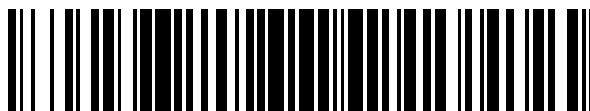


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 773**

51 Int. Cl.:

B32B 9/00

(2006.01)

F28F 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.10.2004** **PCT/US2004/032803**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2005** **WO05048298**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2004** **E 04794219 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018** **EP 1680274**

54 Título: **Solución térmica tipo sándwich**

30 Prioridad:

04.11.2003 JP 2003375005

12.11.2003 JP 2003382882

26.01.2004 JP 2004017710

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.11.2018

73 Titular/es:

NEOGRAF SOLUTIONS, LLC (100.0%)

11709 Madison Ave

Lakewood, OH 44107, US

72 Inventor/es:

FUJIWARA, KIKUO;

TOZAWA, MASAOKI;

SHIVES, GARY, D.;

NORLEY, JULIAN y

REYNOLDS, ROBERT, ANDERSON, III

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 690 773 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

Solución térmica tipo sándwich

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a una solución térmica capaz de gestionar el calor desde una fuente de calor, tal como un componente de un dispositivo electrónico, para disipar el calor generado por la fuente de calor, mediando al mismo tiempo los efectos del calor en los usuarios del dispositivo y otros componentes del dispositivo.

Técnica antecedente

- 10 Con el desarrollo de un creciente número de dispositivos electrónicos sofisticados, incluidos los que son capaces de aumentar las velocidades de procesamiento y frecuencias más altas, tienen un menor tamaño y requisitos de energía más complicados y exhiben otros avances tecnológicos, tales como microprocesadores y circuitos integrados en componentes electrónicos y eléctricos, componentes de memoria de alta capacidad y respuesta tales como discos duros, fuentes electromagnéticas tales como bombillas en proyectores digitales, así como en otros dispositivos tales como dispositivos ópticos de alta potencia, pueden generarse temperaturas relativamente extremas. Sin embargo, los microprocesadores, circuitos integrados y otros componentes electrónicos sofisticados típicamente funcionan de manera eficiente solo en cierto rango de temperaturas. El calor excesivo generado durante la operación de estos componentes puede no solo dañar su propio desempeño, sino también degradar el desempeño y confiabilidad del sistema en general y puede incluso provocar una falla en el sistema. El rango cada vez más amplio de condiciones ambientales, incluyendo temperaturas extremas, en las cuales se espera que los sistemas electrónicos operen, exacerba los efectos negativos del calor excesivo.

- 20 Con la creciente necesidad de disipación de calor de los dispositivos microelectrónicos, la gestión térmica se vuelve un elemento cada vez más importante del diseño de productos electrónicos. Tanto la confiabilidad del desempeño como la esperanza de vida del equipo electrónico están inversamente relacionadas con la temperatura del componente del equipo. Por ejemplo, una reducción en la temperatura de operación de un dispositivo tal como un semiconductor de silicio típico puede corresponder a un aumento en la velocidad de procesamiento, confiabilidad y esperanza de vida del dispositivo. Por lo tanto, para maximizar la vida útil y confiabilidad de un componente, mantener la temperatura de funcionamiento del dispositivo dentro de los límites fijados por los diseñadores es de suma importancia.

- 30 Además, el creciente deseo de productos electrónicos más pequeños y compactos, tales como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras digitales y proyectores, etc., significa que la fuente de calor estará adyacente a superficies externas del dispositivo y adyacente a otros componentes. De este modo, las superficies externas del dispositivo pueden calentarse, lo cual es incómodo o incluso peligroso para el usuario. Más aun, el calor generado por un componente en un dispositivo puede afectar de manera adversa a un componente adyacente. Aunque una posible solución es aislar la fuente de calor, ésta no es una solución satisfactoria, ya que al hacerlo se mantiene el calor generado por la fuente de calor concentrado en la fuente de calor, posiblemente dañando la fuente de calor.

- 35 Por ejemplo, en algunos ordenadores portátiles, el disco duro, que puede generar cantidades sustanciales de calor, está ubicado debajo del conocido "reposamanos" del ordenador - el área entre el teclado y el usuario, donde la mano del usuario normalmente descansa mientras usa el teclado. En ordenadores portátiles más delgados, el calor generado por el disco duro puede transferirse a través de la cubierta del ordenador portátil a la mano del usuario, provocando incomodidad e incluso dolor. De hecho, en algunos ordenadores portátiles, la temperatura del reposamanos se ha medido por encima de 40°C. Del mismo modo, los componentes generadores de calor pueden provocar que la parte inferior del ordenador portátil se caliente, provocando incomodidad o incluso dolor al usuario cuando el ordenador portátil está posicionado en la falda del usuario. Esto se ha vuelto un problema significativo para los fabricantes de ordenadores portátiles y otros dispositivos portátiles donde existe un esfuerzo continuo de hacer los dispositivos más pequeños para una mejor transportabilidad.

- 45 A continuación se describe un grupo de materiales relativamente livianos adecuados para su uso en la disipación de calor de fuentes de calor tales como componentes electrónicos y los materiales conocidos en general como grafitos, pero en particular grafitos tales como los que se basan en grafitos naturales y grafitos flexibles. Estos materiales son anisotrópicos y permiten que los dispositivos de disipación térmica se diseñen para transferir preferentemente calor en direcciones seleccionadas. Los materiales de grafito son mucho más livianos que metales como cobre y aluminio y los materiales de grafito, incluso cuando se usan en combinación con componentes metálicos, proporcionan muchas ventajas con respecto al cobre o aluminio cuando se usan para disipar calor por sí mismos.

- 55 Los grafitos están compuestos por planos de capas de arreglos o redes hexagonales de átomos de carbono. Estos planos de capas de átomos de carbono dispuestos hexagonalmente son básicamente planos y están orientados u ordenados para estar básicamente paralelos y equidistantes entre sí. Las láminas o capas de átomos de carbono equidistantes paralelas, básicamente planas, a menudo denominadas capas de grafeno o planos basales, están ligados o unidos y los grupos de los mismos están dispuestos en cristalitos. Los grafitos altamente ordenados consisten en cristalitos de tamaño considerable, estando los cristalitos altamente alineados u orientados entre sí y

teniendo capas de carbono bien ordenadas. En otras palabras, los grafitos altamente ordenados tienen un grado alto de orientación cristalina preferida. Cabe destacar que los grafitos poseen estructuras anisotrópicas y que exhiben o poseen así muchas propiedades que son altamente direccionales, por ejemplo, conductividad térmica y eléctrica y difusión de fluidos.

En resumen, los grafitos pueden caracterizarse como estructuras laminadas de carbono, es decir, estructuras que consisten en capas superpuestas o láminas de átomos de carbono unidas entre sí por fuerzas de Van der Waals débiles. Al considerar la estructura de grafito, a menudo se indican dos ejes o direcciones, a saber, el eje o dirección "c" y los ejes o direcciones "a". Para simplificar, el eje o dirección "c" puede considerarse como la dirección perpendicular a las capas de carbono. Los ejes o direcciones "a" pueden considerarse como las direcciones paralelas a las capas de carbono o las direcciones perpendiculares a la dirección "c". Los grafitos adecuados para fabricar láminas de grafito flexibles poseen un grado muy alto de orientación.

Como se indicó anteriormente, las fuerzas de unión que mantienen a las capas de átomos de carbono paralelas son solo fuerzas de Van der Waals débiles. Los grafitos naturales pueden tratarse para que el espacio entre las capas o láminas de carbono superpuestas pueda abrirse de forma apreciable para proporcionar una expansión marcada en la dirección perpendicular a las capas, es decir, en la dirección "c", y formar así una estructura de grafito expandida o intumesciente en la cual el carácter laminar de las capas de carbono se retiene básicamente.

La escama de grafito, que se ha expandido en gran medida y más particularmente se ha expandido para tener un espesor o dimensión de la dirección "c" final que puede ser aproximadamente 80 veces o más la dimensión de la dirección "c" original, puede formar, sin el uso de un aglutinante, láminas cohesivas o integradas de grafito expandido, por ejemplo, redes, papeles, tiras, cintas, láminas delgadas, alfombrillas o similares (típicamente denominado "grafito flexible"). La formación con partículas de grafito que se han expandido para tener un espesor o dimensión "c" final que es aproximadamente 80 veces o más la dimensión de la dirección "c" original de láminas flexibles integradas por compresión, sin el uso de ningún material de unión, se cree que es posible debido a la interconexión mecánica o cohesión que se logra entre las partículas de grafito expandidas voluminosamente.

Además de la flexibilidad, también se encontró que el material de láminas, como se indicó anteriormente, posee un alto grado de anisotropía con respecto a la conductividad térmica y eléctrica y difusión de fluidos, comparable con el material de partida de grafito natural debido a la orientación de las partículas de grafito expandidas y capas de grafito básicamente paralelas a las caras opuestas de la lámina que resultan de una compresión muy alta, por ejemplo, prensado con rodillos. El material de lámina producido de esta manera posee excelente flexibilidad, buena resistencia y un grado muy alto de orientación.

En resumen, el proceso de producir material de lámina de grafito anisotrópico sin aglutinante flexible, por ejemplo, una red, papel, tira, cinta, lámina delgada, alfombrilla o similar, comprende comprimir o compactar bajo una carga predeterminada y en ausencia de un aglutinante, partículas de grafito expandidas que tienen una dimensión de la dirección "c" que puede llegar a ser aproximadamente 80 veces o más la de las partículas originales para formar una lámina de grafito básicamente plana, flexible e integrada. Una vez comprimidas, las partículas de grafito expandidas, que en general tienen una apariencia serpenteante o vermiforme, mantendrán la compresión y la alineación con las superficies principales opuestas de la lámina. La densidad y el espesor del material de lámina pueden variar al controlar el grado de compresión. La densidad del material de lámina puede encontrarse en el rango de aproximadamente 0,04 g/cm³ a aproximadamente 2,0 g/cm³. El material de lámina de grafito flexible exhibe un grado apreciable de anisotropía debido a la alineación de partículas de grafito paralelas a las superficies paralelas mayores opuestas de la lámina, donde el grado de anisotropía crece con el prensado con rodillos del material de lámina para aumentar la orientación. En el material de lámina anisotrópica prensada en rodillo, el espesor, es decir, la dirección perpendicular a las superficies de lámina paralelas opuestas, comprende la dirección "c" y las direcciones que varían a lo largo de la longitud y ancho, es decir, a lo largo o paralelas a las superficies principales opuestas, comprende las direcciones "a" y las propiedades de difusión térmicas, eléctricas y de fluido de la lámina son muy diferentes, en orden de magnitud, para las direcciones "c" y "a".

Aunque se ha sugerido el uso de láminas de partículas comprimidas de grafito exfoliado (es decir, grafito flexible) como dispersores térmicos, interfaces térmicas y como partes de componentes de disipadores de calor para disipar el calor generado por una fuente de calor (ver, por ejemplo, Patentes de los Estados Unidos Nos. 6.245.400; 6.482.520; 6.503.626 y 6.538.892), los problemas de "temperatura al tacto", es decir el calentamiento de superficies externas de un dispositivo electrónico al punto que es incómodo o peligroso para el usuario, y el calentamiento de los componentes adyacentes no han sido abordados adecuadamente.

Más aun, la naturaleza flexible de materiales de grafito dificulta formar estructuras o formas complejas con los materiales de grafito. Dichas formas complejas son deseables cuando los materiales deben usarse, por ejemplo, para ajustarse alrededor de componentes del dispositivo o en espacios irregulares, o como aletas unidas a bases de disipadores de calor metálicas o de grafito. Además, la unión de aletas de grafito a bases metálicas también es problemática, debido a que el grafito no puede soldarse en su lugar de la misma manera que una aleta metálica.

Otro problema con el uso de grafito en componentes electrónicos es el miedo, que puede ser infundado, de que las partículas o escamas de grafito individuales puedan desprender un componente de disipación de calor de grafito.

Dada la conductividad eléctrica del grafito, esto tendría el potencial de interferir con la operación del componente en el cual está ubicado el material de grafito.

Por consiguiente, existe una necesidad continua de diseños mejorados para soluciones térmicas para dispositivos electrónicos que proporcionen el peso y las ventajas térmicas de los elementos de grafito con la deformabilidad y otras ventajas de los elementos metálicos.

Divulgación de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una disipación térmica y sistema de protección para un dispositivo electrónico de acuerdo con la Reivindicación 1.

La presente invención proporciona una solución térmica capaz de disipar el calor de un componente electrónico mientras protege simultáneamente a un usuario o componentes adyacentes de los efectos del calor generado por el componente. La solución térmica de la invención comprende una lámina anisotrópica de partícula comprimida de grafito exfoliado (a veces denominado con el término de la técnica "grafito flexible") intercalada entre materiales no gráfiticos, especialmente materiales metálicos como aluminio o cobre.

Tal como se usa en la presente, la expresión "grafito flexible" también se refiere a láminas de grafito pirolítico, ya sea individualmente o como un laminado. La lámina de grafito flexible empleada como la solución térmica de la presente invención tiene una conductividad térmica en el plano sustancialmente más alta que su conductividad térmica a través del plano. En otras palabras, la solución térmica de la presente invención tiene una relación anisotrópica térmica relativamente alta (en el orden de 10 o mayor). La relación anisotrópica térmica es la relación entre la conductividad térmica en el plano y la conductividad térmica a través del plano.

Al intercalar el material de grafito flexible entre las capas de otro material, las propiedades térmicas del grafito se mantienen, mientras que se proporcionan beneficios adicionales, tales como moldeabilidad o deformabilidad y encapsulación del grafito. Por ejemplo, cuando las capas externas que no son de grafito comprenden un material plástico, se evita la descamación de grafito. Otros materiales que pueden emplearse como las capas externas que no son de grafito incluyen nitruro de titanio, nitruro de boro y carburo de silicio. Sin embargo, más preferiblemente, las capas externas que no son de grafito comprenden un material metálico como cobre, aluminio, magnesio, titanio, etc., especialmente aluminio. Aunque el aluminio no es tan térmicamente conductor como el cobre, se prefiere el aluminio debido a su peso más liviano en comparación con el cobre.

El uso de capas externas metálicas permite que la estructura resultante se amolde y/o adopte formas complejas que cumplen con demandas de espacio específicas y también hace uso de la naturaleza isotrópica del metal para dispersar de manera más eficiente el calor en el núcleo de grafito impidiendo, a su vez, la descamación de grafito. En efecto, como reconocerá un experto en la técnica, no existe ningún requisito que indique que las capas externas del sándwich comprendan el mismo material; pueden utilizarse diferentes materiales para maximizar u optimizar el desempeño.

Sin embargo, al formar una solución térmica tipo sándwich, la naturaleza de los materiales elegidos para las capas externas y el espesor de las tres capas pueden tener un efecto significativo en el desempeño térmico de la solución térmica. Por ejemplo, tanto la conductividad térmica (medida como $W/m^{\circ}K$) como la difusión térmica, es decir, la tasa de difusión de calor a través de un cuerpo (medida como mm^2/seg), pueden verse afectadas significativamente por la naturaleza y el espesor de las capas. Por consiguiente, el material utilizado para las capas externas que no son de grafito y el espesor de las capas individuales que componen el sándwich de la invención deberían elegirse preferiblemente para proporcionar una función térmica, denominada F_x , para cada una de las capas externas en combinación con el núcleo gráfitico, de entre aproximadamente -10 y aproximadamente +7.

La función térmica de una combinación de capa externa/núcleo gráfitico puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$F_x = \log \left[\left(\frac{Y_1 \text{Espesor}_1 T_{c1}}{Y_2 \text{Espesor}_2 T_{c2}} \right) x 1 / \left(100 x \frac{d_1}{d_2} \right) \right]$$

donde Y_1 es el módulo de Young para una de las capas externas e Y_2 es el módulo de Young para el núcleo gráfitico; Espesor_1 es el espesor en milímetros (mm) de la capa externa y Espesor_2 es el espesor del núcleo gráfitico; T_{c1} es la conductividad térmica de la capa externa y T_{c2} es la conductividad térmica del núcleo gráfitico; y d_1 es la densidad de la capa externa y d_2 es la densidad del núcleo gráfitico.

Cuando la función térmica de ambas capas externas y el núcleo de grafito flexible se encuentra entre aproximadamente -10 y aproximadamente +7, tanto la conductividad térmica como la difusividad térmica del sándwich de la invención pueden optimizarse para proporcionar una solución térmica efectiva. Es decir, el gradiente de temperatura de una ubicación en la solución térmica a la otra, denotado Δt , se minimiza. Aunque a veces puede obtenerse un Δt relativamente bajo cuando F_x no se encuentra dentro del rango preferido, esto parece ser fortuito,

en lugar de estar diseñado como en el caso cuando se sigue el rango de Fx de aproximadamente -10 a aproximadamente +7.

El sándwich de la invención puede formarse por una variedad de métodos. Por ejemplo, la lámina o laminado de láminas de grafito pueden disponerse entre las capas externas y los bordes de las capas externas fusionados (en el caso de materiales plásticos, por ejemplo) o soldarse juntos (en el caso de metales, por ejemplo). Alternativamente, los bordes de las capas externas pueden plegarse para formar el sándwich o puede aplicarse un material adhesivo a las superficies de las capas externas y/o las capas de grafito, para adherir las capas externas entre sí y/o al grafito.

La solución térmica del sándwich de la invención comprende dos superficies principales, una de las cuales se encuentra en contacto operativo con una superficie de la fuente de calor, como un disco duro o la cubierta de la fuente de luz en un proyector digital. El área de la solución térmica es mayor que el área de contacto de la solución térmica en la fuente de calor, de manera que la conductividad térmica en el plano de la solución térmica actúa para disipar el calor de la fuente de calor. De manera más ventajosa, una de las superficies principales de la solución térmica (no necesariamente la misma superficie principal que está en contacto con la fuente de calor) también está en contacto operativo con un dispositivo de disipación de calor tal como un dissipador de calor, para que el calor generado por la fuente de calor se disperse a través de la solución térmica debido a su conductividad térmica en el plano relativamente alta y llevada al dissipador de calor donde se disipa.

Debido a la conductividad térmica a través del espesor relativamente baja (o, dicho de otro modo, relación anisotrópica térmica alta) del grafito, el calor generado por la fuente de calor no se transfiere fácilmente a través de la solución térmica. Por lo tanto, cuando la solución térmica se coloca entre la fuente de calor y una superficie externa del dispositivo en la cual está ubicada la fuente de calor, o entre la fuente de calor y otro componente en el dispositivo en el cual está ubicada la fuente de calor, la solución térmica reduce o elimina el flujo de calor desde la fuente de calor a la superficie externa u otro componente. La naturaleza maleable de la solución térmica de la presente invención permite su uso incluso en las aplicaciones donde el espacio está limitado o donde la solución térmica necesita ajustarse alrededor o próxima a estructuras en el dispositivo.

Además, otro beneficio del uso de un sándwich de grafito/metal flexible en la solución térmica de la invención yace en el potencial del artículo de la invención para bloquear la interferencia electromagnética y de radiofrecuencia (EMI/RF). Se cree que las soluciones térmicas de la presente invención funcionarán para proteger los componentes del dispositivo en el cual está ubicada la interferencia de EMI/RF, además de realizar la función de disipación/protección térmica que es su propósito primario.

En otra realización de la invención, la solución térmica puede tener un material de interfaz térmico, tal como una interfaz de grasa térmica o una interfaz térmica en base a grafito como la descrita en la Solicitud de Patente Internacional No. PCT/US02/40238 y/o disponible en el mercado por Advanced Energy Technology Inc. de Lakewood, Ohio, ya que su línea de productos eGraf Hi-Therm™ puede interponerse entre la solución térmica y la fuente de calor para facilitar la transferencia de calor entre la fuente de calor y la solución térmica de la invención. Además, un material comprimible, tal como una almohadilla de goma o espuma de poliuretano puede disponerse en el lado opuesto a la fuente de calor como la solución térmica de la invención, para desviar la fuente de calor contra la solución térmica, para facilitar la transferencia térmica desde la fuente de calor a la solución térmica de la presente invención.

Además, para mejorar la solidez mecánica y la maleabilidad de la solución térmica, y posiblemente bloquear o proteger adicionalmente del calor para que no sea transmitido desde la fuente de calor a la superficie externa del dispositivo o a otros componentes del dispositivo, una capa de un material no conductor relativamente térmico, tal como un plástico como el material Mylar® u otras resinas o materiales similares, pueden colocarse sobre la solución térmica.

Por consiguiente, es un objeto de la presente invención proporcionar una solución térmica mejorada para disipar simultáneamente el calor de un componente de un dispositivo electrónico y proteger las estructuras adyacentes del calor.

Otro objeto de la presente invención es la provisión de una solución térmica que tenga una relación anisotrópica térmica lo suficientemente alta para funcionar de manera efectiva para la disipación de calor mientras evita la transferencia de calor a estructuras adyacentes.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar una solución térmica que tenga una función térmica que se encuentre entre aproximadamente -10 y aproximadamente +7.

Otro objeto de la presente invención es la provisión de una solución térmica moldeable que proporcione tanto disipación de calor como bloqueo de calor en un ambiente donde el espacio disponible sea limitado.

Estos objetos y otros que serán evidentes para un experto en la técnica tras leer la siguiente descripción pueden alcanzarse proporcionando un sistema de disipación térmica y protección para un dispositivo electrónico (como un ordenador portátil), donde el sistema incluye un dispositivo electrónico que tiene un primer componente (tal como un disco duro) que comprende una fuente de calor que transmite calor a una superficie externa del componente

electrónico (tal como la cubierta de un ordenador portátil) y/o a un segundo componente del dispositivo (tal como el conjunto de chips del ordenador portátil); y una solución térmica que tiene dos superficies principales, posicionándose la solución térmica de manera que una de sus superficies principales se encuentre en contacto operativo con el primer componente de manera que se interponga entre el primer componente y la superficie externa del componente electrónico al cual el primer componente transmite calor y/o el segundo componente, donde la solución térmica comprende al menos una lámina de grafito flexible intercalada entre capas externas, especialmente un metal tal como aluminio. La solución térmica tiene preferiblemente una conductividad térmica en el plano de al menos aproximadamente 140 W/m²K, más preferiblemente al menos aproximadamente 200 W/m²K, y una conductividad térmica a través del plano de no más de aproximadamente 12 W/m²K, más preferiblemente de no más de aproximadamente 10 W/m²K.

En una realización preferida de la invención, el material utilizado para las capas externas que no son de grafito y el espesor de las capas individuales que componen el sándwich de la invención deberían elegirse preferiblemente para proporcionar una función térmica, denominada F_x , para cada una de las capas externas en combinación con el núcleo grafitico de entre aproximadamente -10 y aproximadamente +7, tal como se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_x = \log \left[\left(\frac{Y_1 \text{Espesor}_1 T_{c1}}{Y_2 \text{Espesor}_2 T_{c2}} \right) \times 1 / \left(100 \times d_1 / d_2 \right) \right]$$

donde Y_1 es el módulo de Young para una de las capas externas e Y_2 es el módulo de Young para el núcleo grafitico; Espesor_1 es el espesor en milímetros (mm) de la capa externa y Espesor_2 es el espesor del núcleo grafitico; T_{c1} es la conductividad térmica de la capa externa y T_{c2} es la conductividad térmica del núcleo grafitico; y d_1 es la densidad de la capa externa y d_2 es la densidad del núcleo grafitico.

De manera ventajosa, el sistema de la invención incluye además un dispositivo de disipación de calor, tal como un disipador de calor, tubo de calor, placa de calor o combinaciones de los mismos, posicionados en una ubicación no directamente adyacente al primer componente y además en donde una de las superficies principales de la solución térmica se encuentra en contacto operativo con el dispositivo de disipación de calor.

En otra realización de la invención la solución térmica puede tener un recubrimiento protector, tal como un plástico, sobre la misma. Más preferiblemente, el recubrimiento protector tiene una conductividad térmica menor que la conductividad térmica a través del plano de al menos una lámina de grafito flexible. Un material de transferencia térmica, como un material de interfaz térmica, también puede estar posicionado entre la solución térmica y el primer componente. Además, un material de desvío, tal como una almohadilla comprimible, puede posicionarse para desviar el primer componente y la solución térmica juntos.

Se debe comprender que tanto la descripción general antecedente y la siguiente descripción detallada presentan realizaciones de la invención y pretenden proporcionar una reseña o marco de trabajo para comprender la naturaleza y carácter de la invención como se reivindica. Los dibujos adjuntos se incluyen para proporcionar una comprensión adicional de la invención y se incorporan en la misma y constituyen una parte de esta memoria descriptiva. Los dibujos ilustran varias realizaciones de la invención y junto con la descripción sirven para explicar los principios y operaciones de la invención.

La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una primera realización de la solución térmica de la presente invención dispuesta para tender un puente entre una fuente de calor y un disipador de calor.

La Fig. 2 es una vista en perspectiva de un ordenador portátil que tiene su placa superior retirada.

La Fig. 2b es una vista en perspectiva de la realización de la solución térmica de la Fig. 1 posicionada in situ en el ordenador portátil de la Fig. 2a.

La Fig. 3 es una vista transversal final de la solución térmica de la Fig. 1.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

Como se indicó, la solución térmica de la invención es un sándwich cuyo núcleo interno está formado por láminas de partículas comprimidas de grafito exfoliado, comúnmente conocido como grafito flexible. El grafito es una forma cristalina de carbono que comprende átomos enlazados covalentemente en planos en capas horizontales con enlaces más débiles entre los planos. Al tratar las partículas de grafito, tal como escamas de grafito natural, con un intercalante de, por ejemplo, una solución de ácido sulfúrico y nítrico, la estructura cristalina del grafito reacciona para formar un compuesto de grafito y el intercalante. Las partículas tratadas de grafito se denominan en adelante "partículas de grafito intercalado". Tras la exposición a alta temperatura, el intercalante dentro del grafito se descompone y se volatiliza, haciendo que la dimensión de las partículas de grafito intercalado se expandan aproximadamente 80 veces o más con respecto a su volumen original de manera similar a un acordeón en la dirección "c", es decir en la dirección perpendicular a los planos cristalinos del grafito. Las partículas de grafito exfoliadas son vermiformes en apariencia y por lo tanto son comúnmente denominadas gusanos. Los gusanos

pueden comprimirse en láminas flexibles que, a diferencia de las escamas de grafito originales, pueden formarse y cortarse en varias formas.

Materiales de partida de grafito adecuados para su uso en la presente invención incluyen materiales carbonosos altamente grafiticos capaces de intercalar ácidos orgánicos e inorgánicos así como halógenos y luego expandirse cuando se exponen al calor. Estos materiales carbonosos altamente grafiticos tienen más preferiblemente un grado de grafitización de aproximadamente 1,0. Tal como se usa en esta divulgación, la expresión "grado de grafitización" se refiere al valor g de acuerdo con la fórmula:

$$g = \frac{3.45 - d(002)}{0.095}$$

donde $d(002)$ es el espacio entre las capas grafiticas de los carbonos en la estructura cristalina medida en unidades de Angstrom. El espacio d entre las capas de grafito se mide por técnicas de difracción de rayos X estándares. Se miden las posiciones de picos de difracción correspondientes a los índices Miller (002), (004) y (006) y se emplean las técnicas de cuadrados mínimos estándares para obtener el espacio que minimiza el error total para todos estos picos. Ejemplos de materiales carbonosos altamente grafiticos incluyen grafitos naturales de varias fuentes, así como otros materiales carbonáceos tales como grafito preparado por deposición de vapor química, pirolisis de alta temperatura de polímeros o cristalización de soluciones de metal fundido y similares. Es más preferido el grafito natural.

Los materiales de partida de grafito usados para formar el material de grafito flexible incluidos en la presente invención pueden contener componentes que no son de grafito siempre que la estructura cristalina de los materiales de partida mantengan el grado requerido de grafitización y sean capaces de exfoliación. En general, cualquier material que contenga carbono, cuya estructura cristalina posee el grado requerido de grafitización y que puede exfoliarse, es adecuado para su uso con la presente invención. Dicho grafito preferiblemente tiene una pureza de al menos aproximadamente ochenta por ciento en peso. Más preferiblemente, el grafito empleado para la presente invención tendrá una pureza de al menos aproximadamente 94%. En la realización más preferida, el grafito empleado tendrá una pureza de al menos aproximadamente 98%.

Un método común para fabricar láminas de grafito se describe en Shane et al. en la Patente de los Estados Unidos No. 3.404.061, cuya divulgación se incorpora en la presente a modo de referencia. En la práctica típica del método de Shane et al., las escamas de grafito natural se intercalan dispersando las escamas en una solución que contiene, por ejemplo, una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico, de manera ventajosa a un nivel de aproximadamente 20 a aproximadamente 300 partes en peso de solución intercalante por 100 partes en peso de escamas de grafito (pph). La solución de intercalado contiene agentes oxidantes y otros agentes de intercalado conocidos en la técnica. Ejemplos incluyen los que contienen agentes oxidantes y mezclas oxidantes, tales como soluciones que contienen ácido nítrico, clorato de potasio, ácido crómico, permanganato de potasio, cromato de potasio, dicromato de potasio, ácido perclórico y similares o mezclas, tales como por ejemplo, ácido nítrico concentrado y clorato, ácido crómico y ácido fosfórico, ácido sulfúrico y ácido nítrico, o mezclas de un ácido orgánico fuerte, por ejemplo ácido trifluoroacético y un agente oxidante fuerte soluble en el ácido orgánico. Alternativamente, puede usarse un potencial eléctrico para provocar la oxidación del grafito. Especies químicas que pueden introducirse en el cristal de grafito usando la oxidación electrolítica incluyen ácido sulfúrico así como otros ácidos.

En una realización preferida, el agente de intercalado es una solución de una mezcla de ácido sulfúrico o ácido sulfúrico y ácido fosfórico y un agente oxidante, es decir, ácido nítrico, ácido perclórico, ácido crómico, permanganato de potasio, peróxido de hidrógeno, ácido yódico o periódico o similares. Aunque es menos preferido, la solución de intercalado puede contener haluros metálicos tales como cloruro férrico y cloruro férrico mezclado con ácido sulfúrico o un haluro, tal como bromuro como una solución de bromuro y ácido sulfúrico o bromuro en un disolvente orgánico.

La cantidad de solución de intercalado puede variar de aproximadamente 20 a aproximadamente 350 pph y más típicamente aproximadamente 40 a aproximadamente 160 pph. Después de que se intercalan las escamas, cualquier solución en exceso se drena de las escamas y las escamas se lavan con agua. Alternativamente, la cantidad de la solución de intercalado puede estar limitada a entre aproximadamente 10 y aproximadamente 40 pph, que permite que el paso de lavado se elimine como se enseñó y describió en la Patente de los Estados Unidos No. 4.895.713, cuya divulgación también se incorpora a la presente a modo de referencia.

Las partículas de escamas de grafito tratadas con solución de intercalado pueden ponerse en contacto opcionalmente, por ejemplo, mezclando, con un agente orgánico reductor seleccionado de alcoholes, azúcares, aldehídos y ésteres que son reactivos con la película de superficie de la solución de intercalado oxidante a temperaturas en el rango de 25°C y 125°C. Agentes orgánicos específicos adecuados incluyen hexadecanol, octadecanol, 1-octanol, 2-octanol, decilalcohol, 1, 10 decanodiol, decilaldehído, 1-propanol, 1,3 propanodiol, etilenglicol, polipropilenglicol, dextrosa, fructosa, lactosa, sacarosa, almidón de papa, monoestearato de etilenglicol, dibenzoato de dietilenglicol, monoestearato de propilenglicol, monoestearato de glicerol, oxilato de dimetilo, oxilato de dietilo, formiato de metilo, formiato de etilo, ácido ascórbico y compuestos derivados de lignina, tales como

lignosulfato de sodio. La cantidad de agente reductor orgánico es adecuadamente de aproximadamente 0,5 a 4% en peso de las partículas de escamas de grafito.

El uso de un auxiliar de expansión aplicado antes, durante o inmediatamente después del intercalado también puede proporcionar mejoras. Estas mejoras pueden incluir una menor temperatura de exfoliación y un mayor volumen expandido (también denominado "volumen de gusano"). Un auxiliar de expansión en este contexto será ventajosamente un material orgánico lo suficientemente soluble en la solución de intercalado para alcanzar una mejora en la expansión. Más acotadamente, pueden emplearse materiales orgánicos de este tipo que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, preferiblemente exclusivamente. Se ha encontrado que los ácidos carboxílicos son especialmente efectivos. Un ácido carboxílico adecuado útil como el auxiliar de expansión puede seleccionarse de ácidos monocarboxílicos, ácidos dicarboxílicos y ácidos policarboxílicos saturados e insaturados de cadena recta o cadena ramificada aromáticos, alifáticos o cicloalifáticos que tienen al menos 1 átomo de carbono y preferiblemente hasta aproximadamente 15 átomos de carbono, que es soluble en la solución de intercalado en cantidades efectivas para proporcionar una mejora mensurable de uno o más aspectos de la exfoliación. Pueden emplearse disolventes orgánicos adecuados para mejorar la solubilidad de un auxiliar de expansión orgánico en la solución de intercalado.

Ejemplos representativos de ácidos carboxílicos alifáticos saturados son ácidos tales como los de la fórmula $H(CH_2)_nCOOH$ en donde n es un número de 0 a aproximadamente 5, incluyendo fórmicos, acéticos, propiónicos, butíricos, pentanoicos, hexanoicos y similares. En lugar de ácidos carboxílicos, también pueden emplearse anhídridos o derivados de ácido carboxílico reactivo tal como ésteres de alquilo. Ésteres de alquilo representativos son formiato de metilo y formiato de etilo. El ácido sulfúrico, ácido nítrico y otros intercalantes acuosos conocidos tienen la capacidad de descomponer el ácido fórmico, en última instancia, en agua o dióxido de carbono. Por esta razón, el ácido fórmico y otros auxiliares de expansión sensibles se ponen en contacto de manera ventajosa con las escamas de grafito antes de la inmersión de las escamas en el intercalante acuoso. Ácidos dicarboxílicos representativos son ácidos dicarboxílicos alifáticos que tienen 2-12 átomos de carbono, en particular ácido oxálico, ácido fumárico, ácido malónico, ácido maleico, ácido succínico, ácido glutárico, ácido adípico, ácido 1,5-pentanodicarboxílico, ácido 1,6-hexanodicarboxílico, ácido 1,10-decanodicarboxílico, ácido ciclohexano-1,4-dicarboxílico y ácidos dicarboxílicos aromáticos tales como ácido ftálico o ácido tereftálico. Ésteres de alquilo representativos son oxilato de dimetilo y oxilato de dietilo. Un ácido cicloalifático representativo es ácido carboxílico de ciclohexano y ácidos carboxílicos aromáticos representativos son ácido benzoico, ácido naftoico, ácido antranílico, ácido p-aminobenzoico, ácido salicílico, ácidos o-, m- y p-tolilo, ácidos metoxi y etoxibenzoicos, ácidos acetoacetamidobenzoicos y ácidos acetamidobenzoicos, ácido fenilacético y ácidos naftoicos. Ácidos aromáticos hidroxil representativos son ácido hidroxibenzoico, ácido 3-hidroxil-1-naftoico, ácido 3-hidroxil-2-naftoico, ácido 4-hidroxil-2-naftoico, ácido 5-hidroxil-1-naftoico, ácido 5-hidroxil-2-naftoico, ácido 6-hidroxil-2-naftoico y ácido 7-hidroxil-2-naftoico. Prominente entre los ácidos policarboxílicos es el ácido cítrico.

La solución de intercalado será acuosa y contendrá preferiblemente una cantidad de auxiliar de expansión de aproximadamente 1 a 10%, siendo la cantidad efectiva para mejorar la exfoliación. En la realización en donde el auxiliar de expansión se pone en contacto con las escamas de grafito antes o después de la inmersión en la solución de intercalado acuosa, el auxiliar de expansión puede mezclarse con el grafito mediante medios adecuados, tales como un mezclador tipo V, típicamente en una cantidad de aproximadamente 0,2% a aproximadamente 10% en peso de las escamas de grafito.

Después del intercalado de las escamas de grafito y después del mezclado de las escamas de grafito intercalado recubierto con el intercalante con el agente reductor orgánico, la mezcla se expone a temperaturas en el rango de 25° a 125°C para promover la reacción del agente reductor y el recubrimiento intercalante. El periodo de calentamiento es de hasta aproximadamente 20 horas, con periodos de calentamiento más cortos, por ejemplo, al menos aproximadamente 10 minutos, para temperaturas más altas en el rango mencionado anteriormente. Pueden emplearse periodos de media hora o menos, por ejemplo, en el orden de 10 a 25 minutos, en las temperaturas más altas.

Las partículas de grafito tratadas de este modo se denominan a veces "partículas de grafito intercalado". Tras la exposición a alta temperatura, por ejemplo temperaturas de al menos aproximadamente 160°C y especialmente aproximadamente 700°C a 1000°C y mayores, las partículas de grafito intercalado se expanden aproximadamente 80 a 1000 veces o más con respecto a su volumen original de manera similar a un acordeón en la dirección c, es decir en la dirección perpendicular a los planos cristalinos de las partículas de grafito constituyentes. Las partículas de grafito expandidas, es decir exfoliadas, son vermiformes en apariencia y por lo tanto son comúnmente denominadas gusanos. Los gusanos pueden comprimirse en láminas flexibles que, a diferencia de las escamas de grafito originales, pueden formarse y cortarse en varias formas.

Las láminas de grafito flexible y láminas delgadas son coherentes, con buena resistencia a la manipulación y se comprimen de manera adecuada, por ejemplo, mediante prensado con rodillos, a un espesor de aproximadamente 0,075 mm a 3,75 mm y una densidad típica de aproximadamente 0,1 a 1,5 gramos por centímetro cúbico (g/cm³). Desde aproximadamente 1,5-30% en peso de aditivos cerámicos pueden mezclarse con las escamas de grafito intercalado como se describe en la Patente de los Estados Unidos No. 5.902.762 (que se incorpora en la presente a modo de referencia) para proporcionar una impregnación de resina mejorada en el producto de grafito flexible final. Los aditivos incluyen partículas de fibra de cerámica que tienen una longitud de aproximadamente 0,15 a 1,5

milímetros. El ancho de las partículas es adecuado desde aproximadamente 0,04 a 0,004 mm. Las partículas de fibra de cerámica no son reactivas y no son adherentes al grafito y son estables a temperaturas de hasta aproximadamente 1100°C, preferiblemente aproximadamente 1400°C o mayores. Las partículas de fibra de cerámica adecuadas se forman de fibras de vidrio de cuarzo maceradas, fibras de carbono y grafito, zirconia, nitruro de boro, carburo de silicio y fibras de magnesita, fibras minerales naturales tales como fibras de metasilicato de calcio, fibras de silicato de aluminio de calcio, fibras de óxido de aluminio y similares.

Los métodos descritos anteriormente para intercalar y exfoliar las escamas de grafito pueden aumentarse de manera beneficiosa por un pretratamiento de las escamas de grafito a temperaturas de grafitización, es decir temperaturas en el rango de aproximadamente 3000°C y por encima y por la inclusión en el intercalante de un aditivo lubricante, como se describe en la Solicitud de Patente Internacional No. PCT/US02/39749.

El pretratamiento o recocido de la escama de grafito resulta en una expansión significativamente aumentada (es decir, aumento en el volumen de expansión de hasta 300% o mayor) cuando la escama se somete posteriormente a intercalado y exfoliación. De hecho, de manera deseable, el aumento en la expansión es al menos aproximadamente 50% en comparación con procesamiento similar sin el paso de recocido. Las temperaturas empleadas para el paso de recocido no deberían estar significativamente por debajo de 3000°C, debido a que las temperaturas incluso 100°C más bajas resultan en una expansión básicamente reducida.

El recocido de la presente invención se realiza durante un periodo de tiempo suficiente como para que resulte en una escama que tenga un grado mejorado de expansión tras el intercalado y la posterior exfoliación. Típicamente, el tiempo requerido será de 1 hora o más, preferiblemente 1 a 3 horas y procederá más ventajosamente en un ambiente inerte. Para resultados beneficiosos máximos, la escama de grafito recocido también se someterá a otros procesos conocidos en la técnica para mejorar la expansión de grado - principalmente el intercalado en presencia de un agente reductor orgánico, un auxiliar de intercalado tal como un ácido orgánico y un lavado con surfactante después del intercalado. Más aun, para resultados beneficiosos máximos, el paso de intercalado puede repetirse.

El paso de recocido de la presente invención puede realizarse en un horno de inducción u otro aparato tal como se conoce y aprecia en la técnica de la grafitización; para las temperaturas empleadas aquí, que se encuentran en el rango de 3000°C, se encuentran en el extremo alto del rango encontrado en los procesos de grafitización.

Debido a que se ha observado que los gusanos producidos usando grafito sometido a recocido antes del intercalado a veces pueden "aglomerarse", lo cual puede impactar de manera negativa en la uniformidad del peso por área, un aditivo que asiste en la formación de gusanos de "flujo libre" es altamente deseable. La adición de un aditivo lubricante a la solución de intercalado facilita la distribución más uniforme de los gusanos por el lecho de un aparato de compresión, tal como el lecho de una estación de calandria usada convencionalmente para la compresión (o "calandrado") de gusanos del grafito en la lámina de grafito flexible. La lámina resultante, por lo tanto, tiene una uniformidad de peso por área más alta y mejor resistencia a la tensión. El aditivo lubricante es preferiblemente un hidrocarburo de cadena larga, más preferiblemente un hidrocarburo que tiene al menos aproximadamente 10 carbonos. También pueden emplearse otros compuestos orgánicos que tienen grupos de hidrocarburos de cadena larga, incluso si hay presentes otros grupos funcionales.

Más preferiblemente, el aditivo lubricante es un aceite siendo un aceite mineral más preferido, especialmente considerando el hecho de que los aceites minerales son menos propensos a rancidez y olores, lo que puede ser una consideración importante para el almacenamiento a largo plazo. Cabe destacar que ciertos auxiliares de expansión detallados anteriormente también cumplen con la definición de un aditivo lubricante. Cuando estos materiales se usan como el auxiliar de expansión, puede no ser necesario incluir un aditivo lubricante separado en el intercalante.

El aditivo lubricante está presente en el intercalante en una cantidad de al menos aproximadamente 1,4 pph, más preferiblemente al menos aproximadamente 1,8 pph. Aunque el límite superior de la inclusión del aditivo lubricante no es tan crítico como el límite inferior, no parece que haya ninguna ventaja significativa al incluir el aditivo lubricante a un nivel de más de aproximadamente 4 pph.

La lámina de grafito flexible también puede ser, a veces, tratada de manera ventajosa con resina y la resina absorbida, después del curado, mejora la resistencia a la humedad y la resistencia a la manipulación, es decir, la rigidez de la lámina de grafito flexible, y "arregla" la morfología de la lámina. El contenido de resina adecuado es preferiblemente al menos aproximadamente 5% en peso, más preferiblemente aproximadamente 10 a 35% en peso y adecuadamente hasta aproximadamente 60% en peso. Las resinas encontradas especialmente útiles en la práctica de la presente invención incluyen sistemas de resinas acrílicas, epoxi y fenólicas, polímeros en base a fluoro o mezclas de los mismos. Los sistemas de resina epoxi adecuados incluyen los basados en éter diglicidílico de bisfenol A (DGEBA) y otros sistemas de resina multifuncionales; las resinas fenólicas que pueden emplearse incluyen resol y fenólicos de novolac. Opcionalmente, el grafito flexible puede impregnarse con fibras y/o sales además de la resina o en lugar de la resina. Asimismo, pueden emplearse aditivos reactivos o no reactivos con el sistema de resina para modificar propiedades (tales como pegajosidad, flujo del material, hidrofobicidad, etc.). Para maximizar la conductividad térmica de los materiales impregnados de resina, la resina puede curarse a temperaturas y presión elevadas. Más particularmente, el curado a temperaturas de al menos aproximadamente 90°C y presiones de al menos aproximadamente 7 megapascuales (MPa) producirá materiales de grafito que tienen conductividades

térmicas superiores (de hecho, pueden alcanzarse las conductividades térmicas en exceso en el plano de las observadas con cobre).

Alternativamente, las láminas de grafito flexible de la presente invención pueden utilizar partículas de láminas de grafito flexible rectificado en lugar de gusanos recientemente expandidos, como se describe en la Solicitud de Patente Internacional No. PCT/US02/16730. Las láminas pueden ser material de láminas recientemente formadas, material de láminas recicladas, material de láminas de desecho o cualquier otra fuente adecuada.

Además, los procesos de la presente invención pueden usar una mezcla de materiales vírgenes y materiales reciclados.

El material de origen para materiales reciclados puede ser láminas o porciones recortadas de láminas que han sido moldeadas por compresión como se describió anteriormente, o láminas que se han comprimido con, por ejemplo, rodillos previos al calandrado, pero aún no se han impregnado con resina. Más aun, el material de origen puede ser láminas o porciones recortadas de láminas que han sido impregnadas con resina, pero aún no han sido curadas o láminas o porciones recortadas de láminas que han sido impregnadas con resina y curadas. El material de origen también puede ser componentes de celdas de combustible de membranas de intercambio protónico (PEM) de grafito flexible reciclado, tales como placas de campo de flujo o electrodos. Las diversas fuentes de grafito pueden usarse solas o mezcladas con escamas de grafito natural.

Una vez que el material de origen de las láminas de grafito flexible está disponible, entonces puede triturarse mediante procesos o dispositivos conocidos, tales como molido de chorro, molido de aire, mezclador, etc., para producir partículas. Preferiblemente, la mayoría de las partículas tiene un diámetro de manera que pasará a través de malla U.S. 20; más preferiblemente una porción mayor (mayor que aproximadamente 20%, más preferiblemente mayor que aproximadamente 50%) pasará a través de la malla U.S. 80. Más preferiblemente las partículas tienen un tamaño de partícula de no más de aproximadamente una malla 20. Puede ser deseable enfriar la lámina de grafito flexible cuando está impregnada con resina ya que está siendo triturada para evitar daño por calor al sistema de resina durante el proceso de trituración.

El tamaño de las partículas trituradas puede elegirse para equilibrar la maquinabilidad y la moldeabilidad del artículo de grafito con las características térmicas deseadas. Por lo tanto, las partículas más pequeñas resultarán en un artículo de grafito que es más fácil de fabricar y/o formar, mientras que las partículas más grandes resultarán en un artículo de grafito que tiene una anisotropía más alta y, por lo tanto, una mayor conductividad eléctrica y térmica en el plano.

Si el material de origen ha sido resina impregnada, entonces preferiblemente se retira la resina de las partículas. Detalles de la eliminación de resina se describen adicionalmente a continuación.

Una vez que se tritura el material de origen y se retira cualquier resina, entonces se vuelve a expandir. La re-expansión puede ocurrir al usar el proceso de intercalado y exfoliación descrito anteriormente y los descritos en la Patente de los Estados Unidos No. 3.404.061 de Shane et al. y Patente de los Estados Unidos No. 4.895.713 de Greinke et al.

Típicamente, después del intercalado las partículas se exfolian calentando las partículas intercaladas en un horno. Durante este paso de exfoliación, las escamas de grafito natural intercaladas pueden agregarse a las partículas intercaladas recicladas. Preferiblemente, durante el paso de re-expansión las partículas se expanden para tener un volumen específico en el rango de al menos aproximadamente 100 cc/g y hasta aproximadamente 350 cc/g o mayor. Finalmente, después del paso de re-expansión, las partículas re-expandidas pueden comprimirse en láminas flexibles, como se describe más adelante.

Si el material de origen se ha impregnado con una resina, la resina debería ser preferiblemente al menos parcialmente retirada de las partículas. El paso de remoción debería ocurrir entre el paso de trituración y el paso de re-expansión.

En una realización, el paso de remoción incluye calentar la resina que contiene partículas rectificadas, tales como sobre una llama abierta. Más específicamente, la resina impregnada puede calentarse hasta una temperatura de al menos aproximadamente 250°C para efectuar la remoción de la resina. Durante este paso de calentamiento debe tenerse cuidado de evitar la ignición de los productos de descomposición de resina; esto puede realizarse mediante calentamiento cuidadoso al aire o mediante calentamiento en una atmósfera inerte. Preferiblemente, el calentamiento debería estar en el rango de aproximadamente 400°C a aproximadamente 800°C durante un tiempo en el rango de al menos aproximadamente 10 y hasta aproximadamente 150 minutos o más.

Asimismo, el paso de remoción de resina puede resultar en una mayor resistencia a la tensión del artículo resultante producido a partir del proceso de moldeo en comparación con un método similar en el cual no se retira la resina. El paso de remoción de resina también puede ser ventajoso porque durante el paso de expansión (es decir, intercalado y exfoliación), cuando la resina se mezcla con los químicos de intercalado, puede crear en ciertas instancias productos derivados tóxicos.

Por lo tanto, al retirar la resina antes del paso de expansión se obtiene un producto superior tal como las características de resistencia aumentadas descritas anteriormente. Las características de resistencia aumentadas son un resultado en parte debido a la expansión aumentada. Con la resina presente en las partículas, puede restringirse la expansión.

- 5 Además de las características de resistencia y preocupaciones ambientales, la resina puede retirarse antes del intercalado en vista de las preocupaciones sobre la resina posiblemente creando una reacción exotérmica fuera de control con el ácido.

En vista de lo anterior, se retira preferiblemente la mayor parte de la resina. Más preferiblemente, se retira más de aproximadamente el 75% de la resina. Más preferiblemente, se retira más del 99% de la resina.

- 10 Una vez que la lámina de grafito flexible se tritura, se le da la forma deseada y luego se cura (cuando se impregna con resina) en la realización preferida. Alternativamente, la lámina puede curarse antes de ser triturada, aunque se prefiere el curado posterior a la trituración.

- 15 Opcionalmente, la lámina de grafito flexible usada para formar la solución térmica de la invención puede usarse como un laminado, con o sin un adhesivo entre las capas de laminado. Las capas que no son de grafito pueden incluirse en la pila de laminado, aunque esto puede necesitar el uso de adhesivos, lo que puede ser desfavorable, ya que puede retardar la disipación térmica en el plano de la pila de laminado. Dichas capas que no son de grafito pueden incluir metales, plásticos u otros materiales no metálicos, tales como fibra de vidrio o cerámicas.

- 20 Como se indicó anteriormente, las láminas de partículas comprimidas de grafito exfoliado formadas de esta manera tienen naturaleza anisotrópica, es decir, la conductividad térmica de las láminas es mayor en las direcciones en el plano o "a", en contraposición a la dirección a través de la lámina o dirección "c". De esta manera, la naturaleza anisotrópica de la lámina de grafito dirige el calor a lo largo de la dirección del plano de la solución térmica (es decir, en la dirección "a" a lo largo de la lámina de grafito). Dicha lámina en general tiene una conductividad térmica en la dirección en el plano de al menos aproximadamente 140, más preferiblemente al menos aproximadamente 200 y más preferiblemente al menos aproximadamente 250 W/m²K y en la dirección a través del plano de no más de aproximadamente 12, más preferiblemente no más de aproximadamente 10 y más preferiblemente no más de aproximadamente 6 W/m²K. Por lo tanto, la solución térmica tiene una relación anisotrópica térmica (es decir, la relación entre la conductividad térmica en el plano y la conductividad térmica a través del plano) de no menos de aproximadamente 10.

- 30 Los valores de conductividad térmica en las direcciones en el plano y a través del plano del laminado pueden ser manipuladas al alterar la alineación direccional de las capas de grafeno de las láminas de grafito flexible usadas para formar la solución térmica, incluyendo si se usa para formar un laminado o al alterar la alineación direccional de las capas de grafeno del laminado en sí después de que se ha formado. De esta manera, la conductividad térmica en el plano de la solución térmica aumenta, mientras que la conductividad térmica a través del plano de la solución térmica disminuye, lo que resulta en un aumento de la relación anisotrópica térmica.

- 35 Una de las maneras en que esta alineación direccional de las capas de grafeno puede alcanzarse es mediante la aplicación de presión a las láminas de grafito flexibles del componente, ya sea mediante calandrado de las láminas (es decir, a través de la aplicación de fuerza de corte) o mediante prensado por troquel o prensado por placa de presión recíproca (es decir a través de la aplicación de compactación), siendo el calandrado más efectivo al producir una alineación direccional. Por ejemplo, con el calandrado de las láminas a una densidad de 1,7 g/cc, en oposición a 1,1 g/cc, la conductividad térmica en el plano aumenta de aproximadamente 240 W/m²K a aproximadamente 450 W/m²K o más y la conductividad térmica a través del plano disminuye proporcionalmente, aumentando así la relación anisotrópica térmica de las láminas individuales y, por extensión, cualquier laminado formado por ellas.

- 45 Alternativamente, si se forma un laminado, se aumenta la alineación direccional de las capas de grafeno que componen el laminado aproximadamente, tal como mediante la aplicación de presión, resultando en una densidad mayor que la densidad de partida de las láminas de grafito flexibles del componente que componen el laminado. De hecho, puede obtenerse una densidad final para el artículo laminado de al menos aproximadamente 1,4 g/cc, más preferiblemente al menos aproximadamente 1,6 g/cc y hasta aproximadamente 2,0 g/cc de esta manera. La presión puede aplicarse por medios convencionales, tales como prensado por troquel o calandrado. Las presiones de al menos aproximadamente 60 MPa se prefieren, siendo presiones de al menos aproximadamente 550 MPa y más preferiblemente al menos aproximadamente 700 MPa necesarias para alcanzar densidades de hasta 2,0 g/cc.

- 50 De manera sorprendente, aumentar la alineación direccional de las capas de grafeno puede aumentar la conductividad térmica en el plano del laminado de grafito para conductividades que son iguales o incluso mayores que las de cobre puro, mientras que la densidad sigue siendo una fracción de la de cobre puro. Asimismo, el laminado alineado resultante también exhibe una mayor resistencia, en comparación con un laminado no "alineado".

- 55 Una vez que se forma el material de grafito flexible, ya sea como una lámina única o un laminado, se intercala entonces entre dos capas externas. Más preferiblemente, el núcleo de grafito del sándwich tiene entre aproximadamente 0,05 y aproximadamente 2 mm de espesor.

Como se indicó anteriormente, las capas externas pueden comprender un material plástico o una cerámica, pero son más preferiblemente metálicas y más preferiblemente de aluminio. Además del aluminio, las capas externas elegidas pueden comprender cobre, magnesio, titanio, nitruro de titanio, nitruro de boro y carburo de silicio. Estas capas externas deberían tener cada una no más de aproximadamente 10 mm de espesor, más preferiblemente no más de aproximadamente 7,5 mm de espesor, para mantener el sándwich de la invención tan delgado como sea prácticamente posible. De hecho, el espesor de las capas externas es más preferiblemente de entre aproximadamente 0,02 mm y aproximadamente 4 mm.

Como se describió anteriormente, el sándwich puede formarse fusionando/soldando las capas externas juntas alrededor del núcleo de grafito o usando adhesivos o doblando o prensando las capas externas alrededor de sí mismas, encapsulando así el material de grafito entre las capas externas. En la realización más preferida, las capas externas se adhieren entre sí, con el adhesivo aplicado solo donde las dos capas externas se unen unas a otras, para evitar cualquier disminución de transferencia de calor entre las capas externas y el núcleo de grafito.

Como se indicó anteriormente, la solución térmica tipo sándwich se forma usando materiales elegidos para las capas externas y el espesor de las tres capas de manera de proporcionar una función térmica, denominada F_x , para cada una de las capas externas en combinación con el núcleo gráfico de entre aproximadamente -10 y aproximadamente +7, determinada por la siguiente fórmula:

$$F_x = \log \left[\left(\frac{Y_1 \text{Espesor}_1 T_{c1}}{Y_2 \text{Espesor}_2 T_{c2}} \right) \times 1 / \left(100 \times d_1 / d_2 \right) \right]$$

donde Y_1 es el módulo de Young para una de las capas externas e Y_2 es el módulo de Young para el núcleo gráfico; Espesor_1 es el espesor en milímetros (mm) de la capa externa y Espesor_2 es el espesor del núcleo gráfico; T_{c1} es la conductividad térmica de la capa externa y T_{c2} es la conductividad térmica del núcleo gráfico; y d_1 es la densidad de la capa externa y d_2 es la densidad del núcleo gráfico.

De esta manera, tanto la conductividad térmica como la difusividad térmica del sándwich de la invención pueden optimizarse de manera que se minimiza el Δt y se proporciona una solución térmica efectiva.

Haciendo referencia ahora a los dibujos y particularmente a las Figs. 1 y 3, una realización de la solución térmica de la presente invención se muestra y en general se designa con el numeral 10. Como se ilustra en la Fig. 3, la solución térmica 10 comprende un sándwich que tiene superficies principales 10a y 10b y comprende una lámina de partículas comprimidas de grafito exfoliado 20 intercalada entre las capas externas 30 y 40. Una de las superficies principales 10a o 10b de la solución térmica 10 tiene un tamaño para ser posicionada en contacto operativo con una fuente de calor, denotada 100, tal como un componente electrónico como un disco duro de un ordenador portátil o un conjunto de chips de un teléfono celular, de manera que el calor generado por la fuente de calor 100 se disipe en una solución térmica 10. El área de la superficie principal 10a o 10b que está en contacto con la fuente de calor 100 es más grande que el área de contacto con la fuente de calor 100, de manera que la solución térmica 10 dispersa el calor desde la fuente de calor 100.

Más aun, una de las superficies principales 10a o 10b de la solución térmica 10 puede estar en contacto operativo con un dispositivo de disipación de calor 110, tal como un disipador de calor, tubo de calor, placa de calor, etc. El dispositivo de disipación de calor 110 puede ponerse en contacto con la solución térmica 10 ya sea en la misma superficie principal 10a o 10b como en la fuente de calor 100. Debido a la naturaleza anisotrópica del núcleo de grafito 20 de la solución térmica 10, el calor de la fuente de calor 100 se dispersa así al dispositivo de disipación de calor 110 para disipar de este modo el calor generado. De esta manera, la solución térmica actúa como un dispersador de calor para dispersar el calor generado por la fuente de calor 100, incluyendo dispersar el calor al dispositivo de disipación de calor 110.

Sin embargo, debido a la relación anisotrópica térmica relativamente alta de la solución térmica 10, el calor de la fuente de calor 100 no se transmite de manera efectiva a través del plano de la solución térmica 10 desde una de las superficies principales 10a o 10b en contacto operativo con la fuente de calor 100 a la otra. Por lo tanto, el calor no se transmite de manera efectiva a una superficie externa del dispositivo en el cual la fuente de calor 10 está ubicada (tal como un ordenador portátil o un teléfono celular), reduciendo la temperatura de dicha superficie externa (hasta 10°C o más en algunos casos), cuando la solución térmica 10 se dispone entre la fuente de calor 10 y la superficie externa.

De la misma manera, el calor no se transmite de manera efectiva a otro componente dentro del dispositivo en el cual está ubicada la fuente de calor 10 (tal como un ordenador portátil o un teléfono celular), reduciendo la temperatura a la cual dicho otro componente está expuesto, cuando se dispone la solución térmica 10 entre la fuente de calor 10 y el otro componente.

Las Figs. 2a y 2b ilustran el posicionamiento de la solución térmica 10 en un ordenador portátil 120 para lograr el aspecto ventajoso del diseño de la invención. Como se observa en la Fig. 2a, el ordenador portátil 120 puede tener, bajo su cubierta protectora, una cantidad de componentes, incluyendo uno o más componentes generadores de

calor, denotados 122. Además, el ordenador portátil 120 puede tener dispositivos de disipación de calor, tales como un disipador de calor 124. Sin embargo, debido a las limitaciones de espacio, no siempre es posible colocar el disipador de calor 124 adyacente a los componentes generadores de calor 122.

5 Sin embargo, en la Fig. 2b, la solución térmica 10 está posicionada en el ordenador portátil 120 para superponer el componente generador de calor 122 y el disipador de calor 124. Por lo tanto, el calor puede fluir ahora desde el componente generador de calor 122 al disipador de calor 124 para su disipación. Más aun, debido a la conductividad térmica a través del plano relativamente baja de la solución térmica 10, el calor no fluye a través de la solución térmica 10 de manera efectiva, previniendo el sobrecalentamiento del ambiente protegido por la solución térmica 10. Esto no sería posible si se usara un material más isotrópico tal como el cobre o aluminio sin un núcleo grafitico.

10 Más aun, debido a la naturaleza moldeable de las capas externas metálicas 30 y 40 de la solución térmica 10, la solución térmica 10 puede formarse de manera de seguir los contornos de los componentes dentro del ordenador portátil 120, como se ilustra en la Fig. 2b, no requiriendo así mucho espacio adicional.

Si lo desea, puede aplicar un recubrimiento protector a la solución térmica 10, para aumentar el efecto protector térmico de la solución térmica 10. Los recubrimientos protectores adecuados pueden comprender cualquier material adecuado suficiente para el propósito indicado, tal como un material termoplástico como el polietileno, un poliéster o una poliimida.

20 El recubrimiento protector puede aplicarse a la solución térmica 10 mediante varios procesos diferentes. Por ejemplo, una vez que se forma la solución térmica 10, el material a partir del cual se forma el recubrimiento protector puede recubrirse en la solución térmica individual 10. Con ese fin, el recubrimiento protector puede aplicarse por varios métodos de recubrimiento familiares para un experto en la técnica, tal como un recubrimiento por pulverización, revestimiento por rodillo y prensado por laminado en caliente. El recubrimiento protector también puede aplicarse mediante mapeo y laminación mecánicos.

25 En general, el proceso de recubrimiento adhiere el recubrimiento protector a la solución térmica 10 con suficiente resistencia para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, si se desea, o para recubrimientos protectores relativamente no adhesivos, tales como materiales de poliéster Mylar® y materiales de poliimida Kapton (ambos comercializados por E.I. du Pont de Nemours and Company de Wilmington, Delaware), puede aplicarse una capa de adhesivo entre la solución térmica 10 y el recubrimiento protector. Los adhesivos adecuados son los que pueden facilitar la adhesión del recubrimiento protector a la solución térmica 10, tal como adhesivos acrílicos o de látex.

Ejemplos

30 Ejemplo I

Las características térmicas de las diversas realizaciones del sándwich de la invención se compararon con las de varios materiales a menudo empleados como soluciones térmicas para equipos electrónicos, midiendo la conductividad térmica (Tc), expresada como W/m²K, y la difusividad térmica (Td), expresada como mm²/seg. Cada una de las muestras evaluadas tenía 1,3 mm en total de espesor y comprendió:

- 35 (1) grafito flexible;
 (2) cobre;
 (3) aluminio;
 (4) nitruro de aluminio;
 (5) un sándwich formado por 0,5 mm de cobre, 1,2 mm de grafito flexible de material (1) y 0,5 mm de cobre;
 40 (6) un sándwich formado por 0,5 mm de aluminio, 1,2 mm de grafito flexible de material (1) y 0,5 mm de aluminio; y
 (7) un sándwich formado por 0,5 mm de nitruro de aluminio, 1,2 mm de grafito flexible de material (1) y 0,5 mm de nitruro de aluminio.

Los resultados se muestran en la Tabla I:

Tabla I

Muestra	Conducción térmica	Difusión térmica
Grafito	240	230
Cu	368	108

Al	210	98
Nitruro de aluminio	35	12
Cu — grafito — Cu	345	278
Al — grafito — Al	383	324
Nitruro de aluminio — grafito — Nitruro de aluminio	100	145

Ejemplo II

Las características térmicas de las diferentes realizaciones del sándwich de la invención se compararon con las de varios materiales a menudo empleados como soluciones térmicas para equipos electrónicos, midiendo la conductividad térmica (T_c), expresada como W/m^2K , y la difusividad térmica (T_d), expresada como mm^2/seg . Cada una de las muestras evaluadas tenía 1,5 mm en total de espesor y comprendió:

(1) aluminio;

(2) silicio;

(3) grafito flexible;

(4) un sándwich formado por 0,1 mm de aluminio, 1,3 mm de silicio y 0,1 mm de aluminio;

(5) un sándwich formado por 0,1 mm de silicio, 1,3 mm de aluminio y 0,1 mm de silicio;

(6) un sándwich formado por 0,1 mm de aluminio, 1,3 mm de grafito flexible de material (3) y 0,1 mm de aluminio; y

(7) un sándwich formado por 0,1 mm del grafito flexible del material (3), 1,3 mm de aluminio y 0,1 mm del grafito flexible del material (3).

Los resultados se muestran en la Tabla II:

Tabla II

Muestra	Conducción térmica	Difusión térmica
Al	210	98
silicio	0,6	0,04
grafito	240	230
Al — silicio — Al	1,8	0,23
silicio — Al — silicio	0,8	0,05
Al — grafito — Al	383	324
grafito — Al — grafito	260	245

Ejemplo III

Se preparó una serie de soluciones térmicas tipo sándwich, usando materiales de grafito que tienen diferentes conductividades térmicas. En cada caso, el sándwich tuvo 1,55 mm de espesor, 15 mm de ancho y 400 mm de longitud. Los sándwiches se sometieron a 200 toneladas de presión para eliminar aire entre las capas. Se colocó una fuente de calor de 10 watt a 20 mm de uno de los bordes del sándwich, se colocó una primera termocupla a 20 mm de un borde del sándwich opuesta a la fuente de calor y se colocó una segunda termocupla a 200 mm de la primera termocupla. Se calculó entonces la conductividad térmica y la difusividad térmica de cada muestra. Las muestras evaluadas fueron:

(1) un sándwich formado por 0,05 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito que tiene una conductividad térmica de $200 W/m^2K$ y 0,05 mm de aluminio;

- (2) un sándwich formado por 0,05 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito que tiene una conductividad térmica de 400 W/m²K y 0,05 mm de aluminio;
- (3) un sándwich formado por 0,05 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito que tiene una conductividad térmica de 500 W/m²K y 0,05 mm de aluminio;
- 5 (4) un sándwich formado por 0,05 mm de aluminio, 1,45 mm de laminado de grafito que tiene una conductividad térmica de 800 W/m²K y 0,05 mm de aluminio;
- (5) un sándwich formado por 0,05 mm de aluminio, 1,45 mm de laminado de grafito que tiene una conductividad térmica de 1000 W/m²K y 0,05 mm de aluminio.

Los resultados se muestran en la Tabla III:

10

Tabla III

Muestra	Tc del núcleo	Tc de la capa externa	Tc del sándwich	Td del sándwich
1	200	240	360	312
2	400	240	550	355
3	500	240	600	380
4	800	240	760	400
5	1000	240	940	410

Ejemplo IV

Se preparó una serie de soluciones térmicas tipo sándwich, usando diferente espesor de aluminio como las capas externas, para demostrar qué efecto tiene el espesor de la capa externa en las características térmicas. En cada caso, el sándwich tuvo 15 mm de ancho y 400 mm de longitud. Los sándwiches se sometieron a 200 toneladas de presión para eliminar aire entre las capas. Se colocó una fuente de calor de 10 watt a 20 mm de uno de los bordes del sándwich, se colocó una primera termocupla a 20 mm de un borde del sándwich opuesta a la fuente de calor y se colocó una segunda termocupla a 200 mm de la primera termocupla. Se calculó entonces la conductividad térmica y la difusividad térmica de cada muestra. Las muestras evaluadas fueron:

15

20

(1) un sándwich formado por 0,1 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito flexible que tiene una conductividad térmica de 200 W/m²K y 0,1 mm de aluminio;

(2) un sándwich formado por 1 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito flexible que tiene una conductividad térmica de 200 W/m²K y 1 mm de aluminio;

25

(3) un sándwich formado por 3 mm de aluminio, 1,45 mm de grafito flexible que tiene una conductividad térmica de 200 W/m²K y 3 mm de aluminio.

Los resultados se muestran en la Tabla IV:

Tabla IV

Espesor del aluminio	Conductividad térmica	Difusión térmica
0,1 mm	380	312
1 mm	300	280
3 mm	260	220

Ejemplo V

30

Se preparó una serie de soluciones térmicas tipo sándwich, donde una de las capas externas tiene diferentes espesores, para demostrar el efecto que la función térmica tiene en Δt . En cada caso, el sándwich tuvo 15 mm de ancho y 400 mm de longitud. Los sándwiches se sometieron a 200 toneladas de presión para eliminar aire entre las capas. Se colocó una fuente de calor de 10 watt a 20 mm de uno de los bordes del sándwich, se colocó una primera

termocupla a 20 mm de un borde del sándwich opuesta a la fuente de calor y se colocó una segunda termocupla a 200 mm de la primera termocupla. Se calculó entonces la conductividad térmica y la difusividad térmica de cada muestra. Las muestras se evaluaron usando 1,45 mm de grafito flexible que tiene una conductividad térmica de 200 W/m²K intercalado entre las capas de aluminio. Los resultados se muestran en la Tabla V:

5

Tabla V

Capa externa -1		Capa externa - 2		Δt
espesor	Fx	espesor	Fx	
0,05	4,51	0,05	4,51	4
0,05	4,51	4	8,90	9
0,05	4,51	0,15	5,61	6

10

Por lo tanto, mediante el uso de la presente invención, la protección térmica y la dispersión térmica del calor generado por el componente de un dispositivo electrónico, para disipar el calor así como reducir la "temperatura al tacto" del dispositivo y el calor transmitido a componentes adyacentes. Estas funciones no pueden lograrse con materiales de disipación de calor más tradicionales como el cobre o aluminio que, debido a sus naturalezas isotrópicas, harían poco para reducir la temperatura al tacto o el calor transmitido a los componentes adyacentes. Los materiales aislantes que podrían usarse para reducir la temperatura al tacto y el calor transmitido a los componentes adyacentes no disiparían el calor y resultaría en acumulación de calor alrededor del componente de la fuente de calor.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de disipación y protección térmica para un dispositivo electrónico que comprende una solución térmica (10) que comprende dos superficies principales (10a, 10b) y que comprende al menos una lámina de grafito flexible (20) intercalada entre dos capas externas (30, 40), en donde las dos capas externas están hechas de diferentes materiales y en donde las capas externas comprenden materiales seleccionados del grupo que consiste en plásticos, metales y compuestos o combinaciones de los mismos.
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el dispositivo electrónico comprende una superficie externa y un primer componente que comprende una fuente de calor (10c); y en donde la solución térmica (10) está posicionada de manera que una de sus superficies principales (10a, 10b) se encuentra en contacto operativo con el primer componente de manera que está interpuesta entre el primer componente y una superficie externa del dispositivo electrónico.
3. El sistema de la reivindicación 1 o reivindicación 2, en donde el dispositivo electrónico comprende además un dispositivo de disipación de calor (110) separado del primer componente y en donde además una de las superficies principales (10a, 10b) de la solución térmica (10) está en contacto operativo con el dispositivo de disipación de calor (110).
4. El sistema de la reivindicación 3, en donde el dispositivo de disipación de calor (110) comprende un disipador de calor, un tubo de calor, una placa de calor o cualquier combinación de los mismos.
5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde un material de transferencia térmica se posiciona entre la solución térmica (10) y el primer componente.
6. El sistema de la reivindicación 5, en donde el material de transferencia térmica comprende un metal o una interfaz térmica.
7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en donde el dispositivo electrónico es un ordenador portátil (120) y la superficie externa comprende una porción de la cubierta del ordenador portátil.
8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7 que comprende además un material comprimible dispuesto en el lado opuesto de la fuente de calor como la solución térmica para desviar la fuente de calor contra la solución térmica.
9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde una capa externa comprende un material de metal seleccionado de cobre, aluminio, magnesio y titanio.
10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde la función térmica, denominada Fx, para cada una de las capas externas en combinación con el núcleo grafitico, es de aproximadamente -10 a aproximadamente +7, determinada por la siguiente fórmula:
$$Fx = \log \left[\left(\frac{Y_1 \text{Espesor}_1 T_{c1}}{Y_2 \text{Espesor}_2 T_{c2}} \right) x 1 / \left(100 x d_1 / d_2 \right) \right]$$
donde Y₁ es el módulo de Young para una de las capas externas e Y₂ es el módulo de Young para el núcleo grafitico; Espesor₁ es el espesor en milímetros (mm) de la capa externa y Espesor₂ es el espesor del núcleo grafitico; T_{c1} es la conductividad térmica de la capa externa y T_{c2} es la conductividad térmica del núcleo grafitico; y d₁ es la densidad de la capa externa y d₂ es la densidad del núcleo grafitico.
11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la solución térmica (10) tiene una conductividad térmica en el plano de al menos aproximadamente 140 W/m°K.
12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la solución térmica (10) tiene una conductividad térmica a través del plano de no más de aproximadamente 12 W/m°K.
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde la solución térmica (10) tiene una relación anisotrópica térmica de menos de 10.
14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde la solución térmica (10) comprende además un recubrimiento protector sobre la misma.
15. El sistema de la reivindicación 14, en donde el recubrimiento protector tiene una conductividad térmica menor que la conductividad térmica a través del plano de al menos una lámina de grafito flexible (20).
16. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15 que comprende además un material adhesivo aplicado a las superficies de las capas externas y/o las capas de grafito para adherir las capas externas entre sí y/o al grafito.

17. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en donde la solución térmica bloquea la interferencia electromagnética y de radiofrecuencia (EMI/RF).
18. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 que comprende además una capa de un material térmicamente no conductor superpuesto en la solución térmica.
- 5 19. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en donde la lámina de grafito flexible tiene entre 0,05 y 2 mm de espesor.
20. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en donde las capas externas no son mayores a 10mm de espesor y tienen preferiblemente entre 0,02mm y 4mm de espesor.
- 10 21. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en donde la solución térmica comprende una lámina anisotrópica de partículas comprimidas de grafito exfoliado.
22. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en donde la solución térmica comprende una o más láminas de grafito pirolítico, ya sea individualmente o como un laminado.
23. Un dispositivo electrónico que comprende el sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22.

