, aproximadamente 100 ms a menos de aproximadamente 1 ms, puede ser muy alto. Específicamente, los nanotubos de carbono individuales de la presente invención pueden servir como rutas conductoras, y debido a su pequeño tamaño, cuando las estructuras en masa están hechas de estos nanotubos, las estructuras en masa pueden contener un número extraordinariamente grande de elementos conductores, por ejemplo, del orden de $10^{14}/\text{cm}^2$ o mayor.

Los nanotubos de carbono de la presente invención también pueden demostrar la conducción balística como un medio fundamental de conductividad. Por lo tanto, los materiales hechos de nanotubos de la presente invención pueden representar un avance significativo sobre el cobre y otros miembros conductores metálicos en condiciones de corriente alterna. Sin embargo, unir este tipo de miembro conductor a un circuito externo requiere que esencialmente cada nanotubo esté en contacto eléctrico o térmico para evitar la resistencia de contacto en la unión.

Cabe señalar que, aunque se hace referencia a lo largo de la solicitud a nanotubos sintetizados a partir de carbono, se pueden usar otros compuestos, tales como boro, MoS_2 o una combinación de los mismos en la síntesis de nanotubos en relación con la presente invención. Por ejemplo, debe entenderse que los nanotubos de boro también pueden cultivarse, pero con diferentes precursores químicos. Además, debe tenerse en cuenta que el boro también puede usarse para reducir la resistividad en nanotubos de carbono individuales. Además, otros métodos, tales como CVD de plasma o similares, también pueden usarse para fabricar los nanotubos de la presente invención.

45 Sistema para fabricar nanotubos

Con referencia ahora a la fig. 1A, se ilustra un sistema 10, similar al descrito en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos n.º de serie 11/488,387 presentada el 17 de julio de 2006, publicada el 15 de febrero de 2007 como Solicitud de Patente de los Estados Unidos n.º 20070036709 (la «Solicitud 709») para su uso en la fabricación de nanotubos. El sistema 10, en una realización, puede estar acoplado a una cámara 11 de síntesis. La cámara 11 de síntesis, en general, incluye un extremo 111 de entrada, en el que pueden suministrarse gases de reacción (es decir, fuente de carbono gaseoso), una zona 112 caliente, donde puede producirse la síntesis de nanotubos 113 de longitud extendida y un extremo 114 de salida desde el que los productos de la reacción, a saber, los nanotubos y los gases de escape, pueden salir y recogerse. La cámara 11 de síntesis, en una realización, puede incluir un tubo 115 de cuarzo que se extiende a través de un horno 116. Los nanotubos generados por el sistema 10, por otro lado, pueden ser nanotubos de pared simple individuales, haces de tales nanotubos o nanotubos de pared simple entrelazados (por ejemplo, cuerdas de nanotubos).

El sistema 10, en una realización de la presente invención, también puede incluir un alojamiento 12 diseñado para ser sustancialmente hermético, a fin de minimizar la liberación de partículas potencialmente peligrosas en suspensión en el aire desde el interior de la cámara 11 de síntesis al medio ambiente. El alojamiento 12 también puede actuar evitando

que el oxígeno entre en el sistema 10 y llegue a la cámara 11 de síntesis. En particular, la presencia de oxígeno dentro de la cámara 11 de síntesis puede afectar a la integridad y comprometer la producción de los nanotubos 113.

El sistema 10 también puede incluir una correa 120 móvil, colocada dentro del alojamiento 12, diseñado para recoger los nanotubos 113 sintetizados hechos a partir de un procedimiento CVD dentro de la cámara 11 de síntesis del sistema 10. En particular, la correa 120 puede usarse para permitir que los nanotubos recogidos sobre la misma formen posteriormente una estructura 121 extensible sustancialmente continua, por ejemplo, una lámina no tejida. Dicha lámina no tejida puede generarse a partir de nanotubos 113 compactados, sustancialmente no alineados y entremezclados, haces de nanotubos o nanotubos entrelazados (por ejemplo, cuerdas de nanotubos), con suficiente integridad estructural para que sean manejados como una lámina.

Para recoger los nanotubos 113 fabricados, la correa 120 puede colocarse adyacente al extremo 114 de salida de la cámara 11 de síntesis para permitir que los nanotubos se depositen en la correa 120. En una realización, la correa 120 puede colocarse sustancialmente paralela al flujo de gas desde el extremo 114 de salida, como se ilustra en la figura 1A. Alternativamente, la correa 120 puede colocarse sustancialmente perpendicular al flujo de gas desde el extremo 114 de salida y puede ser de naturaleza porosa para permitir que el flujo de gas que transporta los nanomateriales pase a su través. La correa 120 puede diseñarse como un bucle continuo, similar a una cinta transportadora convencional. Con ese fin, la correa 120, en una realización, puede enrollarse alrededor de los elementos 122 giratorios opuestos (por ejemplo, rodillos) y puede ser accionada por un dispositivo mecánico, tal como un motor eléctrico. Alternativamente, la correa 120 puede ser un cilindro rígido. En una realización, el motor puede controlarse mediante el uso de un sistema de control, tal como una computadora o microprocesador, de modo que la tensión y la velocidad puedan optimizarse.

En una realización alternativa, en lugar de una lámina no tejida, los nanotubos 113 fabricados de pared simple se pueden recoger de la cámara 11 de síntesis y después se puede formar un hilo 131 como se ilustra en la figura 1B. Específicamente, a medida que los nanotubos 113 emergen de la cámara 11 de síntesis, pueden recogerse en un haz 132, alimentarse al extremo 133 de admisión de un husillo 134, y posteriormente hilarse o torcerse en el hilo 131 dentro de ellos. Debe observarse que una torsión continua del hilo 131 puede acumular suficiente tensión angular para causar la rotación cerca de un punto donde los nuevos nanotubos 113 llegan al husillo 134 para hacer avanzar el procedimiento de formación del hilo. Además, puede aplicarse una tensión continua al hilo 131 o puede permitirse su avance en la cámara 13 de recogida a una velocidad controlada, para permitir su absorción circunferencialmente alrededor de un carrete 135.

Típicamente, la formación del hilo 131 resulta de una agrupación de nanotubos 113 que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido. Alternativamente, una torsión principal del hilo 131 puede anclarse en algún punto dentro del sistema 10 y los nanotubos 113 recogidos pueden enrollarse en el hilo 131 torcido. Ambos modos de crecimiento pueden implementarse en relación con la presente invención.

En una realización, los nanotubos de carbono creados en un horno pueden arrastrarse a lo largo de un tubo 202 del horno y recogerse en un carrete 210 de recogida como se muestra en las figs. 1C-D. Como se muestra en la vista en perspectiva (fig. 1C), los nanotubos de carbono creados a partir del tubo 202 del horno pueden arrastrarse a lo largo del tubo 202 del horno e incidir en un ancla 204 en forma de cono. El ancla 204 funciona de manera similar a la de un carrete al recoger los nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono pueden extraerse posteriormente del ancla 204 y dirigirse a un tubo 206 de agitación dentro de una caja 216 giratoria (se muestra mejor en la vista de arriba hacia abajo de la fig. 1D). El tubo de agitación puede hilar los nanotubos de carbono en un hilo. El hilo de nanotubos de carbono que sale del tubo 206 de agitación puede dirigirse a medidores 208 de tensión para proporcionar la tensión necesaria al hilo. En algunos casos, los medidores 208 de tensión pueden medir la tensión para indicar a los motores 212 cómo de rápido tienen que girar para recoger el hilo alrededor del carrete 210 de recogida.

En este ejemplo, un motor 212 controla el tubo 206 de agitación a través de una varilla que se extiende dentro de la caja 216 giratoria. Otro motor 212 acciona el ancla 204, estando dispuesto el motor 212 debajo del ancla 204 (mejor visto en la figura 1C). Y otro motor 212 controla la velocidad de giro del carrete 210 de recogida, estando dispuesto el motor 212 en un lado superior de la caja 216 giratoria (también visto mejor en la figura 1C). La caja 216 giratoria incluye además una membrana 214 de expulsión para mitigar explosiones dentro de la caja 216 giratoria misma. También se puede disponer una pluralidad de conectores 218 alrededor de un lado de la caja 216 giratoria, siendo los conectores 218 capaces de proporcionar gas inerte al sistema (por ejemplo, helio) y para llevar a cabo mediciones de oxígeno e hidrógeno con sensores apropiados.

En algunos sistemas de cámara, el sistema giratorio proporciona un giro falso del hilo. En otros sistemas de cámara, el sistema giratorio proporciona un verdadero giro del hilo. En algunas realizaciones, el hilado se lleva a cabo en línea con los hilos que salen del sistema. En otras realizaciones, el hilado es a 90 grados con respecto a los hilos que salen del sistema.

Se proporciona un método para generar y hacer crecer un gran número de nanotubos de carbono de longitud extendida (CNT) a partir de un sustrato fijo en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos n.º de serie 11/035,471 presentada el 14 de enero de 2005, publicada el 4 de agosto de 2005 como Solicitud de Patente de los Estados Unidos n.º 200501 70089. El método incluye, entre otras cosas, hilar un grupo de tubos o fibras a nanoescala en un hilo.

Posteriormente, el hilo puede recogerse o hilarse adicionalmente usando medios convencionales de procesamiento de fibra. Según tal propuesta, en una realización, se puede emplear cualquier protocolo conocido disponible en la técnica, y puede incorporarse en un procedimiento de fabricación de la presente invención.

5 Otro método para fabricar un miembro conductor hecho de un material basado en nanoestructura se proporciona en la Solicitud de los Estados Unidos n.º de serie 12/437,537, presentada el 7 de mayo de 2009, que se incorpora en la presente memoria como referencia.

Conductor

10 Para transportar pulsos de corriente relativamente altos entre dos conductores móviles, como un condensador de alta energía, una correa de conexión a tierra, una barra de bus o tubería de bus, o un circuito generador de pulso, a un circuito externo sin degradación de la forma de onda o sin calentamiento de una unión, la presente invención proporciona, en una realización, un conductor 20, como el que se muestra en la figura 2. El conductor 20 puede incluir, entre otras cosas, un material 21 conductor basado en nanoestructura, una porción 22 de conector y un mecanismo 23 de acoplamiento hecho de un material capaz de proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja, mientras maximiza sustancialmente el número de nanoestructuras conductoras que pueden participar activamente en la conductividad.

15 De acuerdo con una realización, el conductor 20 incluye un miembro 21 conductor hecho de un material conductor a base de nanoestructura. El material conductor a base de nanoestructura, en una realización, puede ser hilos, bandas, alambres, cables, cintas o láminas (por ejemplo, láminas tejidas o no tejidas) hechas de nanotubos de carbono fabricados de una manera similar a la descrita anteriormente en la Solicitud '709. En una realización, el miembro 21 conductor puede estar hecho de uno de carbono, cobre, plata, nitruro de boro, boro, MoS₂ o una combinación de los mismos. Además, el material del que puede estar hecho el miembro 21 conductor puede incluir, en una realización, grafito de cualquier tipo, por ejemplo, tal como el de fibras de pirógrafo.

20 El conductor 20 también puede incluir una porción 22 de conector a la que se puede unir el miembro 21 conductor. En una realización, la porción 22 del conector puede estar hecha de un material metálico, tal como cobre, aluminio, oro, plata, cobre recubierto de plata, cadmio, níquel, estaño, bismuto, arsénico, aleaciones de estos metales, boro, nitruro de boro, una combinación de los mismos u otros materiales que puedan ser eléctrica o térmicamente conductores. La porción 22 del conector también puede estar hecha de material no metálico, como los que tienen carbonos vítreos, cerámica, silicio, compuestos de silicio, arseniuro de galio o materiales similares, o una combinación de los mismos, siempre que el material pueda ser eléctrica o térmicamente conductor. La porción 22 de conector, en una realización, cuando está acoplada al miembro 21 conductor, permite una corriente relativamente alta desde una fuente que puede ser transportada por el miembro 21 conductor para ser dirigida a un circuito externo sin degradación sustancial.

25 Para hacerlo, el conductor 20 puede incluir además un mecanismo 23 de acoplamiento situado entre el miembro 21 conductor y la porción 22 del conector, para unir el miembro 21 conductor a la porción 22 del conector. En una realización, el mecanismo 23 de acoplamiento puede estar hecho de un material de carbono vítreo que pueda proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja. El carbono vítreo, en general, puede ser una forma de carbono relacionada con los nanotubos de carbono y puede contener una cantidad significativa de bandas similares al grafeno que comprenden una matriz de carbono amorfo. Estas bandas incluyen bandas unidas sp² que pueden ser sustancialmente similares a los nanotubos unidos sp². Como resultado, pueden tener una conductividad térmica y eléctrica relativamente buenas. Los ejemplos de materiales precursores a partir de los cuales se puede hacer carbono vítreo incluyen alcohol furfúrico, resina RESOL (es decir, alquil-fenilformaldehído catalizado), PVA o resina líquida o cualquier material que se sepa que forme carbono vítreo cuando se trata con calor. Por supuesto, se pueden usar otros materiales de carbono vítreo o materiales precursores disponibles comercialmente.

30 Además, el mecanismo 23 de acoplamiento también puede proporcionar al miembro 21 conductor un contacto sustancialmente uniforme con la porción 22 del conector a través de una superficie de contacto en la porción 22 del conector. Con ese fin, el mecanismo 23 de acoplamiento puede actuar maximizando sustancialmente el número de nanoestructuras conductoras dentro del miembro 21 conductor que pueden participar activamente en la conductividad mejorando la eficiencia del transporte eléctrico y térmico. Por ejemplo, la corriente relativamente alta de una fuente y transportada por el miembro 21 conductor puede dirigirse a un circuito externo sin degradación sustancial. El conductor 20 de la presente invención, por lo tanto, se puede usar para permitir una conducción eficiente a un conector estándar para uso en un sistema de circuito eléctrico o térmico tradicional. En particular, el conductor 20 puede permitir una interacción eficiente, por ejemplo, a través de la conducción eléctrica o térmica, entre un entorno a nanoescala y el sistema tradicional de circuito eléctrico o térmico.

35 Para fines de comparación, las propiedades de conducción eléctrica y térmica para el carbono vítreo se comparan con las propiedades exhibidas por el grafito. Como se ilustra en la tabla 1 a continuación, la presencia de las bandas de grafeno puede mejorar la conductividad eléctrica y, por lo tanto, térmica del carbono vítreo en relación con la observada con el grafito.

Tabla 1

Parámetro	Grafito	Carbono vítreo
Resistividad eléctrica	$14,70 \times 10^{-4}$ ohm-cm	$0,50 \times 10^{-4}$ ohm-cm
Conductividad térmica	95 w/m·°K	6,3 w/m·°K

En otra realización, se proporciona un método para hacer un conductor de la presente invención. El método incluye inicialmente proporcionar un miembro conductor, similar al miembro 21 conductor, hecho de un material basado en nanoestructura, y una porción de conector, similar a la porción 22 de conector, a la que se puede unir el miembro conductor. El material basado en nanoestructura, en una realización, puede ser el que está hecho de nanotubos de carbono conductivos, por ejemplo, hilos, cintas, cables, bandas o láminas hechas de nanotubos de carbono. La parte del conector, por otro lado, puede estar hecha de un material metálico, como cobre, níquel, aluminio, plata, oro, cadmio, estaño, bismuto, arsénico, aleaciones de estos metales, boro, nitruro de boro, otros metales conductivos, cualquier metal conductor recubierto con oro o plata, o una combinación de los mismos. La porción del conector también puede estar hecha de material no metálico, como los que tienen formas de carbono vítreo, cerámica, silicio, compuestos de silicio, arseniuro de galio o materiales similares, siempre que el material pueda ser conductor de electricidad o calor.

A continuación, se puede colocar un mecanismo de acoplamiento, similar al mecanismo 23 de acoplamiento, en una unión entre el miembro conductor y la porción de conector. En una realización, el mecanismo de acoplamiento puede ser un precursor de carbono vítreo, tal como alcohol furfúrico, resina resol, PVA o cualquier material conocido por formar carbono vítreo cuando se trate con calor y se pueda depositar en la unión. Debe apreciarse que la tendencia de la resina o el material vítreo de carbono a «humedecer» los nanotubos en el miembro conductor puede ayudar a recubrir cada nanotubo individual, de modo que cada nanotubo pueda contribuir al transporte de electrones o térmico.

Posteriormente, el miembro conductor y la porción de conector se pueden mantener uno contra el otro, mientras que la unión entre el miembro conductor y la porción de conector se puede calentar a una gama de temperatura suficiente para pirolizar el precursor de carbono vítreo para formar un mecanismo de acoplamiento de baja resistencia de carbono vítreo. En una realización, la temperatura mínima de pirólisis debería ser al menos cercana a una temperatura en el intervalo entre aproximadamente 400 °C y aproximadamente 450 °C. Si la pirólisis se lleva a cabo en una atmósfera inerte, se puede necesitar que la temperatura sea más alta para permitir que el procedimiento de pirólisis se complete.

Debe apreciarse que los materiales que pueden ser sensibles a esta temperatura pueden no ser adecuados para esta invención. Además, no se necesita que se complete la pirólisis para que esta unión ofrezca una resistencia de contacto sustancialmente superior a la de los medios tradicionales para acoplar miembros conductores.

Mirando ahora la figura 3, de acuerdo con otra realización de la presente invención, se muestra un conductor 30, para transportar corriente relativamente alta desde una fuente a un circuito externo sin una degradación sustancial de la forma de onda o sin un calentamiento sustancial de una unión.

En la realización mostrada en la fig. 3, el conductor 30 incluye un miembro 31 conductor hecho de un material conductor a base de nanoestructura. El material conductor a base de nanoestructura, en una realización, puede incluir hilos, bandas, cables, cintas o láminas (por ejemplo, láminas tejidas o no tejidas) hechas de nanotubos de carbono fabricados de manera similar a la descrita anteriormente en la Solicitud '709. En una realización, el miembro 31 conductor puede estar hecho de uno de carbono, cobre, plata, nitruro de boro, boro, MoS₂ o una combinación de los mismos. El material del que puede estar hecho el miembro 31 conductor también puede incluir, en una realización, grafito de cualquier tipo, por ejemplo, tal como el de fibras de pirógrafo.

El conductor 30, como se ilustra, también puede incluir una porción 32 de conector en cada uno de los extremos opuestos del miembro 31 conductor. En una realización de la invención, la porción 32 de conector puede ser un recubrimiento depositado, tal como galvanizado, directamente en cada extremo del miembro 31 conductor. La deposición o galvanizado de la porción 32 de conector sobre el miembro 31 conductor se puede llevar a cabo usando métodos bien conocidos en la técnica. Los ejemplos de la porción 32 de conector galvanizado incluyen oro, plata, níquel, aluminio, cobre, bismuto, estaño, zinc, cadmio, aleación de estaño y níquel, aleación de cobre, aleación de estaño y zinc, aleación de bismuto y cobre, aleación de cadmio y níquel, otros metales conductivos y sus aleaciones o una combinación de los mismos.

La porción 32 de conector, en una realización, puede depositarse o galvanizarse sobre el miembro 31 conductor de manera sustancialmente uniforme, para permitir un contacto sustancialmente uniforme de los nanotubos en el miembro 31 conductor a través de una superficie de contacto en la porción 32 de conector. Como tal, la porción 32 de conector puede actuar para maximizar sustancialmente el número de nanoestructuras conductoras dentro del miembro 31 conductor que pueden participar activamente en la conductividad para mejorar la eficiencia del transporte eléctrico y térmico y reducir la resistencia de contacto. Con ese fin, la corriente relativamente alta de una fuente y transportada por el miembro 31 conductor puede dirigirse a un circuito externo sin degradación sustancial. El conductor 30, por lo tanto, se puede usar para permitir una interacción eficiente, por ejemplo, a través de la conducción eléctrica o térmica,

entre un entorno a nanoescala y el sistema de circuito eléctrico o térmico tradicional, así como la conducción a un conector estándar para su uso en un sistema tradicional de circuito eléctrico o térmico.

5 Con referencia ahora a las figs. 4A-B, de acuerdo con una realización adicional de la presente invención, un conductor 40 puede diseñarse para extenderse o expandirse en al menos una dirección, por ejemplo, longitudinalmente, sin comprometer o cambiar sustancialmente la resistividad del conductor 40. En otras palabras, la resistividad o la propiedad de resistencia del conductor 40 puede ser independiente de la extensión o expansión del conductor 40, incluso si la extensión o expansión es en un grado sustancialmente extremo.

10 El conductor 40, en una realización, incluye un miembro 41 conductor hecho de un material conductor a base de nanoestructura. Tal material puede ser una lámina (por ejemplo, lámina tejida o no tejida), una pluralidad de cintas o bandas hechas de nanotubos de carbono, de manera similar a la descrita en la Solicitud '709. Además, el material del que está hecho el miembro conductor puede incluir, en una realización, grafito de cualquier tipo, por ejemplo, tal como el de fibras de pirógrafo.

15 Sin embargo, a diferencia del conductor 30 mostrado en la fig. 3, el miembro 41 conductor del conductor 40 puede impartirse o grabarse con diversos patrones, incluido el que se muestra en las figs. 4A y 4B para permitir que el conductor 40 se extienda o expanda, por ejemplo, en una dirección longitudinal (es decir, a lo largo del eje X) cuando se tire axialmente de los extremos opuestos del conductor 40 (véase la figura 4B). Debe apreciarse que, además de los patrones mostrados en las figs. 4A y 4B, el miembro 41 conductor puede incluir otros patrones o diseños, siempre que dicho patrón o diseño permita la extensión del conductor 40.

20 Aunque se muestra extendiéndose en una dirección longitudinal, el conductor 40 también puede estar diseñado para extenderse a lo largo de su ancho (es decir, a lo largo del eje Y). Como se muestra en las figs. 4C-D, el miembro 41 conductor puede estar provisto de cualquier patrón conocido en la técnica que permita que el conductor 40 se extienda o sea extensible a lo largo de su ancho. Debe apreciarse que el miembro 41 conductor también puede incluir un patrón que permita que el conductor 40 se extienda longitudinalmente así como a lo largo de su ancho (es decir, en dos dimensiones).

25 En la medida deseada, observando ahora la figura 4E, el conductor 40 puede incluir dos o más capas del miembro 41 conductor, una encima de la otra, y sustancialmente no unidas entre sí, a lo largo de su longitud, de modo que el conductor 40 también se pueda extender a lo largo del eje Z. En tal realización, los miembros 41 conductores pueden estar unidos entre sí a lo largo de sus respectivos bordes 43. En una realización, la unión de los bordes 43 se puede lograr mediante el uso de un material de carbono vítreo, como el proporcionado anteriormente.

30 Además de ser extensible, el miembro 41 conductor también puede estar provisto de capacidad de memoria de forma. Específicamente, los nanotubos a partir de los cuales se puede hacer el miembro 41 conductor pueden permitir que el miembro 41 conductor se retraiga sustancialmente de nuevo a su longitud, anchura o forma originales (ver fig. 4A) después de que el miembro 41 conductor se haya extendido (ver fig. 4B) a lo largo de una, dos o tres dimensiones.

35 El patrón, diseño o grabado proporcionados en el miembro 41 conductor, en una realización, puede implementarse mediante procedimientos conocidos en la técnica, que incluyen estampado, grabado láser, etc.

40 El conductor 40 también puede incluir una porción 42 de conector en cada uno de los extremos opuestos del miembro 41 conductor. En una realización de la invención, la porción 42 de conector puede ser un recubrimiento depositado, tal como por galvanizado, directamente en cada extremo del miembro 41 conductor. La deposición o galvanizado de la porción 42 de conector sobre el miembro 41 conductor se puede llevar a cabo usando métodos bien conocidos en la técnica. En una realización, la porción 42 de conector puede estar hecha de un material metálico, tal como oro, plata, níquel, aluminio, cobre, bismuto, estaño, zinc, cadmio, aleación de estaño-níquel, aleación de cobre, aleación de estaño-zinc, aleación de bismuto-cobre, aleación de cadmio-níquel, otros metales conductivos y sus aleaciones, o una combinación de los mismos. La porción 42 de conector también puede estar hecha de material no metálico, tal como aquellos que tienen formas de carbono vítreo, o materiales similares, siempre que el material pueda ser conductor eléctrico o térmico. En la medida en que el conductor 40 pueda estar diseñado para permitir que el miembro 41 conductor se extienda o sea extensible a lo largo de su ancho, similar al que se muestra en la figura 4D, la porción 42 de conector también puede estar diseñada para extenderse o ser extensible a lo ancho junto con el miembro 41 conductor.

50 De acuerdo con una realización, la porción 42 del conector puede depositarse o galvanizarse sobre el miembro 41 conductor de manera sustancialmente uniforme para permitir un contacto sustancialmente uniforme de los nanotubos en el miembro 41 conductor a través de una superficie de contacto en la porción 42 del conector. Para ese fin, la porción 42 del conector puede actuar para maximizar sustancialmente el número de nanoestructuras conductivas dentro del miembro 41 conductor que pueden estar activamente involucradas en la conductividad para mejorar la eficiencia del transporte eléctrico y térmico. El conductor 40 de la presente invención puede usarse para permitir una interacción eficiente, por ejemplo, a través de conducción eléctrica o térmica, entre un entorno a nanoescala y el sistema tradicional de circuito eléctrico o térmico, así como la conducción a un conector estándar para uso en un sistema tradicional de circuito eléctrico o térmico.

Los conductores 20, 30 y 40 pueden usarse como miembros conductores de corriente, incluidos miembros conductores

de alta corriente, condensadores, electrodos de batería, electrodos de pila de combustible, así como para transporte térmico, para transporte de alta frecuencia y muchas otras aplicaciones. Con respecto al conductor 40, debido a su capacidad para extenderse, su capacidad de memoria de forma, así como sus propiedades conductoras térmicas y eléctricas, el conductor 40 puede usarse para una variedad de aplicaciones estructurales y mecánicas, incluidas aquellas relacionadas con la industria aeroespacial, por ejemplo, como miembro conductor en las alas de los aviones modernos que tienen diseños curvos.

Conductores híbridos

Se describen conductores híbridos capaces de lograr una conductividad y capacidad de corriente mejoradas en una amplia gama de frecuencias. Un método para fabricar tales conductores híbridos incluye poner en contacto un material conductor (por ejemplo, plata, oro, cobre) con una pluralidad de nanoestructuras. En algunos casos, el material conductor mejora la conductividad eléctrica o térmica a lo largo de la pluralidad de nanoestructuras. En una realización, la pluralidad de nanoestructuras es un hilo de nanotubos. En otra realización, la pluralidad de nanoestructuras es una lámina de nanotubos. En algunas realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras incluye nanotubos hechos de uno de carbono, cobre, plata, boro, nitruro de boro, o una combinación de los mismos. Las nanoestructuras también pueden incluir otros tipos de nanotubos descritos en la presente memoria. En general, el contacto involucra solo una porción de la superficie de la pluralidad de nanoestructuras. Por ejemplo, al utilizar una pluralidad de nanoestructuras, algunas partes de la periferia de las nanoestructuras adyacentes pueden no estar en contacto físico con el material conductor, sino que estarían en contacto con otra nanoestructura.

En una realización, se puede producir un conductor híbrido, teniendo el conductor híbrido: una pluralidad de nanoestructuras, en donde cada nanoestructura tiene una superficie; un miembro que tiene un perfil geométrico definido por la pluralidad de nanoestructuras y un material conductor colocado de modo que esté en contacto con menos de la superficie total de la pluralidad de nanoestructuras, en donde la combinación del material conductor y la pluralidad de nanoestructuras mejora la conductividad mientras disminuye la resistividad a lo largo de la longitud del miembro. Como se usa en la presente memoria, menos de la superficie total y similares no significa el 100 %. En algunas realizaciones, el contacto entre el material conductor y la superficie total de la pluralidad de nanoestructuras puede no ser mayor que aproximadamente el 95 % o no ser mayor que aproximadamente el 90 % o no mayor que aproximadamente el 85 % o no mayor que aproximadamente el 80 % o no mayor que aproximadamente el 75 % o no mayor que aproximadamente el 70 % o no mayor que aproximadamente el 65 % o no mayor que aproximadamente el 60 % o no mayor que aproximadamente el 55 % o no mayor que aproximadamente el 50 %. En otras realizaciones, el material conductor incluye uno de un revestimiento conductor en contacto con menos de la superficie total de la pluralidad de nanoestructuras, un alambre conductor en contacto con menos de la superficie total de la pluralidad de nanoestructuras, o una combinación de los mismos. En una realización, el miembro definido por la pluralidad de nanoestructuras incluye uno de un hilo o una lámina. En algunas realizaciones, el miembro incluye uno de una pluralidad de hilos, una pluralidad de láminas o una combinación de los mismos.

En un caso, el contacto incluye entrelazar o entramar dos materiales diferentes (por ejemplo, una pluralidad de nanoestructuras y un alambre de cobre, una pluralidad de nanoestructuras y un alambre de aluminio). En otra realización, el contacto incluye recubrir o depositar un material sobre otro (por ejemplo, galvanizado de cobre sobre una pluralidad de nanoestructuras, por deposición física de vapor de cobre sobre una pluralidad de nanoestructuras). En algunos casos, el contacto incluye poner o colocar dos materiales en contacto físico. En algunas realizaciones, el contacto puede producir un material compuesto o producto híbrido.

En un ejemplo, los nanotubos de carbono pueden ponerse en contacto con un alambre de cobre para producir un conductor híbrido. En algunas realizaciones, un hilo de nanotubos de carbono puede ponerse en contacto con un alambre de oro para producir un conductor de material compuesto. En algunos casos, los nanotubos de carbono pueden fabricarse de acuerdo con las técnicas descritas en la presente solicitud. En una realización, un conductor híbrido incluye materiales metálicos y de nanoestructura. En otras realizaciones, el conductor híbrido incluye materiales no metálicos y de nanoestructura. En algunas realizaciones, el material conductor incluye al menos uno de cobre, aluminio, titanio, platino, níquel, oro, plata o una combinación de los mismos.

Una realización describe un conductor híbrido que tiene una pluralidad de nanoestructuras acopladas y un material conductor depositado circunferencialmente alrededor de la pluralidad de nanoestructuras para mejorar la conductividad a lo largo de la pluralidad de nanoestructuras. En una realización, la pluralidad de nanoestructuras comprende un hilo de nanotubos. En algunas realizaciones, las nanoestructuras pueden hacerse a partir de uno de carbono, cobre, plata, boro, nitruro de boro, MoS₂ o compuestos similares, o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras se puede dopar en una solución que tenga uno de FeCl₃, SbCl₃, SbI₃, SbF₃, SbCl₅, Bi(NO₃)₃, TeCl₄, CuSO₄, CuCl₂, HCl, NaCl, NaSO₄, Fe(NO₃)₃, ion hidronio, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, ácido fluorhídrico, ácido yodhídrico, ácido carbónico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fluorosulfúrico, ácido clorosulfónico, ácido metanosulfónico, ácido trifluorometanosulfónico, óleum, un agente del mismo, o una combinación de los mismos. El dopaje de los nanotubos se hará más evidente en la discusión posterior. En otras realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras se puede dopar en una solución que tenga una de sal de fluoruro, sal de cloruro, sal de bromuro, sal de yodato, sal de nitrato, sal de sulfato o una combinación de las mismas.

En algunas realizaciones, el material conductor puede estar hecho de cobre, aluminio, titanio, platino, níquel, oro, plata, cobre recubierto de plata, cadmio, níquel, estaño, bismuto, arsénico, aleaciones de estos metales, boro, nitrato de boro, carbono vítreo, cerámica, silicio, compuestos de silicio, arsénico-galio, una combinación de los mismos u otros materiales capaces de ser conductores eléctricos o térmicos.

5 En una realización, el material conductor puede recubrirse en la pluralidad de nanoestructuras. En un caso, recubierto significa que cubre un primer objeto con un segundo objeto. Por ejemplo, el primer objeto puede ser una pluralidad de nanotubos de carbono y el segundo objeto puede ser una capa metálica, semimetálica o no metálica. La capa metálica, semimetálica o no metálica puede cubrir parcialmente la pluralidad de nanotubos de carbono. En otro ejemplo, el primer objeto puede ser una pluralidad de nanotubos de carbono en forma de alambre y el segundo objeto puede ser una película de cobre que encapsula sustancialmente el alambre. En otro ejemplo más, el primer objeto puede ser una pluralidad de nanotubos de carbono y el segundo objeto puede ser una capa de película de oro, que encapsula sustancialmente los nanotubos de carbono. En otra realización, la pluralidad de nanoestructuras puede ser una lámina de nanotubos recubiertos con un material conductor tal como una película de oro o cobre.

15 En una realización, el material conductor puede depositarse sobre los miembros conductores. En un caso, depositado significa colocar una capa de material en la superficie de un objeto, siendo el material diferente del objeto. En algunas realizaciones, las técnicas incluyen galvanizado o plateado químico, entre otras, pueden usarse para depositar el material conductor sobre la pluralidad de nanoestructuras. En una realización, se puede formar un conductor híbrido galvanizando un metal de transición (por ejemplo, cobre) sobre una tira de nanotubos de carbono. En este caso, la tira de nanotubos de carbono puede ser similar a un haz o hilo de nanotubos. En un ejemplo, el metal de transición puede depositarse directamente sobre los nanotubos de carbono. En otro ejemplo, se puede depositar una capa de semillas (por ejemplo, níquel) en la tira de nanotubos de carbono seguido de galvanizado del material de metal de transición. En otro caso, el material conductor puede depositarse sobre una lámina de nanotubos mediante galvanizado o deposición física de vapor, entre otras técnicas. En algunas realizaciones, el metal de transición incluye elementos o aleaciones de plata, cobre, oro, aluminio, titanio, platino, níquel o aleaciones o combinaciones de los mismos.

25 En una realización, el conductor híbrido está diseñado para permitir una conducción eficiente entre un entorno a nanoescala y un sistema de circuito eléctrico o térmico tradicional. En otra realización, el material conductor del conductor híbrido puede permitir una corriente relativamente alta desde una fuente y transportada por el haz para ser dirigida a un circuito externo sin degradación sustancial.

30 En algunas realizaciones, el conductor híbrido está diseñado para su uso en una de conducción térmica, conducción eléctrica, aplicaciones EMI, transmisión de alta corriente, aplicaciones de RF, aplicaciones pulsadas, generación termoeléctrica o de energía, aplicaciones de sensores u otras aplicaciones similares. En otras realizaciones, el conductor híbrido está diseñado para permitir una conducción eficiente a un conector estándar para uso en sistemas de circuito eléctrico o térmico tradicionales.

35 En algunos casos, los conductores híbridos pueden incorporarse como conductores eléctricos o térmicos, entre otros. En otros casos, los conductores híbridos incluyen, entre otros, alambres eléctricos u ópticos o cables, incluyendo cables coaxiales, alambres de cables, cables de bus serie universal (USB). En algunas realizaciones, los conductores híbridos pueden incluir cualquier conductor eléctrico o térmico que requiera alta capacidad de corriente y conductividad mientras operan en una amplia gama de frecuencias (por ejemplo, de CC a GHz) o una amplia gama de temperaturas (por ejemplo, de aproximadamente <0 °C a no menos de aproximadamente 200 °C).

40 En un caso, el miembro conductor y el material conductor pueden ponerse o colocarse en contacto físico entre sí (por ejemplo, entrelazados físicamente). En una realización, la pluralidad de nanoestructuras y el material conductor pueden estar físicamente acoplados entre sí para formar un patrón geométrico. En algunas realizaciones, las técnicas de acoplamiento pueden incluir entrelazar, trenzar, enrollar y plegar, por nombrar algunas. En un ejemplo, entrelazar significa torcer juntos un hilo de nanotubos de carbono y el miembro conductor para formar un patrón entrelazado. En otro ejemplo, devanado significa enrollar el miembro conductor alrededor de una lámina de nanotubos de carbono, o viceversa, para formar un patrón enrollado. En otro ejemplo más, trenzar significa torcer juntos la lámina de nanotubos de carbono y el miembro conductor en forma de espiral. En algunos casos, el material conductor (por ejemplo, oro o aluminio) puede galvanizarse sobre el hilo o la lámina de nanotubos de carbono.

50 En algunas realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras puede ser nanotubos de carbono en forma de una tira, un alambre, una lámina, un hilo o una combinación de los mismos. En una realización, la pluralidad de nanoestructuras puede estar en forma de tira (por ejemplo, cualquier longitud o anchura de hasta aproximadamente 2 mm de espesor). En una realización, la pluralidad de nanoestructuras puede tener la forma de un alambre (por ejemplo, cualquier longitud y hasta aproximadamente 20 mm de diámetro). En algunas realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras puede estar en forma de una tira y un alambre, dos tiras, dos alambres o cualquier combinación de los mismos. En otra realización, la pluralidad de nanoestructuras puede ser una lámina de nanotubos de carbono.

55 En una realización, un conductor de alambre híbrido puede galvanizarse de manera similar a la de un conductor de tira híbrido. En otra realización, se puede producir un conductor de alambre híbrido al enrollar o trenzar varios cordones individuales de nanotubos de carbono junto con un alambre de metal (por ejemplo, de aproximadamente 30 a aproximadamente 50 AWG). El patrón geométrico formado como resultado del trenzado se puede modificar para

permitir que el alambre de metal se mueva desde adentro hacia afuera (p. ej., similar a un alambre de Litz como se describe en la presente memoria), o como un conductor central con nanotubos de carbono que envuelven el conductor central. Esto se hará más evidente en las figuras y análisis posteriores.

5 En una realización, los nanotubos de carbono pueden someterse a un tratamiento para mejorar la conductividad y la productividad de los nanotubos de carbono. En estos casos, los nanotubos de carbono pueden ser láminas, tiras, alambres, hilos o combinaciones de los mismos. Para las láminas de nanotubos de carbono, la conductividad y la productividad mejoradas pueden resultar de un procedimiento de tratamiento. Del mismo modo, si se generan tiras de nanotubos, las tiras también pueden someterse a un procedimiento de tratamiento para mejorar la conductividad y la productividad de los nanotubos en la tira. El tratamiento de una lámina de material compuesto después de la formación
10 puede, en una realización, incluir someter la lámina de material compuesto a un agente de protonación. Una característica del agente de protonación puede ser acercar los nanotubos de carbono entre sí. Al acercar los nanotubos de carbono, el agente de protonación puede actuar reduciendo la tensión superficial, reduciendo la resistividad y aumentando la conductividad de la lámina.

15 Los ejemplos de un agente de protonación pueden incluir un ácido tal como ion hidronio, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, ácido fluorhídrico, ácido yodhídrico, ácido carbónico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fluorosulfúrico, ácido clorosulfónico, ácido metanosulfónico, ácido trifluorometanosulfónico, óleum, un agente del mismo, o una combinación de los mismos, u otros materiales capaces de ser conductores eléctricos o térmicos. En otras realizaciones, la pluralidad de nanoestructuras se puede dopar en una solución que tenga una sal de fluoruro, sal de cloruro, sal de bromuro, sal de yodato, sal de nitrato, sal de sulfato o una combinación de las mismas. En estas
20 realizaciones, el dopaje incluye sumergir o impregnar las nanoestructuras en una solución a una temperatura y durante un tiempo predeterminados. Aunque el dopaje se realiza en láminas de nanotubos de carbono, el procedimiento de dopaje también se puede realizar en hilos y tiras de nanotubos de carbono, entre otros.

25 En algunas realizaciones, la solución puede incluir un disolvente, un polímero, un metal o una combinación de los mismos. El disolvente usado en relación con la solución de la presente invención se puede usar para lubricar la lámina con el fin de obtener una mejor alineación y mejora en las propiedades de los nanotubos de carbono. Los ejemplos de un disolvente que se puede usar en conexión con la solución incluyen tolueno, queroseno, benceno, hexanos, cualquier alcohol que incluye, pero no se limita a etanol, metanol, butanol, isopropanol, así como tetrahidrofurano, 1-
30 metil-2-pirrolidinona, dimetilformamida, cloruro de metileno, acetona o cualquier otro disolvente ya que la presente invención no pretende estar limitada de esta manera. En una realización, el disolvente puede usarse como un vehículo para un polímero, monómero, sal inorgánica u óxido metálico para.

35 Los ejemplos de polímero que se puede usar en relación con la solución incluyen una molécula pequeña o matriz polimérica (termoestable o termoplástica) que incluye, entre otros, poliuretano, polietileno, poli(estireno-butadieno), policloropreno, poli(alcohol vinílico), poli(vinilpirrolidona), poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno), resina epoxídica, poliureasilazano, bismaleimida, poliamida, poliimida, policarbonato o cualquier monómero que incluya estireno, divinilbenceno, acrilato de metilo y acrilato de terc-butilo. En una realización, el polímero puede incluir partículas de polímero, que son difíciles de obtener en forma líquida.

40 Los ejemplos de metal que se pueda usar en relación con la solución incluyen una sal (cualquier sal de metal de transición, metal alcalino o metal alcalinotérreo o una mezcla de los mismos incluyendo, entre otros, hidróxido de níquel, hidróxido de cadmio, cloruro de níquel, cloruro de cobre, zincato de calcio ($\text{CaZn}_2(\text{OH})_6$) u óxido de metal (cualquier óxido de metal de transición, metal alcalino u metal alcalinotérreo o sus mezclas, incluidos, entre otros: óxido de zinc, óxido de hierro, óxido de plata, óxido de cobre, óxido de manganeso, LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-x}\text{O}_2$, LiMn_2O_4). En una realización, el metal puede incluir polímeros o disolventes volátiles para crear un compuesto de matriz metálica de nanotubos de carbono. Los ejemplos de tales polímeros o disolventes volátiles incluyen formas en polvo de aluminio o sus aleaciones, níquel, superaleaciones, cobre, plata, estaño, cobalto, hierro, aleaciones de hierro
45 o cualquier elemento que pueda producirse en forma de polvo, incluidas aleaciones complejas binarias y ternarias o incluso superconductores.

Otra realización describe el contacto de un alambre conductivo con una porción de la superficie del material conductivo y la pluralidad de nanoestructuras. En algunas realizaciones, el alambre conductivo puede ser cobre, aluminio, titanio, níquel, oro, plata o una combinación de los mismos. Por ejemplo, un alambre de cobre puede estar entrelazado con
50 el material conductivo híbrido y las nanoestructuras. En este caso, el alambre de cobre puede ayudar a mejorar la conductividad (p. ej., eléctrica, térmica) de la pluralidad de nanoestructuras similares a las descritas anteriormente. En una realización, una lámina de nanotubos de carbono puede ponerse en contacto con un material conductivo tal como una película de cobre. La lámina híbrida de nanotubos de cobre y carbono puede ponerse en contacto después con una pluralidad de alambres de aluminio para mejorar la conductividad (p. ej., eléctrica, térmica) de la lámina híbrida
55 de nanotubos de carbono. Una pluralidad de estas láminas híbridas o varias combinaciones de las mismas se pueden colocar adyacentes entre sí para proporcionar un conductor híbrido mejorado.

60 En otra realización se describe un conductor híbrido que tiene una pluralidad de nanoestructuras, por lo que la pluralidad de nanoestructuras se puede dopar para aumentar la conductividad. En algunas realizaciones, las nanoestructuras pueden sumergirse en una solución que incluye uno de FeCl_3 , SbCl_3 , SbI_3 , SbF_3 , SbCl_5 , $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, TeCl_4 , CuSO_4 , CuCl_2 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ o combinaciones de los mismos. En otras realizaciones, las nanoestructuras pueden

sumergirse en una solución que incluye una de las sales de cloruro (por ejemplo, HCl, NaCl, CuCl₂), sales de nitrato (por ejemplo, Bi(NO₃)₃), sales de sulfato (por ejemplo, CuSO₄ o NaSO₄) o combinaciones de las mismas. El dopaje puede ser de tipo p, tipo n, catódico, anódico o combinaciones de los mismos. En un caso, el dopaje puede llevarse a cabo junto con las técnicas de deposición o recubrimiento descritas en esta memoria descriptiva. En otros casos, el dopaje puede llevarse a cabo por sí solo al fabricar el conductor híbrido. En otras realizaciones, la solución puede incluir las descritas en la presente memoria.

En algunos casos, la solución de dopaje o inmersión se puede preparar mezclando soluciones aproximadamente al 10 % en peso de las sales descritas en la presente memoria descriptiva en un disolvente o en una mezcla de disolventes (por ejemplo, agua, acetona, etanol, tolueno) y sumergiendo (por ejemplo, remojando) los nanotubos de carbono en la solución durante aproximadamente una hora. Por ejemplo, se puede dopar una pluralidad de nanotubos de carbono en una solución de CuSO₄ remojándolos o sumergiéndolos en una solución de CuSO₄ durante un período de tiempo predeterminado y a una temperatura predeterminada. Las muestras sumergidas pueden secarse a aproximadamente 120 °C durante aproximadamente una hora para producir los nanotubos de carbono dopados. Como se discutió, el dopaje puede llevarse a cabo con o sin el paso de contacto (por ejemplo, técnicas de deposición o recubrimiento). En algunas realizaciones, se pueden utilizar diferentes concentraciones de soluciones. Por ejemplo, los nanotubos de carbono pueden doparse en solución de ácido nítrico de aproximadamente el 50 % en peso durante no menos de aproximadamente 5 segundos. En otros casos, los nanotubos de carbono pueden doparse en solución salina de aproximadamente el 40 % en peso o solución salina de aproximadamente el 30 % en peso o solución salina de al menos aproximadamente el 10 % en peso o solución salina de aproximadamente no más del 90 % en peso. En algunas realizaciones, el tiempo de remojo o inmersión puede ser de al menos aproximadamente 5 segundos o de al menos aproximadamente 10 segundos o de al menos aproximadamente 30 segundos o de al menos aproximadamente 1 minuto o no mayor que 10 minutos o no mayor que 5 minutos.

Se proporcionan detalles adicionales sobre el dopaje de nanotubos de carbono en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos núm. de serie 12/437,538 presentada el 7 de mayo de 2009. El método incluye, entre otros, una lámina nanoestructurada que tiene un cuerpo sustancialmente plano, una pluralidad de nanotubos que definen una matriz dentro del cuerpo y un agente de protonación dispersado por toda la matriz de nanotubos para mejorar la proximidad de nanotubos adyacentes entre sí. En tal propuesta, en una realización, se puede emplear cualquier protocolo conocido disponible en la técnica, y puede incorporarse en un procedimiento de fabricación de la presente invención.

Otro método para dopaje de nanotubos de carbono (CNT) se proporciona en la Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º de serie 12/191,765 presentada el 14 de agosto de 2008, publicada el 19 de febrero de 2009 como Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º 20090044848. El método incluye, entre otras cosas, reducir la resistividad y aumentar la conductividad de las láminas o los hilos de nanotubos mediante la introducción de cantidades traza de átomos extraños (por ejemplo, dopaje) durante el procedimiento de crecimiento de los nanotubos. El método también incluye dopar el elemento térmico de nanotubos con uno de un dopante de tipo p, un dopante de tipo n o ambos. En tal propuesta, en una realización, se puede emplear cualquier protocolo conocido disponible en la técnica, y puede incorporarse en un procedimiento de crecimiento de la presente invención.

Aún se proporciona otro método para dopar nanotubos de carbono (CNT) en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos núm. de serie 12/437,535 presentada el 7 de mayo de 2009, que se incorpora en la presente memoria como referencia en su totalidad.

En algunas realizaciones, los conductores de nanotubos de carbono (por ejemplo, con o sin dopaje) que tienen metal galvanizado pueden colocarse en operación paralela con conductores de nanotubos de carbono sin dopar y sin metal galvanizado para maximizar la conductividad en una gama completa de frecuencia de CC a GHz (por ejemplo, desde aproximadamente 50 Hz hasta aproximadamente 200 MHz). En otras realizaciones, los conductores de nanotubos de carbono (por ejemplo, con o sin dopar) sin metal galvanizado pueden colocarse en operación paralela con conductores de nanotubos de carbono sin dopar y sin metal galvanizado para maximizar la conductividad en una gama de frecuencia. En otras realizaciones más, se pueden incorporar combinaciones de los mismos (por ejemplo, conductores de nanotubos de carbono sin dopar, conductores de nanotubos de carbono con dopaje, conductores de nanotubos de carbono galvanizados sin dopar, conductores de nanotubos de carbono galvanizados con dopaje). En algunos casos, los conductores pueden funcionar en serie con otros conductores. En otros casos, las combinaciones de conductores pueden incluir alambres de metal de transición (por ejemplo, alambre de cobre, alambre de aluminio). Por ejemplo, una tira de nanotubos de carbono se puede trenzar o plegar con un alambre de cobre o dos alambres de oro o combinaciones de los mismos. En otros ejemplos, dos alambres de nanotubos de carbono se pueden trenzar o plegar con un alambre de oro o dos alambres de cobre o combinaciones de los mismos.

En algunos casos, los electrones pueden desplazarse a través de la porción de metal o el miembro conductivo (por ejemplo, alambre de metal) de un conductor a frecuencias más bajas, y moverse a la porción de nanotubos de carbono cuando funcionan a frecuencias más altas (por ejemplo, por encima de MHz). Por lo tanto, se pueden realizar ahorros de peso a frecuencias más bajas incorporando el miembro conductivo o el alambre de metal, mientras que el comportamiento de acoplamiento capacitivo de los nanotubos de carbono se realiza a frecuencias más altas.

Ejemplos

5 Ahora se hace referencia a las figs. 5A-5C que ilustran una vista esquemática superior, una vista esquemática lateral y una vista superior descendente real de una tira 502 de nanotubos de carbono recubierta con cobre 504. En esta muestra 500, una capa delgada de níquel (no visible) fue electrodepositada a ambos lados de la tira 502 de nanotubos de carbono seguido de una capa más gruesa de cobre 504, por lo que el espesor del metal 504 de cobre a cada lado de la tira 502 es aproximadamente 20 micrómetros.

10 Esta muestra 500, junto con otras muestras similares, se probaron posteriormente para determinar la resistencia en función de la frecuencia y la capacidad de corriente a una temperatura máxima de aproximadamente 300 °C. Como se ilustra en la tabla 2 a continuación, se realizaron mediciones de espesor, corriente y capacidad de corriente en cinco muestras diferentes. Las muestras en bruto (bruto 1, bruto 2 y bruto 3) se recubrieron con cobre en los extremos de las tiras para reducir la resistencia de contacto. Como se muestra en los resultados, las muestras recubiertas de cobre (recubiertas de cobre 1 y recubiertas de cobre 2) pueden alcanzar capacidades de corriente más altas si la temperatura se puede aumentar hasta aproximadamente 300 °C con una corriente más alta.

Tabla 2 († sistema limitado a 25 A)

Muestra	Corriente	Temperatura	Capacidad de corriente
Bruto 1 (47 micrómetros de espesor)	5,52 A	300 °C	4,7 x 10 ⁶ A/m ²
Bruto 2 (73 micrómetros de espesor)	7,51 A	300 °C	4,1 x 10 ⁶ A/m ²
Bruto 3 (34 micrómetros de espesor)	4,51 A	342,5 °C	5,3 x 10 ⁶ A/m ²
Cobre Recubierto 1 (74 micrómetros de espesor)	25 A	57,2 °C	13,5 x 10 ⁶ A/m ² †
Cobre Recubierto 2 (89 micrómetros de espesor)	25 A	31,3 °C	11,2 x 10 ⁶ A/m ² †

15 Las muestras recubiertas de cobre también se analizaron para determinar su resistencia en función de la frecuencia de CC a aproximadamente 200 MHz. Ahora se hace referencia a la fig. 6, que ilustra la resistencia por densidad lineal en función de la frecuencia para un conductor (A) de banda de nanotubos de carbono condensado, un conductor de banda de nanotubos de carbono recubiertos de cobre (C) y una combinación paralela de los dos (B) frente a una muestra (E) de referencia de tira de cobre puro.

20 El conductor (A) de banda de nanotubos de carbono condensado tiene una longitud de aproximadamente 10 cm, un ancho de aproximadamente 0,9 cm, un espesor de aproximadamente 28 micrómetros y una masa de aproximadamente 0,03564 gramos. El conductor (C) de banda de nanotubos recubiertos de cobre tiene una longitud de aproximadamente 9,8 cm, un ancho de aproximadamente 1 cm, un espesor de aproximadamente 106 micrómetros y una masa de aproximadamente 0,11465 gramos. La muestra (E) de referencia de la tira de cobre tiene una longitud de aproximadamente 18,3 cm, un ancho de aproximadamente 3,3 mm, un espesor de aproximadamente 50 micrómetros y una masa de aproximadamente 0,29703 gramos.

25 Como se muestra, la respuesta de frecuencia medida de la resistencia, teniendo en cuenta la masa y el tamaño, de una tira (A) de nanotubos de cobre en bruto (por ejemplo, sin recubrimiento o sin tratar) muestra un comportamiento de desprendimiento de alrededor de aproximadamente 10 KHz, lo que puede atribuirse a acoplamiento capacitivo, y continúa exhibiendo una disminución en la resistencia hasta aproximadamente 30 MHz, donde luego comienza a aumentar. En contraste, las muestras (B, C) híbridas recubiertas de cobre pudieron imitar la de una tira (E) de cobre hasta el punto de desprendimiento en el que se vuelve menos restrictivo (por ejemplo, más conductivo) que la tira (E) de cobre para el resto de la medición hasta aproximadamente 200 MHz.

35 Ahora se hace referencia a la fig. 7, que muestra un alambre de nanotubos de carbono plegado con un alambre de cobre desnudo de aproximadamente 40 AWG. En este ejemplo, un conductor está compuesto por seis alambres de nanotubos de carbono acoplados a un alambre de cobre. En este caso, el rendimiento puede ser similar al de un conductor de tira de nanotubos de carbono recubierto de cobre como se describió anteriormente, pero con un patrón geométrico diferente.

40 Ahora se hace referencia a la fig. 8, que muestra un conductor que incluye un alambre de nanotubos de carbono recubierto de cobre. En este ejemplo, un alambre de nanotubos de carbono de 150 capas ha sido recubierto con cobre en los extremos del alambre.

45 Ahora se hace referencia a la fig. 9, que ilustra la respuesta de análisis de frecuencia medida de aproximadamente 50 Hz a aproximadamente 200 MHz de un conductor (A) híbrido de nanotubos de cobre-carbono, un conductor (B) de nanotubos de carbono y alambres de aluminio (C) y cobre (D) a varias temperaturas. Todas las muestras en la figura tienen el mismo área de sección transversal y la conductividad específica es una medida de la conductividad dividida por la densidad del material.

Como se muestra, las muestras de aluminio (C) y cobre (D) experimentan disminuciones en las conductividades específicas al aumentar la frecuencia en todas las temperaturas. La caída de las muestras de metal parece comenzar a aproximadamente 1 MHz. Además, las muestras de metal también parecen exhibir disminuciones en las conductividades específicas con temperaturas crecientes en todas y cada una de las frecuencias probadas. Por ejemplo, la conductividad específica del aluminio a 20 °C es ligeramente mayor que la del aluminio a 100 °C, que es ligeramente mayor que la del aluminio a 200 °C. Esto es evidente en todas las frecuencias probadas. Se puede decir también que la tendencia es similar para el cobre.

En contraste, el nanotubo (B) de carbono sin recubrir o sin tratar, que tiene una conductividad específica menor que la de las muestras de metal a frecuencias menores (menor que aproximadamente 100 KHz) parece exhibir un aumento en la conductividad específica sobre las muestras de metal a partir de aproximadamente 3 MHz y continúa a frecuencias mayores. Del mismo modo, el conductor (A) híbrido de nanotubos de cobre-carbono, que tiene una conductividad específica menor que la del aluminio a 20 °C a frecuencias menores (menor que aproximadamente 100 KHz), también parece exhibir una conductividad específica creciente con una frecuencia creciente que comienza a aproximadamente 100 KHz y continúa a frecuencias mayores. Además, el conductor (A) híbrido de nanotubos de cobre-carbono parece exhibir conductividades específicas más altas que los alambres (D) de cobre a 100 °C y 200 °C en todas las frecuencias. Esto parece sugerir que los conductores híbridos como se describe en la presente memoria pueden superar a los alambres de cobre u otros alambres metálicos a temperaturas más altas en todas las frecuencias. En algunas realizaciones, los conductores híbridos pueden ser independientes de la frecuencia. En otras realizaciones, los conductores híbridos son capaces de lograr un mejor rendimiento que los alambres metálicos a frecuencias de al menos aproximadamente 1 KHz o al menos aproximadamente 10 KHz o al menos aproximadamente 100 KHz o al menos aproximadamente 1 MHz o al menos aproximadamente 10 MHz o al menos aproximadamente 100 MHz o al menos aproximadamente 1 GHz o al menos aproximadamente 2 GHz o al menos aproximadamente 5 GHz o al menos aproximadamente 10 GHz. En algunas realizaciones, los conductores híbridos pueden lograr un mejor rendimiento que los alambres de cobre o aluminio en una amplia gama de frecuencias o sobre una gama completa de frecuencias o sobre todas las frecuencias o independientemente de la frecuencia o una combinación de los mismos. Del mismo modo, los conductores híbridos pueden lograr estos rendimientos a varias temperaturas y en todas las gamas de temperatura.

Aunque los materiales (A, B) de nanotubos de carbono se prueban a temperatura normal (aproximadamente 20 °C), se habría observado un rendimiento similar a temperaturas elevadas (por ejemplo, 100 °C o 200 °C) porque las propiedades del material de los nanotubos de carbono no son tan sensibles a la temperatura.

Ahora se hace referencia a la fig. 10, que ilustra la respuesta de análisis de frecuencia medida de aproximadamente 50 Hz a aproximadamente 200 MHz de un conductor híbrido de lámina de nanotubos de carbono tratado con ácido. En este caso, el conductor híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido se trató en solución de ácido nítrico de aproximadamente el 50 % en peso a temperatura normal (por ejemplo, 20 °C) durante al menos aproximadamente 5 segundos. El conductor híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido parece exhibir una impedancia decreciente con frecuencia creciente. Específicamente, la reducción de la impedancia comienza a aproximadamente 10 KHz y continúa con frecuencias crecientes y parece disminuir gradualmente a aproximadamente 1 MHz. Esto puede ser una indicación de que el conductor híbrido puede proporcionar un rendimiento mejorado (menor impedancia) a frecuencias mayores. Aunque este conductor híbrido está en forma de lámina, también es posible producir el conductor híbrido en cualquier formato descrito en la presente memoria.

Ahora se hace referencia a la fig. 11, que ilustra las respuestas de análisis de frecuencia de un conductor (A) híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido y modelado, un conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido y modelado, una lámina (C) de cobre modelado y un alambre (D) de cobre modelado. La lámina (C) de cobre y el alambre (D) tienen el mismo área de sección transversal que el conductor (A, B) híbrido. Como se muestra, la lámina (C) de cobre modelada y el alambre (D) exhibieron tendencias de impedancia similares con una impedancia creciente que comenzaba alrededor de 20 KHz y continuaba más allá de 1 GHz, con el alambre (D) de cobre exhibiendo un orden de magnitud ligeramente mayor de la impedancia que la lámina (C) de cobre. En contraste, el nanotubo de carbono, tanto modelado (A) como medido (B), exhibió tendencias similares con una impedancia decreciente entre aproximadamente 20 KHz y aproximadamente 10 MHz. Desde aproximadamente 10 MHz hasta aproximadamente 1 GHz, la impedancia comenzó a aumentar, lo que probablemente se deba lo más probablemente al efecto superficial. Además, el conductor (B) híbrido medido exhibió una impedancia sustancialmente similar a la del conductor (A) híbrido modelado en todas las frecuencias.

Ahora se hace referencia a la fig. 12, que ilustra la resistividad dependiente de la temperatura de un nanotubo (A) de carbono no tratado, un conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido, SbI_3 (C), $FeCl_3$ (D) y cobre (E). Como se muestra, el conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono tratado con ácido exhibió variaciones mínimas en la resistividad (a aproximadamente 0,15 mΩ-cm) en una amplia gama de temperaturas (de aproximadamente -200 °C a aproximadamente 100 °C), mientras que SbI_3 (C, de aproximadamente 0,28 mΩ-cm a aproximadamente 0,45 mΩ-cm), $FeCl_3$ (D, de aproximadamente 0,40 mΩ-cm a aproximadamente 0,60 mΩ-cm) y cobre (E, de aproximadamente 0,2 μΩ-cm a aproximadamente 2,5 μΩ-cm) todos exhibieron resistividad creciente con temperaturas crecientes (de aproximadamente -200 °C a aproximadamente 100 °C). Se puede inferir de estos datos que los nanotubos de carbono generalmente no cambian la resistividad al aumentar la temperatura, mientras que el cobre y otros materiales metálicos sí lo hacen.

Ahora se hace referencia a la fig. 13, que ilustra la resistencia frente a la respuesta de frecuencia de una tira (A) de cobre, un conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono recubierto de cobre, un nanotubo (C) de carbono sin recubrir y una tira (D) de cobre modelada. En estos ejemplos, la tira (A) de cobre pesa aproximadamente 4,9 veces la del conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono recubiertos de cobre. Como se muestra, el conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono recubierto de cobre puede alcanzar una resistencia (a aproximadamente 0,7 ohmios) cercana a la del nanotubo (C) de carbono sin recubrir cerca de altas frecuencias (a aproximadamente 10 MHz), pero que generalmente no exceda la resistencia del nanotubo (C) de carbono sin recubrimiento. En contraste, la resistencia de la tira (A) de cobre continuará y eventualmente excederá las del nanotubo (C) de carbono sin recubrimiento. Además, el conductor (B) híbrido de nanotubos de carbono recubierto de cobre puede exhibir una resistencia sustancialmente similar a la de la tira (A) de cobre medida y la tira (D) de cobre modelada, pero tiene una ventaja de densidad dramática. Esto se hará más evidente en las discusiones posteriores.

Ahora se hace referencia a la fig. 14, que ilustra la conductividad específica de una tira de aluminio modelada de 32 AWG, una tira de cobre modelada de 32 AWG, un conductor híbrido de nanotubos de carbono recubiertos de cobre de 6 capas (híbrido) y un nanotubo de carbono sin recubrimiento (bruto). Como se muestra, el conductor híbrido (híbrido) puede exhibir una conductividad específica similar a la del aluminio y el cobre a frecuencias menores (de aproximadamente 50 Hz a aproximadamente 2 KHz), pero ninguna en aproximadamente un orden de magnitud. Del mismo modo, el nanotubo de carbono no revestido (en bruto) también tiene una conductividad específica menor a frecuencias menores, pero tiene aproximadamente dos órdenes de magnitud de aluminio y cobre. Sin embargo, a frecuencias mayores, tanto el conductor híbrido (híbrido) como el nanotubo de carbono no revestido (bruto) pueden exhibir conductividades específicas mayores que la del aluminio y el cobre. Específicamente, el cruce es a aproximadamente 15 KHz para el conductor híbrido sobre cobre y a aproximadamente 55 KHz para el conductor híbrido sobre aluminio. Del mismo modo, el cruce es a aproximadamente 800 KHz para el nanotubo de carbono sin recubrimiento sobre cobre y a aproximadamente 15 MHz para el nanotubo de carbono sin recubrimiento sobre aluminio.

En una realización, aproximadamente el 9 % del peso de un cable coaxial de un solo conductor M17-RG400 puede atribuirse a un conductor de cobre (alambre de cobre interno), seguido de aproximadamente el 21 % al aislamiento interno, aproximadamente el 50 % al blindaje de cobre o malla, rodeado por aproximadamente un 20 % al aislamiento exterior o externo. Por el contrario, aproximadamente el 1 % del peso de un conductor híbrido de nanotubos de carbono puede atribuirse al conductor de nanotubos de carbono, seguido de aproximadamente el 43 % al aislamiento interno, aproximadamente el 4 % al blindaje de nanotubos de carbono, redondeado por aproximadamente el 52 % al exterior u otro aislamiento. En estos casos, al sustituir el blindaje de nanotubos de carbono en lugar del blindaje o de la malla de cobre por un cable coaxial de un solo conductor M17-RG400 se puede obtener un ahorro de peso de aproximadamente el 46 % (aproximadamente del 50 % reducido a aproximadamente el 4 %).

En otra realización, aproximadamente el 38 % del peso de un cable blindado de par torcido M27500 puede atribuirse a un conductor de cobre (por ejemplo, cobre o aleación plateados), junto con aproximadamente el 17 % al aislamiento interno (por ejemplo, ePTFE), aproximadamente un 25 % al blindaje de cobre (p. ej., alambre trenzado plateado), con aproximadamente un 20 % a otro aislamiento (p. ej., PTFE sobre ePTFE). Por el contrario, aproximadamente el 6 % del peso de un conductor híbrido de nanotubos de carbono puede atribuirse al conductor de nanotubos de carbono, aproximadamente el 32 % al aislamiento interno, aproximadamente el 5 % al blindaje de los nanotubos de carbono y aproximadamente el 57 % al exterior u otro aislamiento. En estos casos, al sustituir el blindaje de nanotubos de carbono en lugar del blindaje de cobre, se puede obtener un ahorro de peso de aproximadamente un 20 % (aproximadamente un 25 % reducido a aproximadamente un 5 %).

Aplicaciones

La producción de conductores híbridos y otros conductores híbridos de nanoestructura permiten aplicaciones en las que se utilicen sus extraordinarias propiedades mecánicas y electrónicas. Los conductores híbridos y los conductores híbridos de nanoestructura producidos por los sistemas y métodos de la presente invención pueden ser tejidos o ensamblados en un material fibroso y tratados para su uso con relación a diversas aplicaciones, incluyendo disipadores de calor, líneas de transmisión de energía eléctrica que requieren resistencia y conductividad, bobinados de motores eléctricos y solenoides que requieren baja resistividad y mínima pérdida de corriente de Foucault, materiales compuestos reforzados con fibra de alta resistencia que incluyen carbono-carbono y carbono-resina epoxídica y cables híbridos a base de nanotubos, fibras, estopas, textiles y telas. También se incluyen dispositivos hechos de estos nanotubos híbridos y nanoestructuras y conductores, y textiles como blindajes de varios tipos, ropa protectora, anclajes generadores de energía y similares. La presente invención también contempla recubrir nanotubos híbridos o grupos de nanotubos con una resina epoxídica termoestable o un polímero con alto contenido de carbono, tal como alcohol furfúrico o resol para actuar como un precursor de material compuesto.

Las estructuras formadas a partir de carbono se han discutido en la presente memoria. Sin embargo, debe reconocerse que las nanoestructuras, incluidos los nanotubos, pueden formarse a partir de otros materiales, incluidos, por ejemplo, nitruro de boro, sulfuro de tungsteno, óxido de vanadio y nitruro de boro y carbono mediante procedimientos catalíticos similares al descrito anteriormente. Por consiguiente, la presente invención también incluye conductores híbridos y otros conductores híbridos de nanoestructura y nanoestructuras prismáticas formadas a partir de materiales inorgánicos tales como óxido de vanadio y nitruro de boro, y de carbono junto con otros elementos, tales como nitruro

de carbono y boro. En una realización, la presente invención incluye el procedimiento para hacer materiales nanoestructurados híbridos relacionados y las aplicaciones estructurales, térmicas y eléctricas descritas anteriormente.

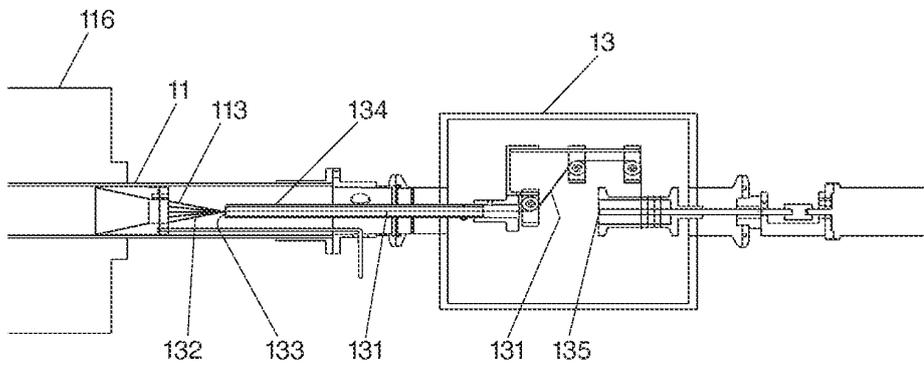
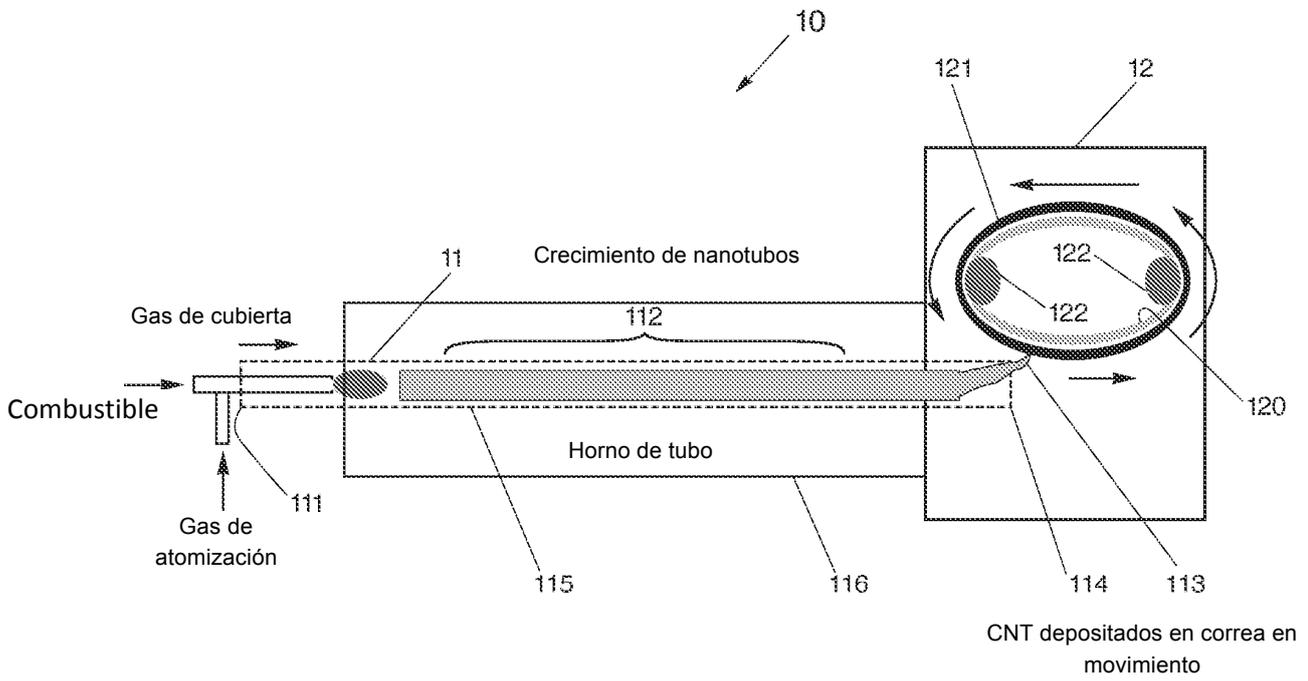
5 En una realización, puede producirse un devanado de baja corriente de Foucault, de baja resistencia para un solenoide de alta frecuencia que incorpora una realización de un conductor híbrido como se describe en la presente memoria. En otra realización, se puede producir un devanado para un transformador de alta frecuencia que incorpora una realización de un conductor híbrido como se describe en la presente memoria. En algunas realizaciones, pueden producirse un conductor de calor, una baja corriente de Foucault, un devanado de baja resistencia para un motor eléctrico y una baja corriente de Foucault, un devanado de baja resistencia para un solenoide, cada uno capaz de
10 incorporar una realización de un conductor híbrido como se describe en la presente memoria.

En algunas realizaciones, las realizaciones de conductor híbrido descritas en la presente memoria pueden incorporarse como devanados en forma de solenoide o para generadores y motores. Debido a que se pueden utilizar nanoestructuras, los conductores híbridos pueden ser más eficientes eléctricamente porque sus propiedades no cambian sustancialmente con la temperatura. Además, los conductores híbridos de nanoestructura pueden ayudar a
15 minimizar las corrientes de Foucault permitiendo que se incorporen bobinados solenoides de alta velocidad o alta frecuencia en los sistemas de inyección de combustible, entre otros sistemas eléctricos y térmicos.

Un experto en la materia apreciará que los ahorros de peso o densidad de los conductores híbridos de nanotubos de carbono pueden aplicarse a otros conductores eléctricos o térmicos convencionales, incluidos, entre otros, alambres eléctricos, fibra óptica, alambres de cables, entre otros.

REIVINDICACIONES

1. Un conductor híbrido que comprende:
 - una pluralidad de nanotubos, teniendo cada uno una superficie;
 - un hilo (502) que tiene un perfil geométrico definido por la pluralidad de nanotubos y
- 5 una capa de material (504) conductor colocada circunferencialmente alrededor del hilo de manera que el hilo (502) esté sustancialmente encapsulado por el material conductor,
 - en donde el material (504) conductor está en contacto con menos de la superficie total de la pluralidad de nanotubos, en donde la combinación del material (504) conductor y la pluralidad de nanotubos mejora la conductividad mientras disminuye la resistividad a lo largo del hilo (502),
- 10 en donde el material (504) conductor comprende uno de cobre, aluminio, titanio, platino, níquel, oro, plata, cobre recubierto de plata, cadmio, níquel, estaño, bismuto, arsénico, aleaciones de estos metales, boro, nitruro de boro, carbono vítreo, cerámica, compuestos de silicio, arsénico de galio o una combinación de los mismos.
2. El conductor híbrido como se expone en la reivindicación 1, en donde Los nanotubos están hechos de uno de carbono, cobre, plata, boro, nitruro de boro o una combinación de los mismos.
- 15 3. El conductor híbrido como se expone en la reivindicación 1, en donde la pluralidad de nanotubos se dopa en una solución que tiene una de sal de fluoruro, sal de cloruro, sal de bromuro, sal de yodato, sal de nitrato, sal de sulfato o una combinación de los mismos.
4. El conductor híbrido como se expone en la reivindicación 1, el hilo incluye una pluralidad de hilos.
5. Un conductor de calor que comprende el conductor híbrido como se expone en la reivindicación 1.
- 20 6. Un devanado de baja corriente de Foucault y baja resistencia para un motor eléctrico o para un solenoide que comprende el conductor híbrido como se establece en la reivindicación 1.
7. Un método que comprende:
 - proporcionar una pluralidad de nanotubos, teniendo cada uno con una superficie;
 - generar un hilo (502) que tenga un perfil geométrico definido por la pluralidad de nanotubos y
- 25 recubrir o depositar una capa de material (504) conductor circunferencialmente alrededor del hilo (502) de modo que el hilo (502) esté sustancialmente encapsulado por el material conductor, en donde el material (504) conductor está en contacto con menos de la superficie total de la pluralidad de nanotubos y en donde la combinación del material (504) conductor y la pluralidad de nanotubos mejora la conductividad mientras disminuye la resistividad a lo largo del hilo (502),
- 30 en donde, en el paso de recubrimiento o depósito, el material (504) conductor incluye uno de cobre, aluminio, titanio, platino, níquel, oro, plata, cobre recubierto de plata, cadmio, níquel, estaño, bismuto, arsénico, aleaciones de estos metales, boro, nitruro de boro, carbono vítreo, cerámica, compuestos de silicio, arsénico de galio o una combinación de los mismos.
8. El método según la reivindicación 7, en el que, en el paso de proporción, los nanotubos se producen a partir de uno de carbono, cobre, plata, boro, boro-nitruro o una combinación de los mismos.
- 35 9. El método según la reivindicación 7, que comprende además, concomitante al paso de producción, dopar la pluralidad de nanoestructuras en una solución que tiene una de sal de fluoruro, sal de cloruro, sal de bromuro, sal de yodato, sal de nitrato, sal de sulfato o una combinación de las mismas.
10. El método según la reivindicación 7, en el que el hilo (502) incluye una pluralidad de hilos.



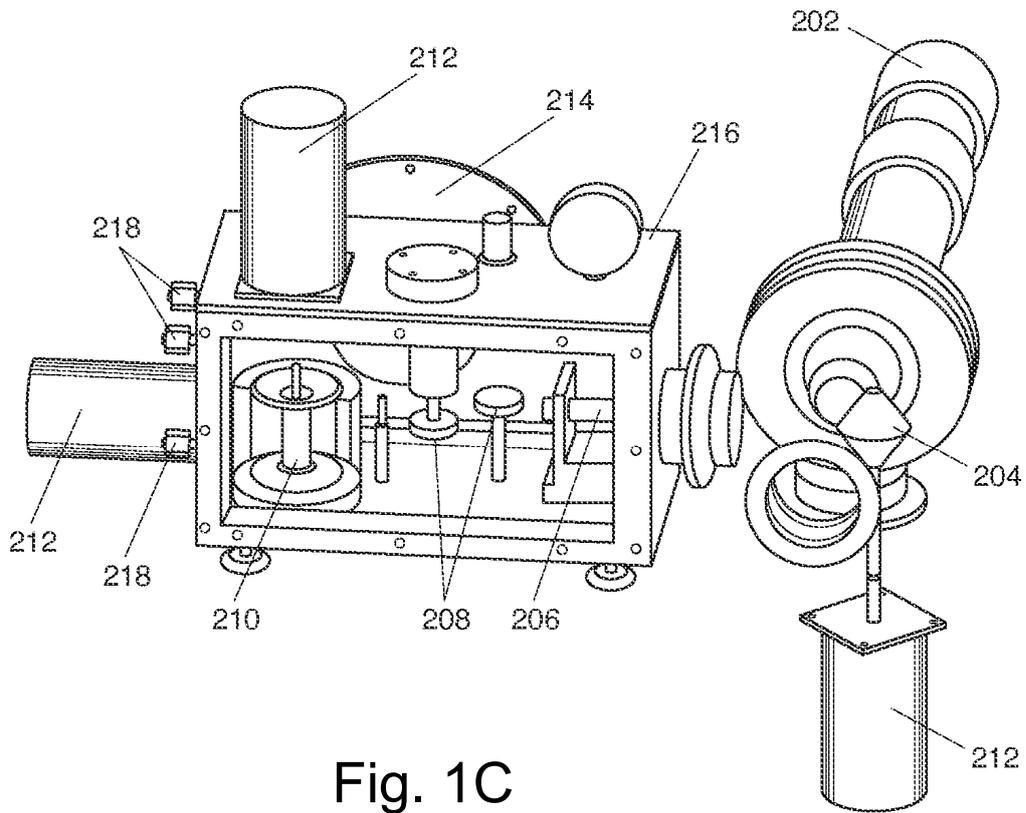


Fig. 1C

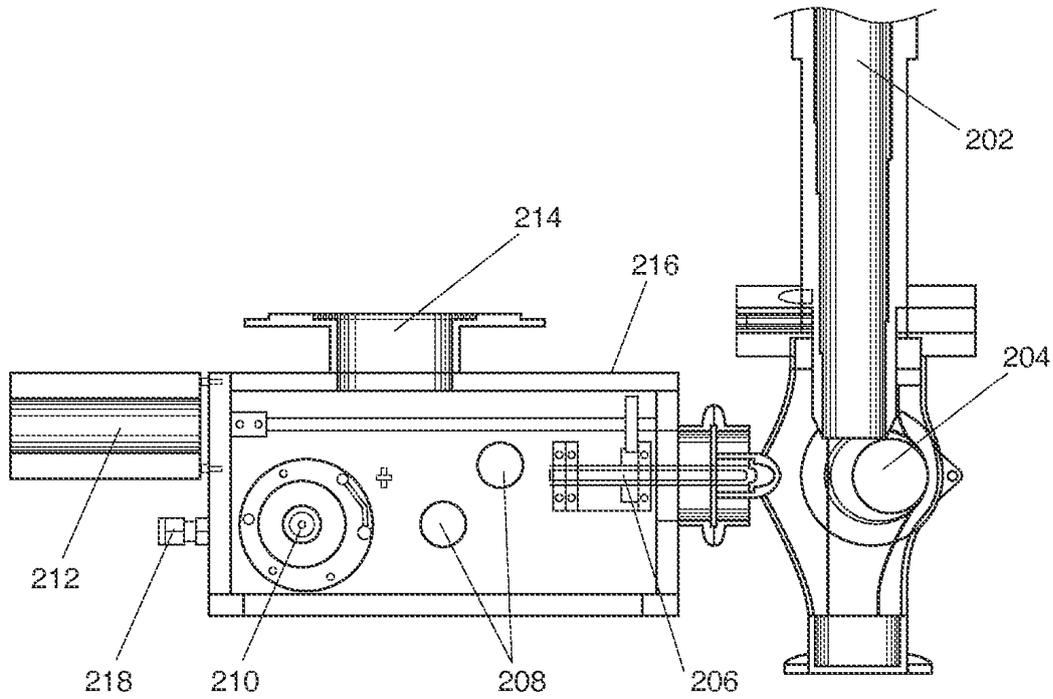


Fig. 1D

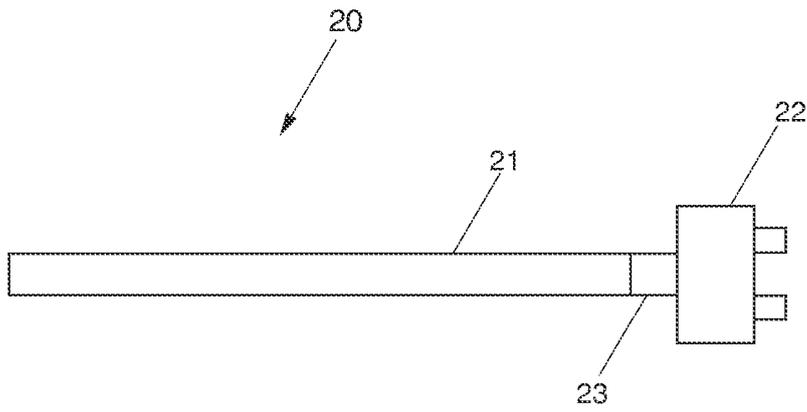


Fig. 2

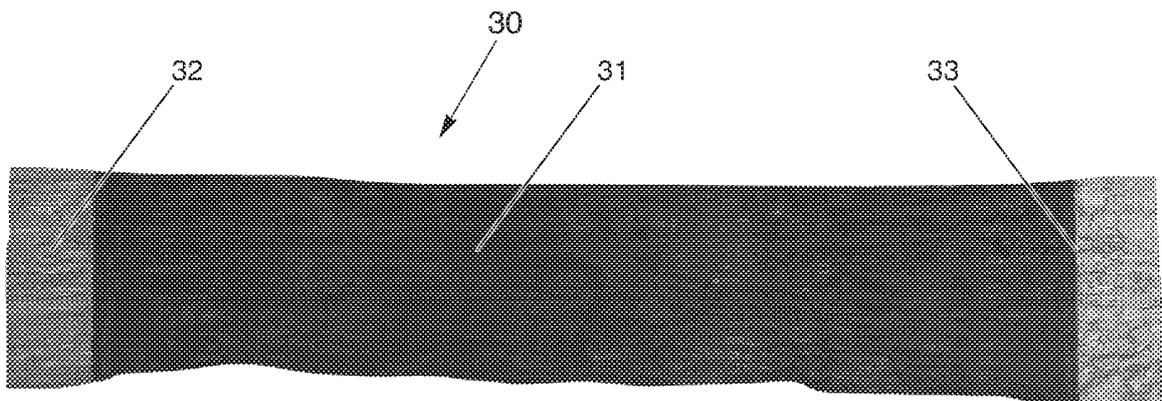


Fig. 3

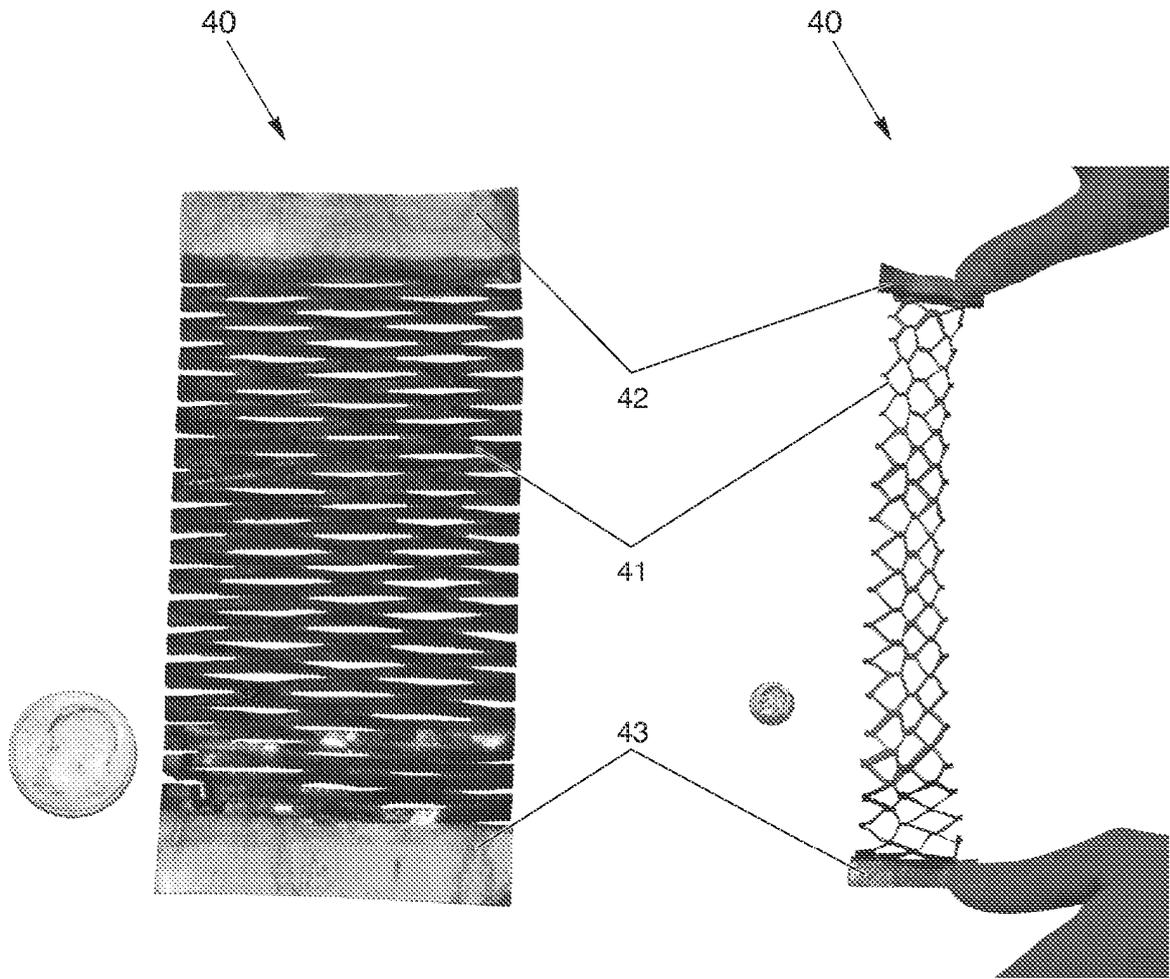


Fig. 4A

Fig. 4B

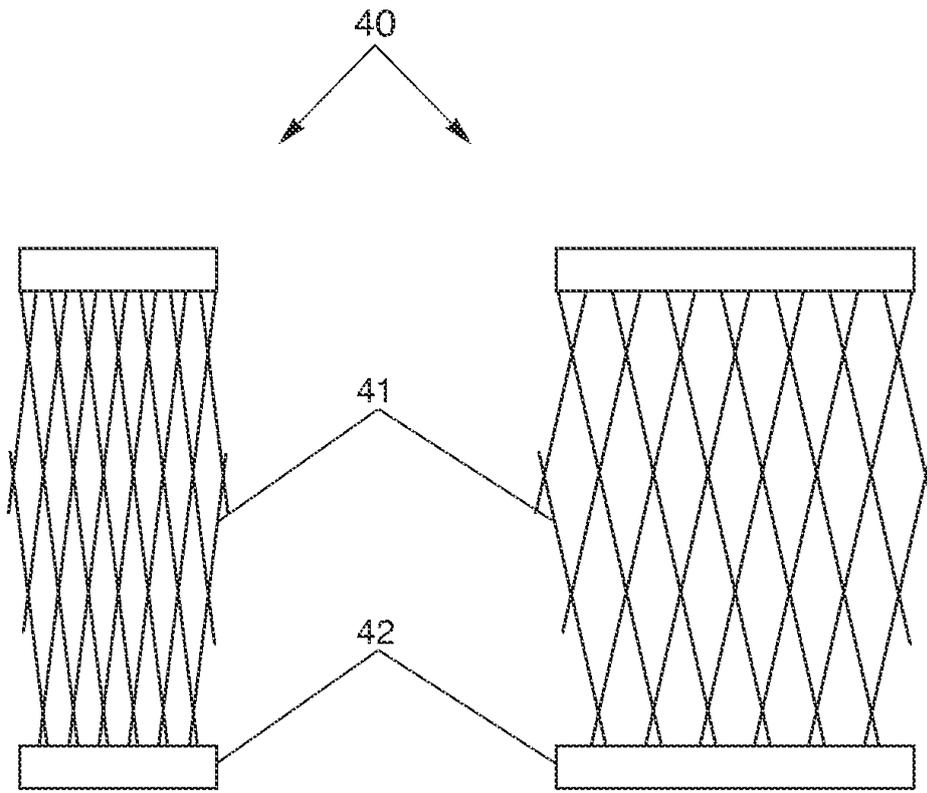


Fig. 4C

Fig. 4D

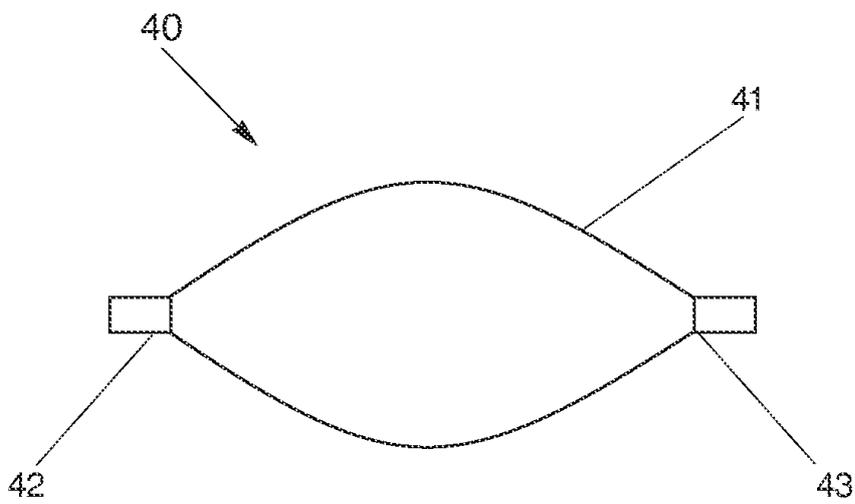


Fig. 4E

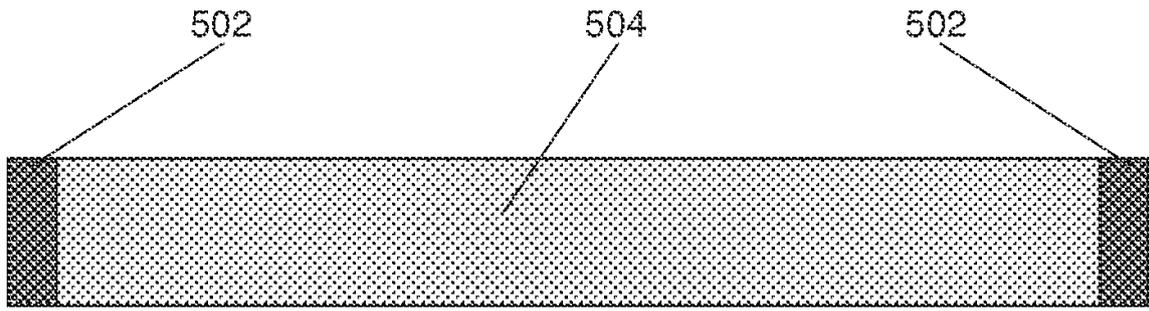


Fig. 5A

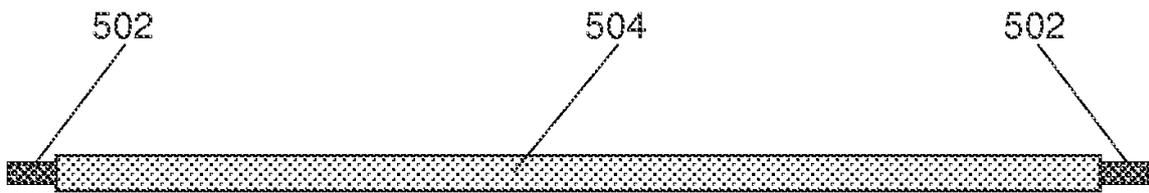


Fig. 5B

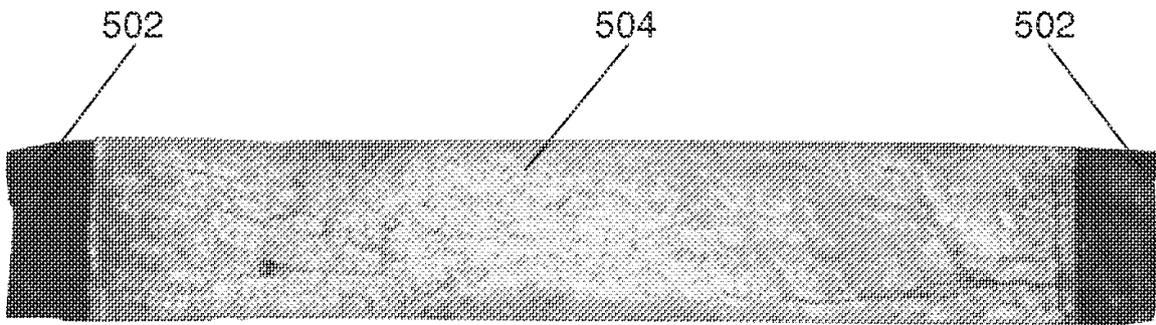
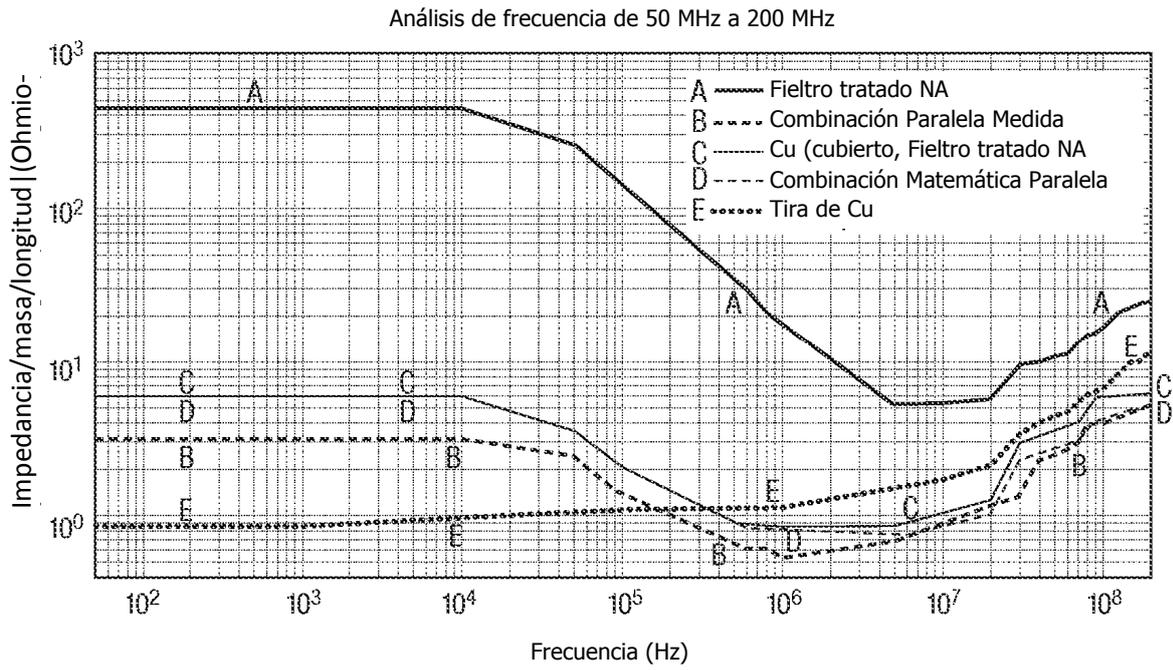


Fig. 5C



DIMENSIONES DE LA MUESTRA

Filtro tratado con NA:	Filtro tratado con Cu:	Tira de Cu:
Longitud = 10 cm	Longitud = 9,8 cm	Longitud = 18,3 cm
Ancho = 0,9 cm	Ancho = 1 cm	Ancho = 3,3 mm
Espesor = 28 μ m	Espesor = 106 μ m	Espesor = 50 μ m
Masa = 0,03564 g	Masa = 0,11465 g	Masa = 0,29703 g

Fig. 6

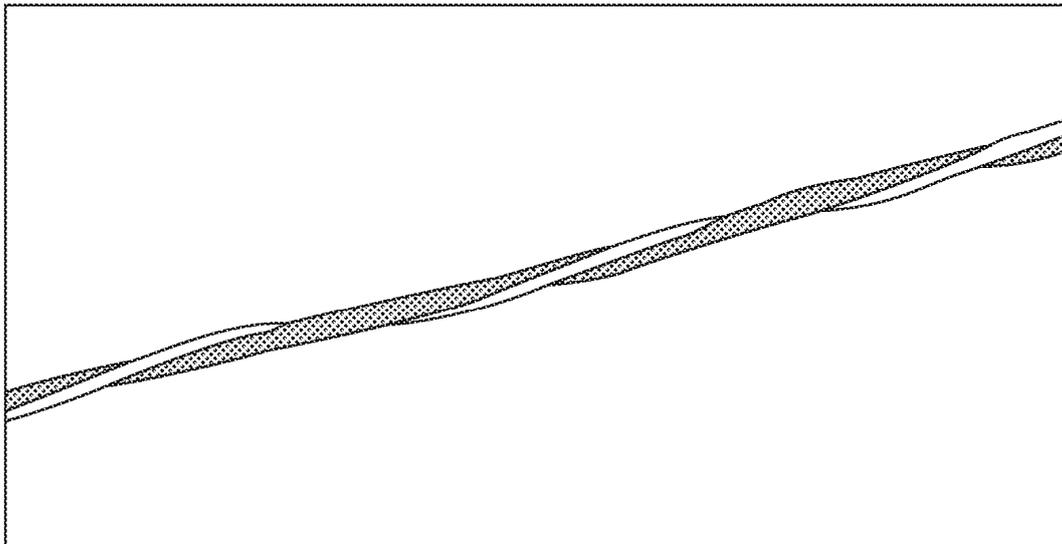


Fig. 7

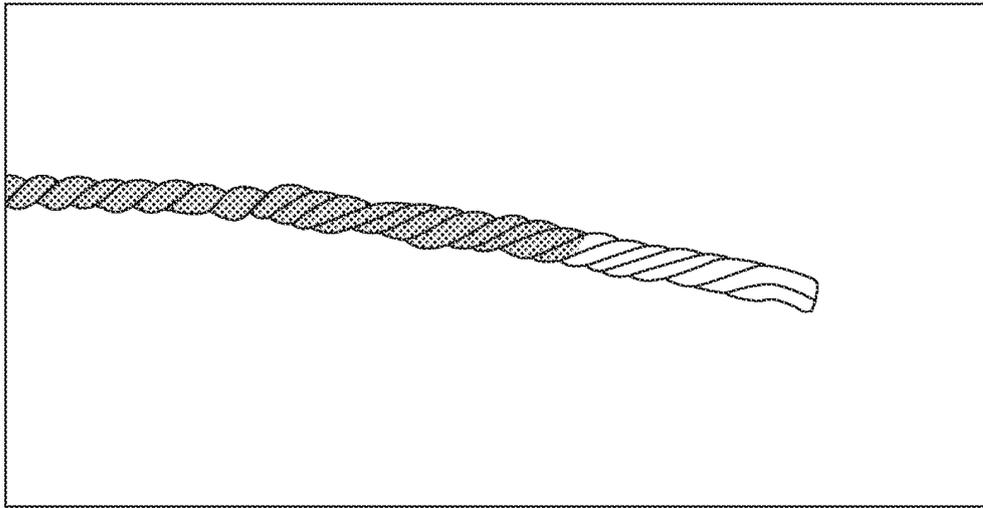


Fig. 8

Conductividad específica frente a frecuencia de 50 MHz a 200 MHz

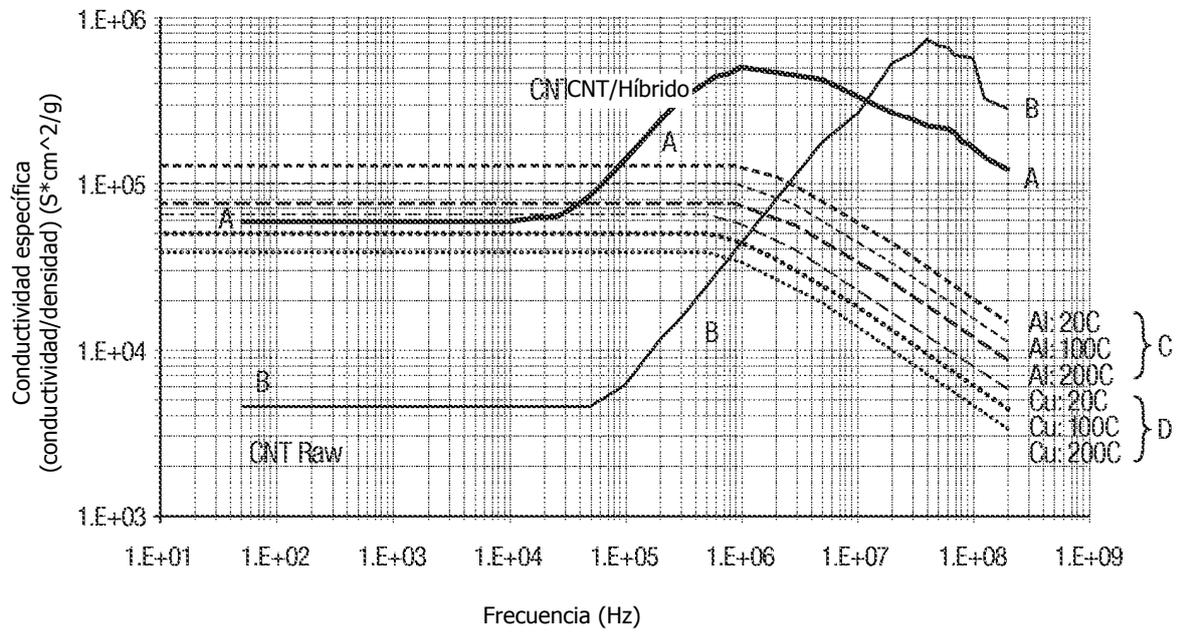


Fig. 9

Respuesta de frecuencia de un filtro tratado con ácido en el intervalo de 50 MHz a 200 MHz

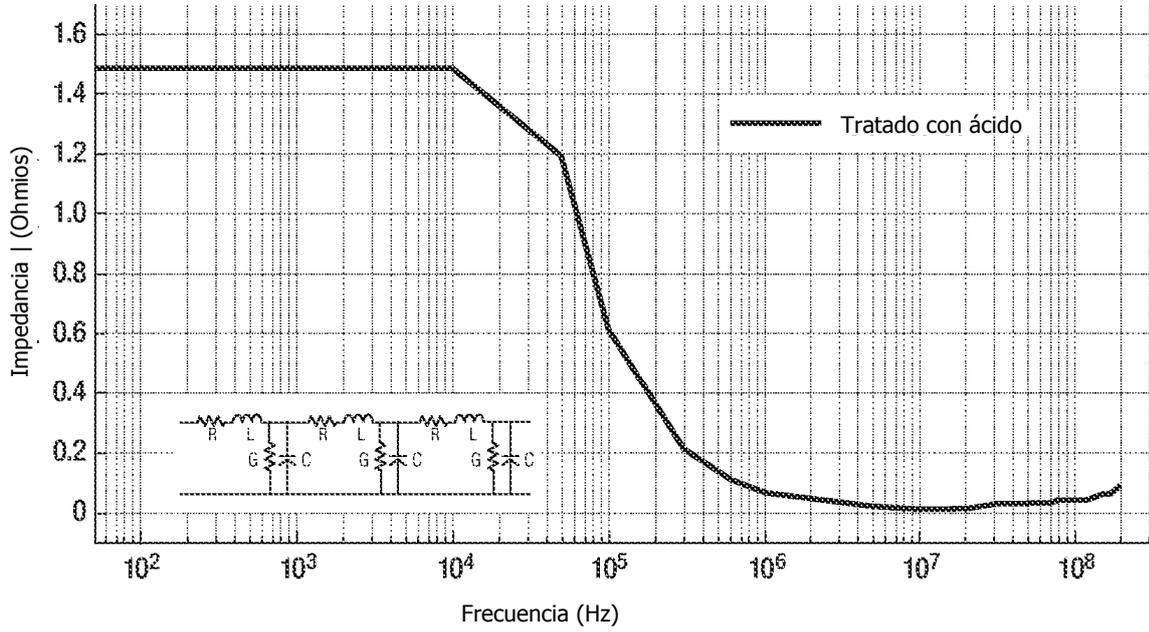


Fig. 10

Área = 0,889 mm², Longitud = 100 mm. Modelo de lámina delgada CNT, lámina delgada de Cu y alambre de Cu.

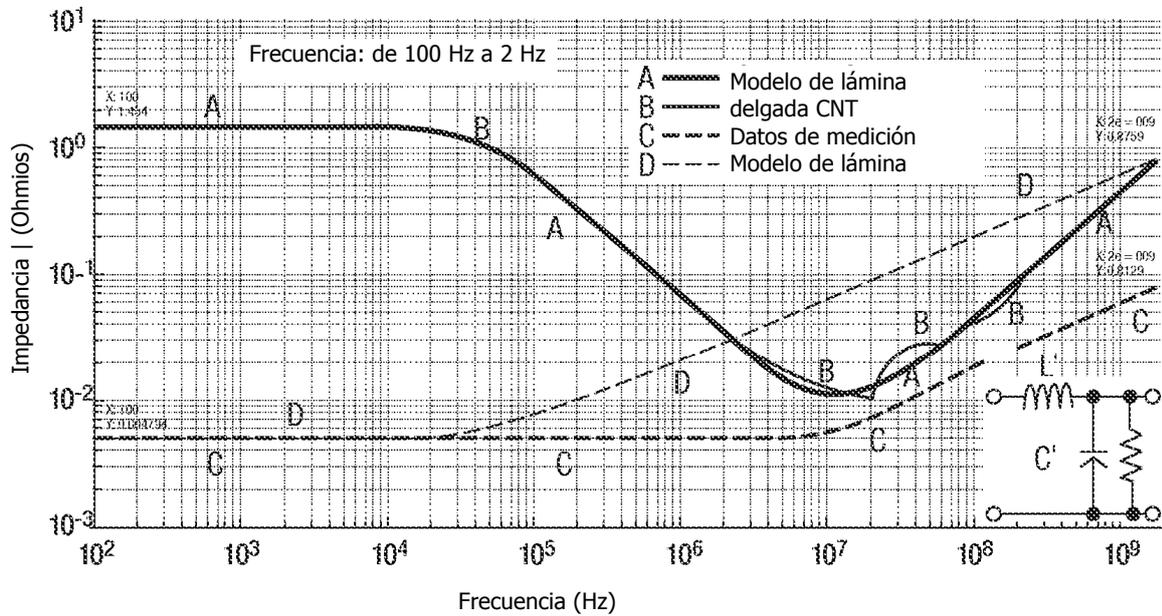


Fig. 11

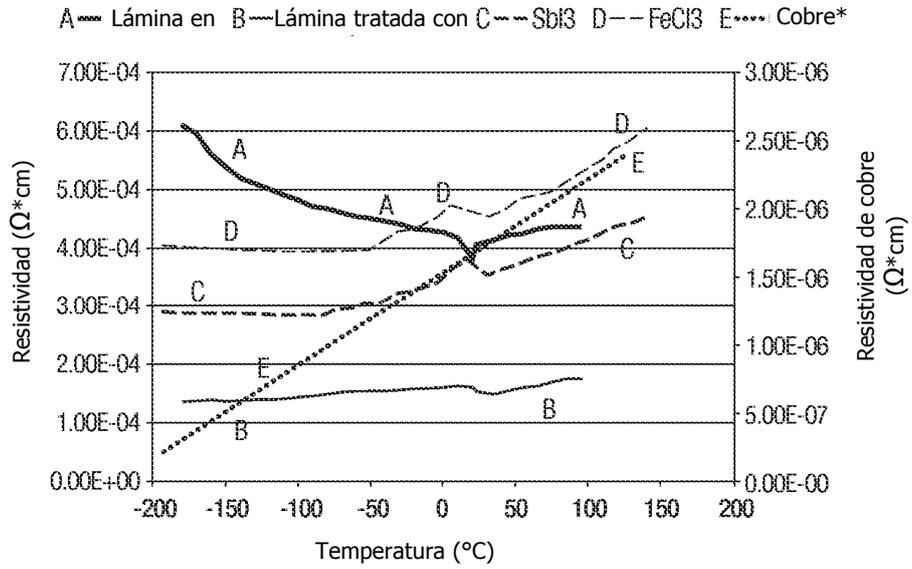


Fig. 12

Resistencia frente a frecuencia para una tira de cobre, fieltro recubierto de cobre, fieltro CNT bruto y un modelo de cobre

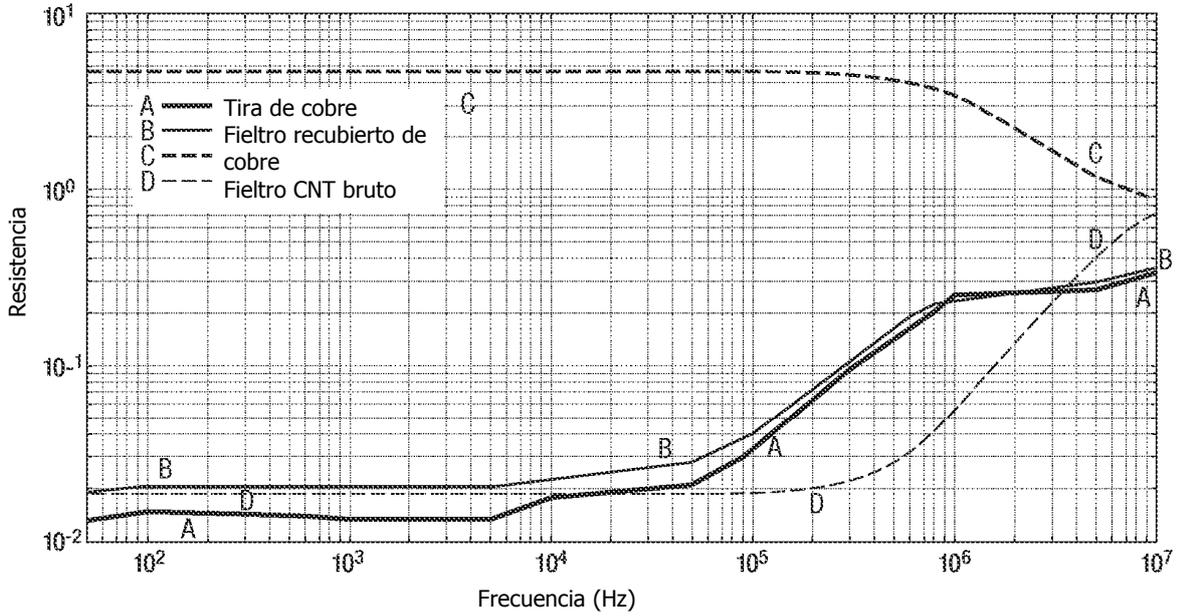


Fig. 13

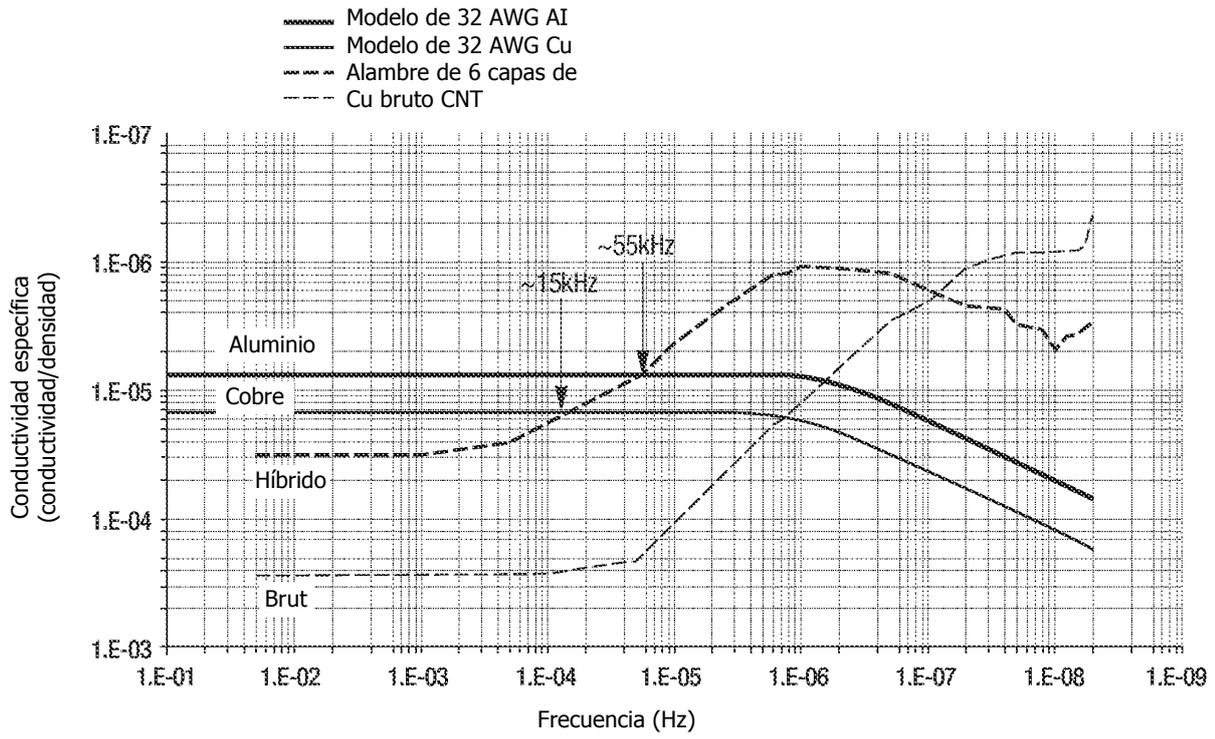


Fig. 14