

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 377**

51 Int. Cl.:

C01B 32/168 (2007.01)

B32B 7/12 (2006.01)

B32B 5/02 (2006.01)

B82Y 30/00 (2011.01)

F28F 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.01.2012 PCT/US2012/020194**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2012 WO12094398**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.01.2012 E 12732279 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 2661369**

54 Título: **Aislantes térmicos basados en nanotubos, su uso y método de aislamiento térmico**

30 Prioridad:

04.01.2011 US 201161429680 P

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

31.07.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LASHMORE, DAVID S. y
LEWIS, DIANA**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 721 377 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

Aislantes térmicos basados en nanotubos, su uso y método de aislamiento térmico.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a los aislantes y, más particularmente, a aislantes fabricados a partir de una pluralidad de láminas de nanotubos de carbono (CNT) posicionadas una encima de la otra, y diseñadas para promover propiedades de aislamiento térmico mejoradas, entre otras cosas.

10

Técnica anterior

Durante los últimos quince (15) años, dado que las propiedades de nanotubos de carbono se han comprendido mejor, 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 usarse industrialmente. Por ejemplo, pueden ser necesarias grandes cantidades de nanotubos de carbono si van a usarse como componentes de alta resistencia de los CNT en estructuras tridimensionales a macroescala (es decir, estructuras que tienen dimensiones mayores que aproximadamente 1 cm).

15

20

Se sabe que los nanotubos de carbono tienen una extraordinaria resistencia a la tracción, que incluye la alta deformación hasta el fallo y módulo de tracción relativamente alto. Los nanotubos de carbono también pueden ser altamente eléctricos y térmicamente conductores mientras que son resistentes a la fatiga, al daño por radiación y al calor. Por ejemplo, los nanotubos de carbono pueden ser buenos conductores térmicos a lo largo del tubo, donde cada tubo individual puede tener conductividades térmicas que posiblemente superan los 2000 W/m·K. Sin embargo, esta conductividad es anisotrópica, exhibe propiedades con diferentes valores cuando se mide en diferentes direcciones y se reduce dramáticamente cuando se usa un conjunto grande de tubos en una lámina o estera.

25

En consecuencia, sería conveniente proporcionar un material que pueda aprovechar las características y propiedades de los nanotubos de carbono, de manera que los dispositivos eficientes y livianos, tales como blindaje y/o aislantes térmicos, puedan fabricarse de manera rentable.

30

Resumen de la invención

La presente invención presenta, en un aspecto, un aislante fabricado a partir de nanotubos. El aislante incluye una pluralidad de láminas de nanotubos de carbono (CNT) apiladas una encima de la otra. Las láminas de CNT pueden ser láminas de CNT no tejidas o tejidas a partir de una pluralidad de hilos de CNT. En algunas modalidades, cada lámina de CNT puede definirse por una pluralidad de nanotubos de carbono no tejidos, y/o una pluralidad de capas de nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono, en una modalidad, pueden configurarse para mantener o aumentar la conductividad térmica en el plano mientras que minimiza la conductividad térmica normal al plano. En algunas modalidades, los nanotubos de carbono pueden alinearse sustancialmente en el plano para mantener la conductividad térmica en el plano en una dirección. En el aislante de la presente invención, cada lámina de CNT incluye un dopante para disminuir la conductividad térmica normal al plano. El dopante se selecciona a partir de boro (por ejemplo, aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5 % por ciento en peso), o aproximadamente 2 % por ciento en peso), carbono 13, un material de CNT irradiado, o una de sus combinaciones. Además, una pluralidad de separadores pueden situarse entre las láminas de CNT adyacentes para reducir el contacto entre capas de nanotubos de carbono, a fin de minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano. Los separadores, en algunas modalidades, pueden ser puntos de alúmina o de cerámica rociados entre las láminas de CNT adyacentes, una pluralidad de orificios en cada lámina de CNT, una capa porosa de material no metálico que tiene mala conductividad térmica y posicionada entre las láminas de CNT adyacentes, una textura en cada lámina de CNT para definir una superficie rugosa que tiene picos y valles en la misma para minimizar el contacto superficial entre las láminas de CNT adyacentes, o cualquiera de sus combinaciones. El aislante de la presente invención se define en la reivindicación 1.

35

40

45

50

En otro aspecto, la presente invención proporciona un proceso para fabricar un aislante. El proceso de la presente invención se define en la reivindicación 10. En una modalidad, el proceso incluye: (1) proporcionar una lámina que tiene una pluralidad de nanotubos; (2) cuando se desee, procesar la lámina de nanotubos para alinear sustancialmente la pluralidad de nanotubos dentro de la lámina, para mantener la conductividad térmica en el plano mientras que minimiza la conductividad térmica normal al plano y proporcionar una anisotropía a la conductividad térmica en el plano; (3) posicionar un separador entre las láminas de nanotubos adyacentes, para minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano.

55

60

La presente invención, en aún otro aspecto, presenta el uso del material de nanotubos como un aislante térmico que posee propiedades multifuncionales tales como blindaje EMI, protección EMP, blindaje ESD, conducción eléctrica, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión junto con las propiedades térmicas deseadas. El uso del material aislante de la presente invención se define en la reivindicación 14.

65

Estas y otras características y ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción tomada junto con los dibujos acompañantes, en donde los caracteres de referencia similares denotan las partes correspondientes a lo largo de las distintas vistas.

5 Breve descripción de los dibujos

Las Figuras 1A-1B ilustran una lámina de nanotubos de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 2 ilustra un aislante basado en nanotubos de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

10 La Figura 3 ilustra un sistema para fabricar nanotubos y láminas de nanotubos, de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Las Figuras 4A-4D ilustran un sistema de la presente invención para la formación y recolección de nanotubos.

La Figura 5 ilustra una sección transversal de un aislante basado en nanos fabricado de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

15 La Figura 6 ilustra la conductividad de las láminas de nanotubos en relación con la temperatura de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 7 ilustra un aislante en capas de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 8 ilustra una vista en sección transversal de un aislante en capas de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

20 La Figura 9 ilustra una vista en sección transversal de un aislante en capas de acuerdo con otra modalidad de la presente invención.

La Figura 10 ilustra una imagen térmica de un aislante en capas de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Descripción detallada de las modalidades específicas

25 La presente invención se refiere a un aislante fabricado a partir de nanotubos. El aislante incluye una pluralidad de láminas de nanotubos de carbono (CNT) apiladas o en capas una encima de la otra. El aislante de CNT posee propiedades multifuncionales que pueden promover el aislamiento térmico, blindaje EMI, EMP, EDS y absorción óptica, entre otras cosas. Cada lámina de CNT se define por una pluralidad de nanotubos de carbono configurados para minimizar la conductividad térmica normal al plano a través de la lámina de CNT. Un separador se sitúa entre las láminas de CNT adyacentes para minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano.

35 Actualmente, existen múltiples procesos y variaciones de los mismos para el cultivo de nanotubos y la formación de láminas de CNT, hilos o estructuras de cable. Estos incluyen: (1) Deposición química de vapor (CVD), un proceso común que puede producirse cerca de la temperatura ambiente o a altas presiones, y a temperaturas por encima de aproximadamente 400 °C, (2) Descarga de arco, un proceso de alta temperatura que puede dar lugar a tubos que tienen un alto grado de perfección, (3) Ablación con láser y cultivo forestal en un sustrato. Cualquiera de estos métodos puede usarse para la formación de los CNT que pueden procesarse posteriormente en una lámina o textil no tejido (por ejemplo, papel Bucky o láminas de CNT fabricadas directamente a partir del reactor de CVD).

40 La presente invención, en una modalidad, emplea un proceso de CVD o procedimientos similares de pirólisis de fase gaseosa para generar los materiales de tipo lámina apropiados fabricados a partir de nanoestructuras basadas en carbono, que incluyen nanotubos de carbono. Pueden cultivarse nanotubos de carbono, que incluyen pared simple (SWNT), pared doble (DWNT) y pared múltiple (MWNT), en una modalidad de la presente invención, mediante la exposición de partículas catalizadoras nanoescaladas en presencia de gases reactivos que contienen carbono (es decir, fuente de carbono gaseoso a temperaturas elevadas). En particular, las partículas catalizadoras nanoescaladas pueden introducirse en los gases reactivos que contienen carbono, ya sea mediante la adición de partículas existentes o mediante la síntesis in situ de las partículas de un precursor metal-orgánico, o incluso catalizadores no metálicos. Aunque pueden cultivarse SWNT, DWNT y MWNT, en ciertos casos, los SWNT pueden seleccionarse debido a su velocidad de cultivo relativamente mayor y su tendencia a formar estructuras similares a cuerdas, que pueden ofrecer ventajas en el manejo, conductividad térmica, propiedades electrónicas y resistencia. En otros casos, los DWNT o los MWCNT pueden cultivarse para obtener propiedades térmicas que son ventajosas para aplicaciones térmicas, tales como los aislantes.

55 La resistencia de los nanotubos generados en relación con la presente invención puede ser de aproximadamente 30 GPa o más. La resistencia, como debe señalarse, es generalmente sensible a los defectos. Sin embargo, el módulo elástico de los nanotubos de carbono fabricados de acuerdo con una modalidad de la presente invención puede no ser sensible a los defectos y puede variar de aproximadamente 1 a aproximadamente 1,2 TPa. Además, la deformación hasta el fallo, que generalmente puede ser un parámetro sensible a la estructura, puede variar de aproximadamente 10 % a aproximadamente 25 % para los nanotubos de carbono usados en la presente invención.

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

65 En varias modalidades, los materiales fabricados a partir de nanotubos de la presente invención pueden representar un avance significativo sobre el cobre y otros miembros conductores metálicos, ya que tales materiales son conductores de calor isotrópicos. Además, las láminas de CNT fabricadas de acuerdo con una modalidad de la presente invención pueden

ser un buen aislante térmico en una dirección normal (por ejemplo, transversal) al plano de la lámina de CNT, mientras que es un buen conductor térmico en el plano de la lámina de CNT. Puede introducirse una anisotropía adicional dentro del plano mediante el estiramiento de las láminas. Sin querer limitarse a la teoría, el transporte de calor para un nanotubo de carbono puede basarse principalmente en fonones a ciertas temperaturas. Cuando los nanotubos de carbono se forman en una lámina grande, los fonones necesitan transportarse a través de todos los puntos de contacto físico o puntos entre los tubos. Por lo tanto, el transporte de calor total puede reducirse si muchos de los tubos o conjuntos de tubos no se alinean sustancialmente en la dirección del flujo de calor y algunos tubos adyacentes no tienen contactos físicos. Como tal, el aislante de CNT de la presente invención puede usarse como aislante térmico, mientras que es conductor en el plano y sustancialmente inmune al daño mecánico.

Mirando ahora a las Figuras 1A-B, la presente invención proporciona, en una modalidad, un aislante de CNT 10 fabricado a partir de una lámina de CNT nanoestructurada 12. El aislante de CNT 10 puede diseñarse para minimizar la conductividad térmica a través de la lámina de CNT 12, es decir, en una dirección normal a la lámina de CNT 12, mientras que, en la medida deseada, se permite la conductividad térmica a lo largo de la longitud de la lámina de CNT 12, es decir, dentro del plano de la lámina de CNT 12. Como se muestra en la Figura 1A, el aislante de CNT 10 puede incluir un cuerpo sustancialmente plano en forma de una sola lámina de CNT 12. La lámina 12 puede, en una modalidad, ser de una sola capa de nanotubos de carbono no tejidos 14, o alternativamente ser de múltiples capas 51 de nanotubos no tejidos (ver la Figura 5). En otra modalidad, como se muestra en la Figura 2, el aislante de CNT 10 puede incluir una pluralidad de láminas de CNT 12 en capas o apiladas una encima de la otra. En algunas modalidades, el aislante de CNT 10 puede incluir separadores y/o diseños de texturización entre las láminas adyacentes 12 para minimizar el contacto lámina a lámina.

De acuerdo con una modalidad de la presente invención, algunas o todas las láminas de CNT 12 usadas en la formación del aislante de CNT 10 pueden procesarse (por ejemplo, doparse) para contener un dopante. Un dopante puede ser cualquier material que pueda causar la dispersión del fonón, a fin de disminuir el transporte térmico. Los dopantes adecuados incluyen, por ejemplo, boro, carbono 13, materiales de CNT irradiados, o cualquiera de sus combinaciones. También pueden aplicarse otros métodos de modificación y/o formación en capas postproducción para modificar la conductividad térmica del aislante de CNT. Por ejemplo, la pluralidad de nanotubos de carbono 14 puede configurarse física y/o químicamente para aumentar la conductividad térmica en el plano y para disminuir la conductividad térmica normal al plano. En algunas modalidades, puede introducirse una pluralidad de espacios entre las láminas de CNT adyacentes 12 para reducir los contactos térmicos entre capas, lo que reduce de esta manera la conductividad térmica normal al plano.

Se debe señalar que aunque se hace referencia en toda la solicitud a los nanotubos sintetizados a partir de carbono, otro(s) compuesto(s) tal como boro, MoS₂, WS₂, NS₂ o una de sus combinaciones puede usarse 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, se debe señalar que el boro también puede usarse para reducir la resistividad en nanotubos de carbono individuales a temperaturas más altas. Además, otros métodos, tales como CVD por plasma o similares, también pueden usarse para fabricar los nanotubos de la presente invención.

Sistema para la fabricación de láminas

Con referencia ahora a la Figura 3, se ilustra un sistema 30, similar al descrito en patente de Estados Unidos núm. 7,993,620 (incorporada en la presente descripción como referencia), para usar en la fabricación de nanotubos. El sistema 30, en una modalidad, puede incluir una cámara de síntesis 31. La cámara de síntesis 31, en general, incluye un extremo de entrada 311, en el que pueden suministrarse gases de reacción (es decir, fuente de carbono gaseoso), una zona caliente 312, donde puede producirse la síntesis de los nanotubos 313, y un extremo de salida 314 desde el cual los productos de la reacción, específicamente, una nube de nanotubos y gases de escape, pueden salir y recolectarse. La cámara de síntesis 31, en una modalidad, puede incluir un tubo de cuarzo, un tubo de cerámica o un tubo de FeCrAl 315 que se extiende a través de un horno 316. Los nanotubos generados por el sistema 30, en una modalidad, pueden ser nanotubos individuales de pared simple, conjuntos de tales nanotubos y/o nanotubos de pared simple entremezclados o entrelazados, todos los cuales pueden denominarse de aquí en adelante como "no tejidos".

El sistema 30, en una modalidad de la presente invención, también puede incluir un alojamiento 32 diseñado para ser sustancialmente hermético a los fluidos (por ejemplo, gas, aire, etcétera), para minimizar la liberación de partículas transportadas por el aire potencialmente peligrosas desde dentro de la cámara de síntesis 31 hacia el entorno. El alojamiento 32 también puede actuar para evitar que el oxígeno ingrese al sistema 30 y llegue a la cámara de síntesis 31. En particular, la presencia de oxígeno dentro de la cámara de síntesis 31 puede afectar la integridad y puede comprometer la producción de los nanotubos 313.

El sistema 30 también puede incluir una cinta móvil 320, posicionada dentro del alojamiento 32, diseñada para recoger los nanotubos sintetizados 313 generados dentro de la cámara de síntesis 31 del sistema 30. En particular, la cinta 320 puede usarse para permitir que los nanotubos recogidos en la misma formen subsecuentemente una estructura extensible sustancialmente continua 321, por ejemplo, una lámina de CNT. Tal lámina de CNT puede generarse a partir de nanotubos no tejidos compactados, sustancialmente no alineados 313, con suficiente integridad estructural para manejarse como una lámina. La cinta 320, en una modalidad, puede diseñarse para que se traslade hacia delante y hacia atrás en una

dirección sustancialmente perpendicular al flujo de gas desde el extremo de salida 314, para aumentar el ancho de la lámina de CNT 321 que se recoge en la cinta 320.

Para recoger los nanotubos fabricados 313, la cinta 320 puede posicionarse adyacente al extremo de salida 314 de la cámara de síntesis 31 para permitir que los nanotubos se depositen en la cinta 320. En una modalidad, la cinta 320 puede posicionarse sustancialmente paralela al flujo de gas desde el extremo de salida 314, como se ilustra en la Figura 3. Alternativamente, la cinta 320 puede posicionarse sustancialmente perpendicular al flujo de gas desde el extremo de salida 314 y puede ser de naturaleza porosa para permitir que el flujo de gas que transporta los nanomateriales pase a través del mismo. En una modalidad, la cinta 320 puede diseñarse para que se traslade de lado a lado en una dirección sustancialmente perpendicular al flujo de gas desde el extremo de salida 314, para generar una lámina que sea sustancialmente más ancha que el extremo de salida 314. La cinta 320 también puede diseñarse como un lazo continuo, similar a una cinta transportadora convencional, de manera que la cinta 320 pueda girar continuamente alrededor de un eje, de manera que puedan depositarse múltiples capas de CNT en la cinta 320. Para ello, la cinta 320, en una modalidad, puede envolverse alrededor de los elementos giratorios opuestos 322 y puede accionarse por un dispositivo mecánico, tal como un motor eléctrico. Alternativamente, la cinta 320 puede ser un cilindro rígido, tal como el tambor que se muestra en la Figura 4B. En una modalidad, el dispositivo motor puede controlarse mediante el uso de un sistema de control, tal como un ordenador o microprocesador, de manera que la tensión y la velocidad puedan optimizarse. La deposición de múltiples capas de CNT en la formación de la lámina 321, de acuerdo con una modalidad de la presente invención, puede dar como resultado la minimización de los contactos entre capas entre los nanotubos. Específicamente, los nanotubos en cada capa distinta de la lámina 321 tienden a no extenderse hacia una capa adyacente de la lámina 321. Como resultado, la conductividad térmica normal al plano puede minimizarse a través de la lámina 321.

En varias modalidades, el sistema 30 también puede incluir un aplicador de presión, tal como un rodillo (no se muestra), situado en la cinta adyacente para aplicar una fuerza de compactación (es decir, presión) sobre los nanomateriales recogidos. En particular, a medida que los nanomateriales giran en la cinta 320 hacia el rodillo, los nanomateriales en la cinta 320 pueden forzarse para moverse debajo y contra el rodillo, de manera que pueda aplicarse presión a los nanomateriales entremezclados mientras los nanomateriales se compactan entre la cinta y rodillo en una lámina de CNT coherente sustancialmente unida 321. Para aumentar la presión contra los nanomateriales en la cinta 320, puede posicionarse una placa (no se muestra) detrás de la cinta 320 para proporcionar una superficie dura contra la cual puede aplicarse la presión del rodillo. Se debe señalar que el uso de un rodillo puede no ser necesario si los nanomateriales recogidos son abundantes y están suficientemente entremezclados, de manera que exista una cantidad adecuada de sitios de contacto para proporcionar la fuerza de unión necesaria para generar la lámina de CNT 321.

Para desacoplar la lámina de CNT 321 de nanomateriales no tejidos entremezclados de la cinta 320 para su posterior retiro del alojamiento 32, puede proporcionarse una cuchilla (no se muestra) adyacente al rodillo con su borde contra la superficie de la cinta 320. De esta manera, a medida que la lámina de CNT 321 gira sobre la cinta 320 más allá del rodillo, la cuchilla puede actuar para levantar la lámina de CNT 321 de la superficie de la cinta 320. En una modalidad alternativa, una cuchilla no tiene que estar en uso para retirar la lámina de CNT 321. Más bien, la remoción de la lámina de CNT puede ser manual o mediante otros métodos conocidos en la técnica.

Adicionalmente, puede proporcionarse un carrete (no se muestra) aguas abajo de la cuchilla, de manera que la lámina de CNT 321 desacoplada pueda dirigirse posteriormente sobre el mismo y enrollarse sobre el carrete para su recolección. Cuando la lámina de CNT 321 se enrolla alrededor del carrete, puede formarse una pluralidad de capas de láminas de CNT 321. Por supuesto, pueden usarse otros mecanismos, siempre que la lámina de CNT 321 pueda recogerse para retirarla del alojamiento 32 a partir de ahí. El carrete, como la cinta 320, puede accionarse, en una modalidad, por un accionamiento mecánico, tal como un motor eléctrico, de manera que su eje de rotación puede ser sustancialmente transversal a la dirección del movimiento de la lámina de CNT 321.

Con el fin de minimizar la unión de la lámina de CNT 321 a sí misma a medida que se enrolla alrededor del carrete, puede aplicarse un material de separación en un lado de la lámina de CNT 321 antes de que se enrolle la lámina alrededor del carrete. El material de separación para usar en relación con la presente invención puede ser una de varias láminas de metal o polímeros disponibles comercialmente que pueden suministrarse en un rollo continuo. Para ello, puede tirarse del material de separación junto con la lámina de CNT 321 sobre el carrete mientras se enrolla la lámina alrededor del carrete. Se debe señalar que el polímero que comprende el material de separación puede proporcionarse en una lámina, líquido o cualquier otra forma, siempre que pueda aplicarse a un lado de la lámina de CNT 321. Además, dado que los nanotubos entremezclados dentro de la lámina de CNT 321 pueden contener nanopartículas catalíticas de un material ferromagnético, tales como Fe, Co, Ni, etcétera, el material de separación, en una modalidad, puede ser un material no magnético, por ejemplo, conductor o de cualquier otra manera, para evitar que la lámina de CNT se pegue fuertemente al material de separación. En una modalidad alternativa, un material de separación puede no ser necesario.

Después que se genere la lámina de CNT 321, puede dejarse como una lámina de CNT o puede cortarse en segmentos más pequeños, tales como tiras. En una modalidad, puede usarse un láser para cortar la lámina de CNT 321 en tiras a medida que la cinta 320 o el tambor gira y/o se traslada simultáneamente. El haz láser puede, en una modalidad, situarse adyacente al alojamiento 32 de manera que el láser puede dirigirse a la lámina de CNT 321 cuando sale del alojamiento 32. Puede emplearse un ordenador o programa para controlar el funcionamiento del rayo láser y también el corte de la

tira. En una modalidad alternativa, cualquier medio mecánico u otro medio conocido en la técnica puede usarse para cortar la lámina de CNT 321 en tiras.

5 Un sistema adecuado para su uso de acuerdo con la presente invención se muestra en las Figuras 4A-4D. El aislante de CNT producido por tal sistema puede recogerse como una lámina no tejida en una cinta móvil 320 o tambor. Tal método de producción puede proporcionar, en una lámina de CNT, una pluralidad de nanotubos de carbono 14, que subsecuentemente pueden alinearse sustancialmente en el plano, como se describirá a continuación. Los nanotubos de carbono 14, en una modalidad, pueden depositarse en múltiples capas distintas 51 para formar una estructura o morfología multicapa en una sola lámina de CNT 12, como se muestra en la Figura 5. En algunas modalidades, la lámina de CNT puede tener una baja conductividad térmica normal al plano o a través del grosor, que puede resultar de la resistencia entre tubos.

15 En algunas modalidades, la conductividad térmica normal al plano o a través del grosor puede reducirse aún más mediante el uso de diversas modificaciones, que incluyen (pero sin limitarse a) el dopaje, el procesamiento postproducción y las láminas en capas. La fabricación de láminas a partir de CNT de múltiples paredes también puede reducir la conductividad térmica.

Dopaje para reducir la conductividad térmica.

20 Una estrategia para reducir la conductividad térmica través del plano de las láminas o hilos de nanotubos de la presente invención, en una modalidad, incluye introducir una cantidad de dopante (por ejemplo, átomos extraños) durante el proceso de cultivo de nanotubos (por ejemplo, dopaje in situ). En una modalidad, puede usarse una cantidad traza de dopante. Tal dopante puede sustituir al carbono usado para generar los nanotubos de carbono y disminuir la conductividad térmica entre tubos. Cualquier protocolo y dispositivos conocidos disponibles en la técnica pueden emplearse e incorporarse al proceso de cultivo de CNT de la presente invención. Por ejemplo, un dopante puede dispersarse entre los nanotubos mediante el uso de métodos conocidos. Los dopantes sustitutivos pueden incluir C13, un isótopo más grande de carbono o boro.

30 En una modalidad alternativa, también puede utilizarse el dopaje postcultivo de una lámina de nanotubos recogida. El dopaje postcultivo, en una modalidad, puede lograrse al calentar una muestra de nanotubos en un entorno N2 a aproximadamente 1500 °C hasta a aproximadamente 4 horas. Además, colocar el material de nanotubos de carbono sobre un crisol de B2O3 a estas temperaturas también puede permitir el dopaje con boro del material, que puede hacerse simultáneamente con N2 para crear nanotubos BxNyCz.

35 Los ejemplos de dopantes que pueden tener un efecto en la reducción de la conductividad en nanotubos individuales incluyen, pero no se limitan a, boro, nitrógeno, boro-nitrógeno, carbono 13, material irradiado u otros átomos extraños que pueden causar la dispersión del fonón. Los dopantes también pueden incluir ozono, potasio y otros metales alcalinos, y bromo.

40 En una modalidad, el dopaje con boro puede alterar las características de los nanotubos. Por ejemplo, el dopaje con boro puede introducir el comportamiento de tipo p en el nanotubo de tipo n inherentemente. En particular, se ha observado que el cultivo mediado por boro mediante el uso BF3/MeOH como fuente de boro tiene un efecto importante sobre las propiedades electrónicas de los nanotubos. Otras fuentes potenciales útiles para el dopaje con boro de los nanotubos incluyen, pero sin limitarse a, B(OCH3)3, B2H6 y BCl3.

45 Como se muestra en la Figura 6, el dopaje con 2 % de boro puede disminuir la conductividad térmica de la lámina de CNT, en comparación con otros tratamientos tales como etanol condensado, tratado con ácido, polietilenimina (PEI) dopada, tetraciano-p-quinodimetano (TCNQ) dopado, estirada en un 20 %, y tratada con 18,75 ppm C60. Se muestra la conductividad térmica (W/m-K, eje y) como una función de la temperatura (K, eje x). El aislante de lámina de CNT que contiene boro tiene un valor de conductividad térmica más bajo en diversos puntos de temperatura que los otros materiales probados.

Tratamientos de postproducción

55 Una vez que se genere una lámina de CNT, la lámina de CNT puede someterse a varios tratamientos para modificar sus propiedades para mejorar aún más la reducción de la conductividad térmica normal al plano. Las modificaciones postproducción, de acuerdo con una modalidad de la presente invención, pueden enfocarse en disminuir la cantidad de contactos de tubo través del plano y en aumentar la separación entre tubos (es decir, la separación entre nanotubos adyacentes) para producir conductividades térmicas normales al plano o a través del plano considerablemente más bajas. Las modificaciones adecuadas incluyen, pero sin limitarse a, la alineación en el plano de los CNT, polímero infiltración polímero, evolución del hidrógeno, compuesto de metal o cualquiera de sus combinaciones.

65 En una modalidad, la orientación de los nanotubos en la lámina de CNT puede modificarse para alinearse sustancialmente a lo largo de la longitud de la lámina de CNT. Por ejemplo, el estiramiento mecánico de la lámina, tira o material de fieltro similar a un material textil de CNT puede alinear los nanotubos de carbono en el plano de la lámina de CNT, para permitir la conductividad térmica en el plano. Sin embargo, el estiramiento también puede reducir la cantidad de trayectorias de

conducción a través del plano al disminuir la cantidad de puntos de contacto entre los nanotubos, a fin de reducir la conductividad térmica normal al plano o a través del plano.

5 El aislante de CNT de la presente invención, en una modalidad, también puede infundirse con polímeros. Por ejemplo, un polímero elegido apropiadamente puede penetrar dentro de los espacios entre los nanotubos individuales, interrumpiendo de esta manera los contactos entre tubos, para minimizar la conductividad térmica normal al plano. Los ejemplos de un polímero que puede usarse incluyen una molécula pequeña o una matriz polimérica (termoestable o termoplástica) que incluye, pero sin limitarse a, poliuretano, polietileno, poli(estireno butadieno), policloropreno, poli(alcohol de vinilo), poli(vinil pirrolidona), poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno), epoxi, poliureasilazano, bismaleimida, poliamida, poliimida, policarbonato, o cualquier monómero que incluye estireno, divinilbenceno, acrilato de metilo y acrilato de terc-butilo. El polímero puede suministrarse, en una modalidad, en forma líquida (por ejemplo, en un solvente). En otra modalidad, el polímero puede incluir partículas de polímero, que pueden ser difíciles de obtener en forma líquida.

15 En otra modalidad, la lámina, tira o fieltro de CNT puede tratarse en una solución de galvanoplastia para desarrollar hidrógeno dentro de la misma, creando vacíos o separaciones entre los tubos adyacentes que pueden disminuir la conductividad térmica en una dirección normal al plano. La lámina de nanotubos de carbono, en una modalidad, puede actuar como un electrodo de hidrógeno para el almacenamiento de átomos de hidrógeno y/o moléculas. Por ejemplo, puede haber absorción y/o adsorción de átomos de hidrógeno o moléculas de hidrógeno en los nanotubos de carbono. La solución de galvanoplastia puede ser cualquier solución adecuada generalmente conocida en la técnica, por ejemplo, cualquier solución alcalina. En un ejemplo, la electrólisis de una solución de hidróxido de potasio puede usarse para producir átomos de hidrógeno y/o moléculas que pueden absorberse por la lámina de CNT.

25 En una modalidad adicional, la composición de las láminas de CNT con pequeñas cantidades de metal también puede reducir la conductividad térmica en una dirección normal al plano. En una modalidad, el metal puede ser aluminio, níquel, oro, titanio o similares. El compuesto de metal puede hacerse de una sal (cualquier metal de transición, metal alcalino, o sal metálica alcalinotérrica o mezcla de los mismos, que incluye, pero sin limitarse a, hidróxido de níquel, hidróxido de cadmio, cloruro de níquel, cloruro de cobre, zincato de calcio ($\text{CaZn}_2(\text{OH})_6$)), u óxido metálico (cualquier metal de transición, metal alcalino u óxido de metal alcalinotérrico o una mezcla de los mismos, que incluyen, pero sin limitarse a, 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).

35 Por ejemplo, el aluminio o sus aleaciones puede usarse para crear una estructura de espuma en una superficie de la lámina de CNT y/o entre los nanotubos dentro de la lámina. La estructura de espuma, en una modalidad, puede combinarse con otros métodos para crear vacíos o separaciones (tales como infiltración de polímero y/o evolución del hidrógeno) para disminuir la conductividad térmica en una dirección normal al plano. En una modalidad, el metal puede incluir polímeros o solventes volátiles para crear una matriz metálica de nanotubos de carbono CNT. Los ejemplos de tal metal incluyen formas en polvo de aluminio o sus aleaciones, níquel, superaleaciones, cobre, plata, estaño, cobalto, hierro, aleaciones de hierro, o cualquier elemento que pueda producirse en una forma de polvo, que incluye aleaciones complejas binarias y ternarias o incluso superconductores.

40 La solución, partículas o polvo señalados anteriormente, en una modalidad, pueden rociarse sobre la lámina de CNT a medida que sale del horno y se recoge en la cinta. También pueden usarse otros métodos para la deposición, por ejemplo, la lámina de CNT puede sumergirse en un baño o depósito de solución, partículas o polvo. El aerosol, en una modalidad, puede contener otros compuestos que recubren la superficie exterior de los nanotubos de tal manera que se mejore la alineación de los nanotubos de carbono y se reduzcan los contactos entre tubos.

45 En una modalidad, el rociado puede incluir un solvente, un polímero, un metal, o una de sus combinaciones. El solvente usado en relación con la solución de la presente invención puede usarse 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 solvente que puede usarse en relación con la solución incluyen tolueno, queroseno, benceno, hexano, cualquier alcohol que incluya, pero sin limitarse a, etanol, metanol, butanol, isopropanol, así como también tetrahidrofurano, 1-metil-2-pirrolidinona, dimetilformamida, cloruro de metileno, acetona o cualquier otro solvente ya que la presente invención no pretende limitarse de esta manera. En una modalidad, el solvente puede usarse como un portador para un polímero, monómero, sal inorgánica u óxido de metal.

55 Una vez que la lámina de CNT se ha tratado, la lámina tratada puede someterse a una fuente de calor para el procesamiento de la lámina. Por ejemplo, la lámina puede someterse a sinterización, prensado isostático en caliente, prensado en caliente, prensado isostático en frío para obtener la forma deseada del producto final.

60 Otra fuente de dopantes para usar en relación con una modalidad de la presente invención es el nitrógeno. El dopaje con nitrógeno puede realizarse agregando melamina, acetonitrilo, bencilamina o dimetilformamida al catalizador o fuente de carbono. Llevar a cabo la síntesis de nanotubos de carbono en una atmósfera de nitrógeno también puede conducir a pequeñas cantidades de dopaje N.

65 Las láminas en capas para reducir la conductividad térmica normal al plano.

Cada lámina de CNT, en una modalidad, puede fabricarse con grosores variables y/o una cantidad de capas de CNT. Las láminas de CNT individuales pueden tener, en una modalidad, aproximadamente 30 micras de grosor. Por supuesto, pueden proporcionarse láminas de CNT individualmente más gruesas o más delgadas, según se desee. Alternativamente, una pluralidad de láminas de CNT pueden apilarse o ponerse en capas una encima de la otra para lograr un grosor más sustancial. El uso de una lámina de CNT individual o el uso de una pluralidad de láminas de CNT apiladas o en capas puede dar como resultado un aislante de CNT que tenga cualquier grosor, forma, tamaño y/o perfil deseado. Además, aunque la presencia de las distintas capas dentro de una lámina de CNT puede reducir la conductividad térmica normal al plano, es decir, a través del plano, en la medida en que pueda emplearse el apilamiento de láminas de CNT, tal enfoque puede reducir aún más el contacto entre láminas y puede minimizar aún más la conductividad térmica a través del plano al reducir el transporte de fonones entre las capas apiladas de las láminas de CNT.

Para reducir aún más el transporte de fonones entre las capas de láminas de CNT y minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano del aislante de CNT de la presente invención, en algunas modalidades, puede proporcionarse un separador entre las láminas de CNT adyacentes. El separador puede ser, por ejemplo, una pluralidad de puntos de alúmina o de cerámica, una capa de lámina de CNT que tiene una pluralidad de orificios en la misma, una capa porosa de material no metálico, una lámina de CNT que tiene una superficie rugosa con picos y valles en la misma o cualquiera de sus combinaciones.

En una modalidad, un aislante de CNT puede modelarse con separadores 82, como se muestra en la Figura 7, para aumentar aún más la resistencia térmica entre láminas. Los separadores 82 pueden ser columnas óxido (puntos) que pueden separar sustancialmente cada lámina de CNT entre sí. Muchos tipos de materiales de óxido que tienen una baja conductividad térmica, tales como óxido de titanio, óxido de zirconio, óxido de tantalio o similares, pueden usarse como separadores 82. En otro ejemplo, puede depositarse una matriz de puntos de alúmina o de cerámica entre dos láminas de CNT adyacentes para crear un espacio entre las mismas. Los puntos de alúmina o de cerámica, en una modalidad, pueden rociarse sobre las láminas de CNT a través de una máscara que permite la deposición a través de orificios predeterminado. Por ejemplo, una pluralidad de pequeños puntos o columnas cilíndricas que soportan cada lámina de CNT desde una lámina de CNT adyacente pueden rociarse a través de la máscara y depositarse en cada lámina de CNT. Los separadores 82 pueden ser otras partículas depositadas sobre una superficie de una lámina de CNT lo que crea una separación suficiente entre dos láminas adyacente, tales como otras partículas no metálicas, separadores de cerámica, partículas de plástico, puntos de silicona, etcétera. Los patrones de separadores 82 pueden ser geométricos o aleatorios.

En otra modalidad, pueden proporcionarse orificios, aberturas, hendiduras, cavidades, aperturas, o cualquiera de sus combinaciones (por ejemplo, cortes, grabados, perforaciones, etcétera) en cada lámina de CNT. Los orificios pueden estar en un patrón predeterminado que es igual o diferente para las láminas de CNT diferentes. El patrón predeterminado puede ser geométrico o aleatorio. A partir de ahí, las láminas de CNT pueden alinearse de manera que el patrón de orificios pueda desplazarse, por ejemplo, entre dos láminas adyacentes, lo que permite que cada lámina contenga bolsas de aire. Solo con fines ilustrativos, en la Figura 8 se muestra un aislante de CNT 80 en capas que tiene tres láminas de CNT, donde cada lámina tiene una pluralidad de orificios 84 en la misma. Los orificios 84 no se alinean sustancialmente través de las capas, sino que se desplazan, en la medida deseada, entre dos láminas de CNT adyacentes.

La separación entre dos láminas adyacentes también puede proporcionarse mediante la texturización de las láminas de CNT 80 (solo se muestran dos láminas para fines ilustrativos solamente), como se muestra en la Figura 9. Cada lámina de CNT 80 puede diseñarse para tener una superficie rugosa con picos 86 y valles 88 en la misma. Se apreciará que los picos y valles se relacionan entre sí. Por ejemplo, cuando una lámina se invierte, los picos pueden convertirse en valles y viceversa. Las láminas de CNT 80, cuando se apilan una encima de la otra, pueden situarse de tal manera que los picos se desplazan entre dos láminas y se minimizan los contactos lámina a lámina.

Cualquiera de las técnicas de dopaje, modificaciones de postproducción y/o técnicas de estratificación descritas anteriormente pueden combinarse o usarse en relación con unas con otras.

Aplicaciones

Las láminas de nanotubos de carbono fabricadas a partir de la presente invención pueden tener una amplia variedad de aplicaciones, que incluyen como un aislante. En una modalidad, la conductividad térmica para una lámina de CNT de la presente invención sin procesamiento adicional (por ejemplo, alineación de tubo) puede ser de aproximadamente 20 W/m-K. Cuando los tubos se alinean (por ejemplo, mediante estiramiento), de acuerdo con una modalidad de la presente invención, la conductividad térmica puede aumentarse a aproximadamente 100 W/m-K dentro del plano y a lo a lo largo de la dirección de alineación, mientras que la conductividad térmica normal al plano de la lámina de CNT puede ser tan baja como aproximadamente 1 W/m-K. En otra modalidad, mediante la disposición en capas de una cantidad de láminas de CNT una encima de la otra y reduciendo aún más el contacto térmico (por ejemplo, al crear una matriz de separadores de aislantes térmicos, tales como separadores de cerámica u otros separadores no metálicos), la estructura aislante de CNT resultante puede tener una conductividad térmica normal al plano de las láminas de CNT apiladas de menos de aproximadamente 1 W/m-K. En una modalidad particular, la conductividad térmica normal al plano de un aislante que tiene tales láminas de CNT apiladas varía de aproximadamente 0,01 W/m-K a aproximadamente 0,5 W/m-K. Un aislante que tiene tales láminas de CNT apiladas también puede tener una densidad de menos de aproximadamente 1 g/cc. En una modalidad, la densidad puede ser menos de aproximadamente 0,4 g/cc. En algunos casos, el aislante con tales

5 láminas de CNT apiladas puede tener una densidad de área de aproximadamente 0,01 g/cm² a aproximadamente 0,5 g/cm² o de aproximadamente 0,02 g/cm² a aproximadamente 0,2 g/cm². En una modalidad particular, la densidad de área puede ser de aproximadamente 0,078 g/cm². Por lo tanto, el aislante de CNT de la presente invención, cuando se coloca entre una fuente de calor y un área a la que puede no desearse transferir calor, puede proporcionar excelentes propiedades de aislamiento térmico normal al plano, mientras que es conductor en el plano, y que tiene suficiente integridad estructural contra daños.

10 Un aislante de CNT producido de acuerdo con diversas las modalidades de la presente invención puede usarse como superaislante. La Figura 10 muestra una imagen térmica de un superaislante de CNT 80 (un aislante de CNT que tiene separadores 82 entre las láminas adyacente, mostradas a la derecha), en comparación con un superaislante comercial 90 (un aerogel, mostrado a la izquierda). El superaislante de CNT 80 y el aerogel 90 tienen sustancialmente el mismo grosor. Como se muestra, la temperatura de fondo es aproximadamente 100 °C. Se observó que el superaislante de CNT 80 muestra una temperatura sustancialmente similar y, en algunos casos, una temperatura más baja que el aerogel 90. Por lo tanto, el superaislante de CNT 80 puede tener resistencia térmica sustancialmente similar, y en algunos casos una resistencia térmica superior a la del aerogel 90. En algunas modalidades, el aislante de CNT puede tener propiedades térmicas similares a los aerogeles, mientras que tiene una resistencia y resistencia a la fractura mucho más altas que los aerogeles.

20 El aislante de CNT de la presente invención puede incorporarse en otras estructuras para aplicaciones de uso final adicional, tales como productos de artículos deportivos, cascos, chaquetas (tal como una chaqueta de bombero), antena, aplicaciones de transformación, aeroespacial, inifugación para protección contra las llamas, etcétera. El aislante de CNT puede además estar libre de níquel, lo que significa que puede ser menos tóxico que los productos estándares. Además, el aislante de CNT puede repararse para eliminar la necesidad de reemplazar las láminas de CNT en su totalidad o en parte. En una modalidad, puede formarse un aislante de CNT al impregnar la lámina de CNT con un precursor de matriz, tales como Krayton, éster de vinilo, PEEK, bispoliámidas, BMI (bismaleimida), epoxis o poliamidas, y subsecuentemente al permitir que la matriz se polimerice o cure térmicamente.

30 Los ejemplos de aplicaciones específicas del aislante de CNT de la presente invención también pueden incluir el blindaje de interferencia electromagnética (blindaje EMI) que puede reflejar y absorber la radiación EMI y de esta manera proporcionar blindaje excelente al tiempo que proporciona características de aislamiento muy buenas. El blindaje puede ser beneficioso para evitar la interferencia de los equipos circundantes y puede encontrarse en sistemas estéreo, teléfonos, teléfonos móviles, televisores, dispositivos médicos, ordenadores y muchos otros aparatos. Esta capa conductora también puede usarse como un plano del suelo o proporcionar un medio para crear un espejo electromagnético.

35

REIVINDICACIONES

1. Un aislante que comprende:
 5 una pluralidad de láminas de nanotubos posicionadas una encima de la otra;
 una pluralidad de nanotubos que definen cada lámina, y se configuran de manera que minimicen la conductividad
 10 térmica normal al plano a través de cada lámina; y
 una pluralidad de separadores situados entre las láminas de nanotubos adyacentes para reducir contacto entre
 láminas, a fin de minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano a través de las láminas, en donde
 cada lámina de nanotubos incluye un dopante para disminuir la conductividad térmica normal al plano y en donde
 el dopante es boro, carbono 13, un material de CNT irradiado, o una de sus combinaciones.
2. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las láminas de nanotubos se definen por nanotubos no
 tejidos.
- 15 3. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dopante es de aproximadamente 0,5 a aproximadamente
 5 % por ciento en peso de boro.
4. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dopante es aproximadamente el 2 % por ciento en peso
 de boro.
- 20 5. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de nanotubos se alinea sustancialmente en
 el plano para mantener la conductividad térmica en el plano.
6. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de separadores son puntos de alúmina o de
 25 cerámica situados entre las láminas de nanotubos adyacentes.
7. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de separadores es una pluralidad de orificios
 en cada lámina de nanotubos.
- 30 8. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de separadores se proporciona mediante una
 capa porosa de material no metálico que tiene mala conductividad térmica y se posiciona entre las láminas de
 nanotubos adyacentes.
9. El aislante de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de separadores se proporciona mediante una
 35 textura en cada lámina de nanotubos para definir una superficie rugosa que tiene picos y valles en la misma, a fin
 de minimizar el contacto superficial entre las láminas de nanotubos adyacentes.
10. Un proceso para hacer un aislante de nanotubos de carbono, el proceso que comprende:
 40 generar, a partir de una nube de nanotubos, una pluralidad de láminas de nanotubos que tiene una pluralidad de
 nanotubos, en donde las láminas de nanotubos se posicionan una encima de la otra, en donde cada lámina de
 nanotubos incluye un dopante para disminuir la conductividad térmica normal al plano, y en donde el dopante es
 boro, carbono 13, un material de CNT irradiado, o una de sus combinaciones;
 45 procesar las láminas de nanotubos para alinear sustancialmente los nanotubos dentro de la lámina, para mantener
 la conductividad térmica en el plano mientras que se minimiza la conductividad térmica normal al plano; y
 posicionar un separador entre las láminas de nanotubos adyacentes, a fin de crear una separación adicional entre
 las láminas para minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano.
11. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la etapa de generación incluye introducir el dopante
 50 durante el cultivo de nanotubos o el postcultivo a los nanotubos para disminuir la conductividad térmica normal al
 plano.
12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la etapa de procesamiento incluye disminuir el contacto
 entre tubos para minimizar aún más la conductividad térmica normal al plano, en donde la etapa de disminución
 incluye la infusión, en las láminas de nanotubos, un polímero que penetra dentro de los espacios entre los
 55 nanotubos adyacentes para interrumpir los contactos entre tubos.
13. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10, en donde, en la etapa de posicionamiento, el separador es una
 pluralidad de puntos de alúmina o de cerámica, una capa de lámina de nanotubos que tiene una pluralidad de
 60 orificios en la misma, una capa porosa de material no metálico, una lámina de nanotubos que tiene una superficie
 rugosa con picos y valles en la misma, o cualquiera de sus combinaciones.
14. El uso del aislante de nanotubos de carbono de acuerdo con la reivindicación 1, en relación con otra estructura,
 como un aislante térmico que posee propiedades multifuncionales, que incluyen el blindaje EMI, protección EMP,
 blindaje ESD, conducción eléctrica, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión.
- 65 15. Un método para el aislamiento térmico, el método que comprende:

- colocar, entre una fuente de calor y un área a la que no se desea transferir calor, un aislante que tiene una pluralidad de láminas de nanotubos posicionadas una encima de la otra, en donde cada lámina de nanotubos incluye un dopante y en donde el dopante es boro, carbono 13, un material de CNT irradiado, o una de sus combinaciones, y una pluralidad de separadores situados entre las láminas de nanotubos adyacentes para reducir el contacto entre láminas, a fin de minimizar la conductividad térmica normal al plano;
- 5 permitir que el calor de la fuente de calor entre en contacto con el aislante; y
minimizar la transferencia calor a través del aislante en una dirección normal al plano del aislante para aislar el área del calor.
- 10 16. El proceso de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el polímero es uno de poliuretano, polietileno, poli(estireno butadieno), policloropreno, poli(alcohol de vinilo), poli(vinil pirrolidona), poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno), epoxi, poliureasilazano, bismaleimida, poliamida, poliimida, policarbonato o cualquier monómero, que incluye estireno, divinilbenceno, acrilato de metilo, acrilato de terc-butilo.

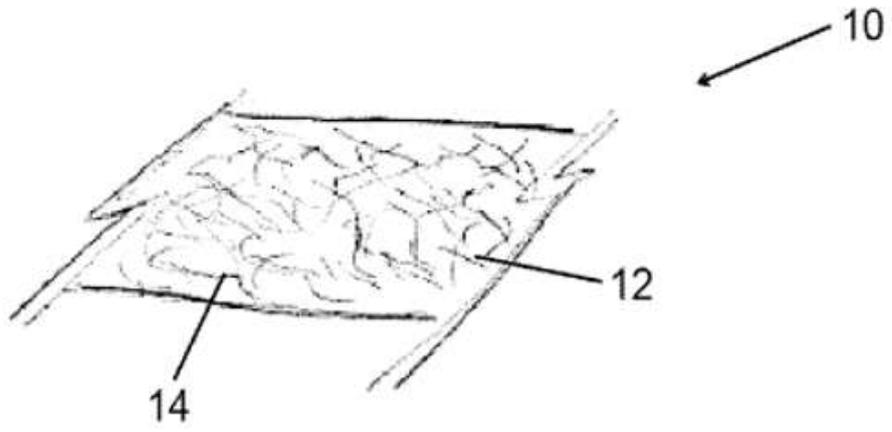


Figura 1A

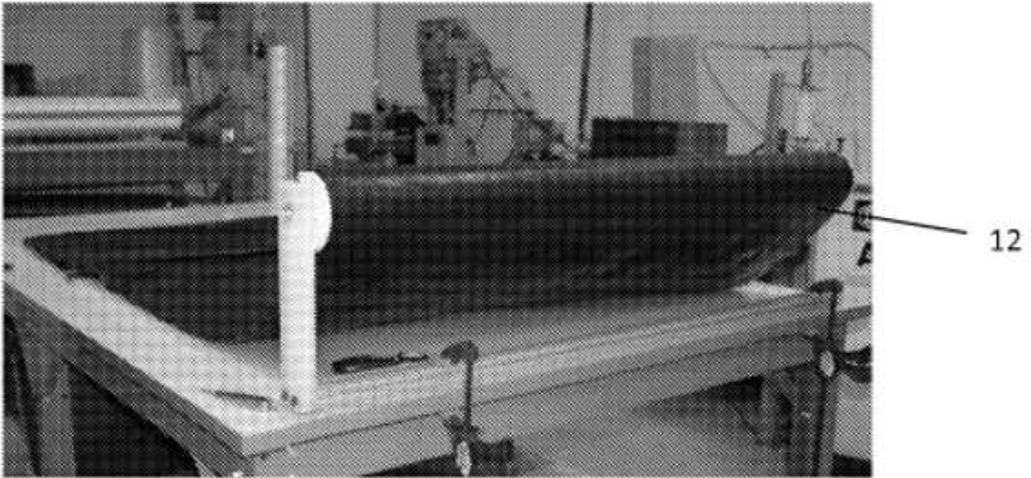


Figura 1B

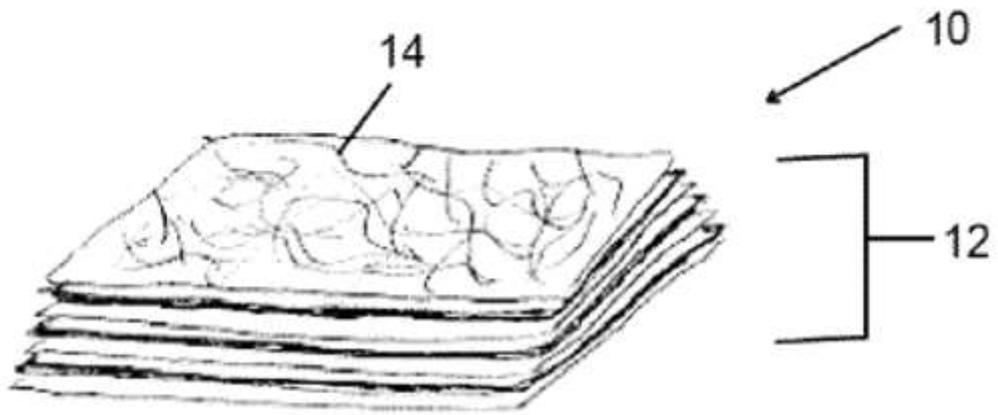


Figura 2

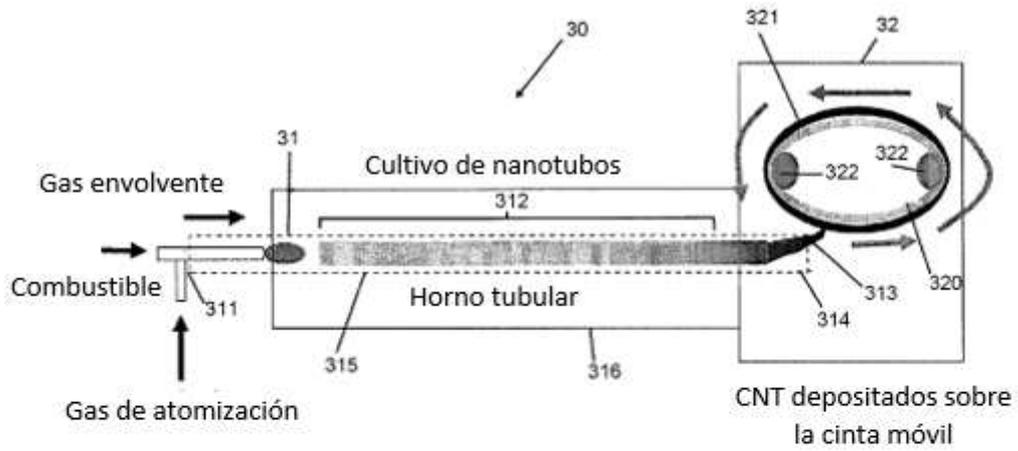


Figura 3



Figura 4A

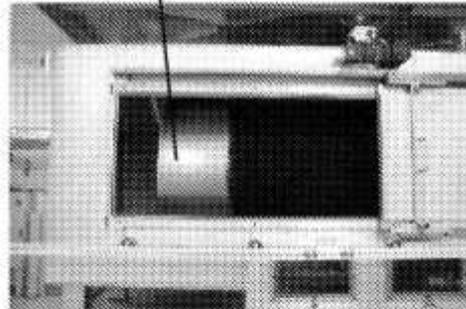


Figura 4B



Figura 4C

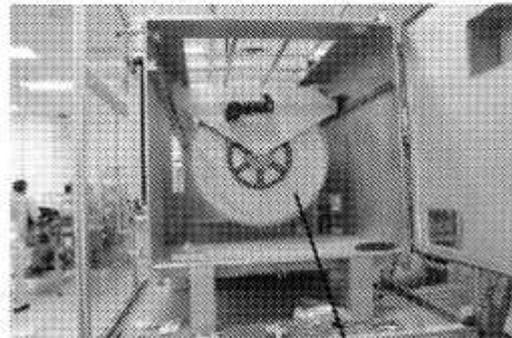


Figura 4D

320

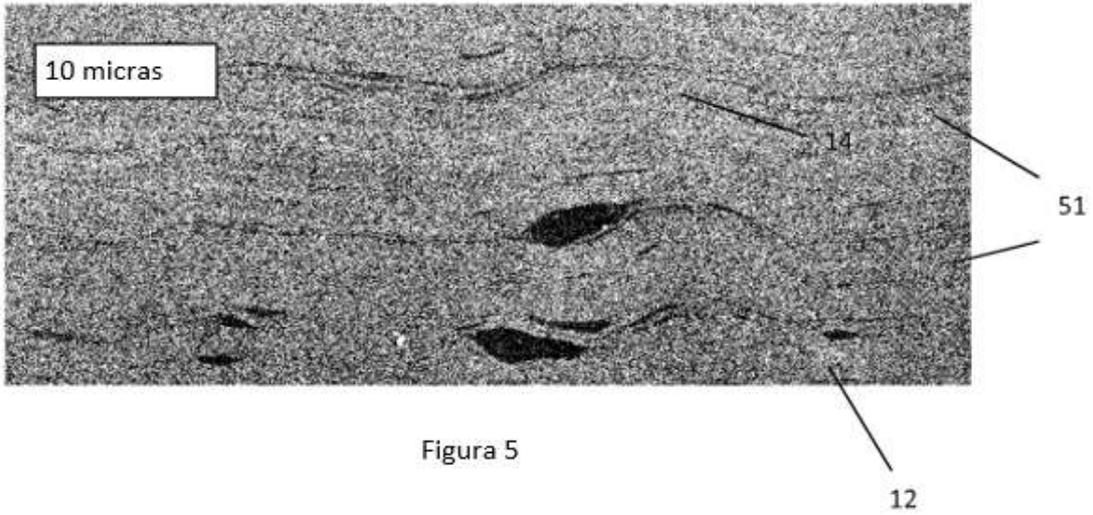


Figura 5

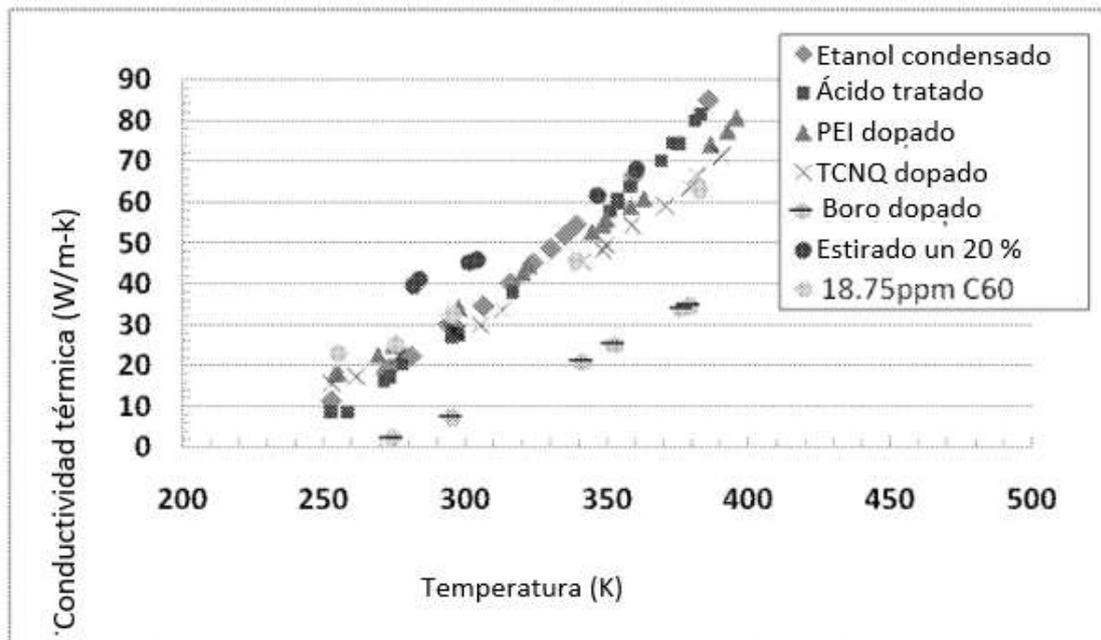


Figura 6

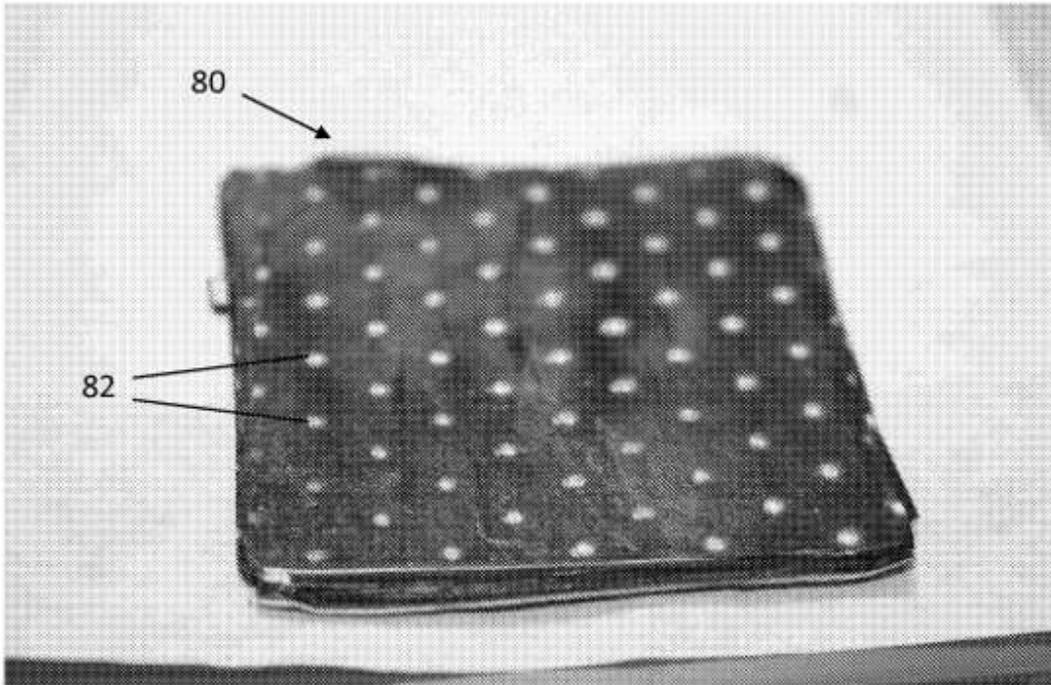


Figura 7

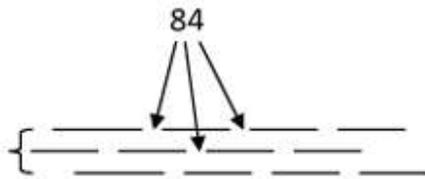


Figura 8

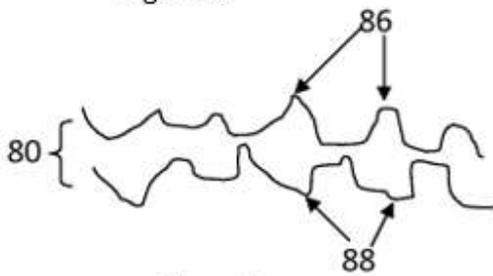


Figura 9

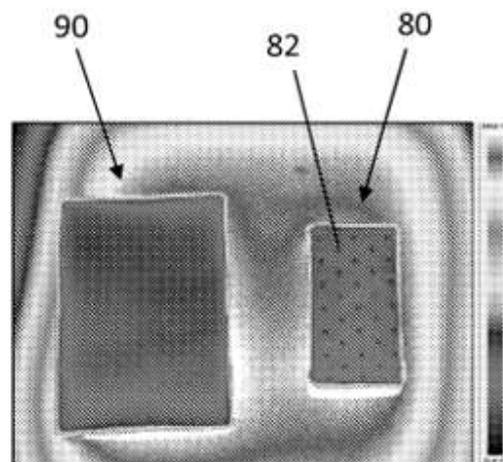


Figura 10