

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 011 533**

51 Int. Cl.:

F28D 20/02	(2006.01)
C09K 5/06	(2006.01)
F01K 23/02	(2006.01)
F02G 1/04	(2006.01)
F03G 6/06	(2006.01)
F01K 3/02	(2006.01)
F01K 3/12	(2006.01)
F01K 3/18	(2006.01)
F28D 20/00	(2006.01)
F28F 21/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.05.2018 PCT/AU2018/050405**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.11.2018 WO18201193**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2018 E 18794502 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2024 EP 3619490**

54 Título: **Aparato de almacenamiento de energía térmica**

30 Prioridad:

03.05.2017 AU 2017901612

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

07.04.2025

73 Titular/es:

**CLIMATE CHANGE TECHNOLOGIES PTY LTD
(100.00%)
13 Greenhill Road
Wayville, South Australia 5034, AU**

72 Inventor/es:

**WARBURTON, GRAHAM y
PARKINSON, NEIL**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 3 011 533 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato de almacenamiento de energía térmica

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato de almacenamiento de energía térmica.

5 Antecedentes de la invención

En los últimos años se ha producido un esfuerzo para abandonar los combustibles fósiles como fuente de energía. El avance hacia lo que generalmente se caracteriza como "energías renovables" o fuentes de combustible más limpias ha visto un desarrollo significativo en el uso de energía solar o eólica como un medio para proporcionar formas utilizables de energía.

10 Sin embargo, la consistencia del suministro y la estabilidad de la red eléctrica es un problema importante con las energías renovables. Por ejemplo, por su propia naturaleza, el mayor problema de la energía solar es el hecho de que, en determinados momentos del día, el sol no puede proporcionar el flujo necesario de fotones a diversos dispositivos que utilizan energía solar. De manera similar, las turbinas eólicas y similares solo son eficaces cuando hay suficiente fuerza del viento para impulsarlas.

15 El suministro interrumpido o inconsistente de energía desde una fuente la hace, en muchos casos, poco fiable y también poco económica, limitando así el uso potencial de la fuente.

Además, en determinados momentos los rayos del sol pueden ser tan excesivos que el calor y la energía resultantes se disipan en forma de exceso de oferta, en lugar de ser aprovechables por un dispositivo alimentado por energía solar.

20 Un intento anterior para abordar las dificultades anteriores utilizó un material metaloide de silicio como un medio para almacenar energía térmica dentro del material para su uso en un momento posterior, por ejemplo, cuando la entrada de energía solar ya no estaba disponible, tal como durante las noches o en épocas de tiempo inclemente. Durante la actividad solar máxima, el material metaloide de silicio absorbería energía térmica al experimentar un cambio de fase de un sólido a un líquido.

25 El material metaloide de silicio se caracteriza en parte por la propiedad de que, al experimentar un cambio de fase de líquido a sólido, hay una expansión del material en lugar de una contracción como se esperaría para la mayoría de los otros materiales.

La energía térmica almacenada dentro del material metaloide de silicio podría convertirse en acción eléctrica y/o mecánica a través de dispositivos eléctricos tales como un motor Stirling o

30 Turbina y demás, proporcionando así una fuente de energía en momentos en que la actividad solar no estaba disponible.

Una desventaja del material metaloide de silicio es que requiere un cuidado y una comprensión significativos de su transformación física durante su expansión y contracción, ya que absorbe y libera energía térmica durante los cambios de fase. La expansión y contracción del material metaloide de silicio crea una acumulación significativa de presión en la carcasa en la que se coloca. Por ejemplo, si un material metaloide de silicio en forma de lingotes se coloca directamente en contacto con un material refractario que absorbe el calor, tal como el grafito, el metaloide sería absorbido por el grafito al experimentar un cambio de fase a su forma líquida. Si el metaloide de silicio se almacena en una carcasa separada antes de ser insertado en el material refractario, la acumulación continua de presión y el colapso de los lingotes de metaloide de silicio a medida que experimentan cambios de fase pueden provocar la fisuración de la carcasa.

40 Si los lingotes se almacenan dentro de carcasas separadas, también sería necesario que la carcasa de los lingotes de metaloide de silicio transporte de manera eficiente el calor, liberado durante el cambio de fase del material de metaloide de silicio, al grafito circundante.

45 La solicitud de patente internacional no. PCT/AU2010/001035 (publicada como WO 2011/017767) trató de abordar estos problemas al proporcionar una carcasa en forma de un recipiente alargado formado de cerámica, el recipiente alargado que incluye un punto de dispersión de presión en su base para dispersar y controlar la expansión, y una serie de ranuras en uno de sus extremos, la serie de ranuras que actúan como un disipador de calor. En el aparato de almacenamiento de energía térmica descrito en el documento PCT/AU2010/001035 se utilizan una serie de dichos recipientes para almacenar metaloide de silicio y se empaquetan en una disposición intercalada con una serie de varillas de grafito sinterizado. Sin embargo, se ha descubierto que en 50 una disposición de este tipo los recipientes son propensos a agrietarse, particularmente en la región de las ranuras.

Además, el aparato de almacenamiento de energía térmica descrito en el documento PCT/AU2010/001035 sufre de problemas de rendimiento debido a la mala transferencia de calor del material de absorción de calor al material de cambio de fase. Esto surge particularmente debido a que el material de absorción de calor de grafito está en forma de varillas agrupadas.

- 5 Este problema se aborda en la solicitud de patente internacional no. PCT/AU2012/000938 (publicada como WO2013/020176), también del presente solicitante, que describe un aparato de almacenamiento de energía térmica que comprende un bloque de material absorbente de calor y una pluralidad de elementos de almacenamiento de calor. A este respecto, se reconoció que al proporcionar un bloque de material absorbente de calor en forma de un bloque contiguo de material comprimido en forma de grafito sinterizado que es
10 mecanizable, se puede lograr una mayor transferencia de calor desde el bloque a los elementos de almacenamiento de calor. Aunque el rendimiento del aparato de almacenamiento de energía térmica aumenta considerablemente, todavía se utilizan tubos de contención, lo que reduce la eficiencia del aparato y el agrietamiento del material absorbente de calor todavía puede ser un problema. Es conveniente retirar los tubos de contención, aunque esto deja al bloque propenso a agrietarse.
- 15 Sería deseable superar o disminuir las dificultades mencionadas o al menos ofrecer una alternativa útil.

Resumen de la invención

De acuerdo con la presente invención se proporciona un aparato de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación independiente 1.

- 20 De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, las paredes laterales están formadas con un ángulo de pared progresivamente decreciente a medida que se extienden hacia arriba desde la base. Preferiblemente, las paredes laterales están separadas en secciones discretas que tienen un ángulo de pared constante. Más preferiblemente, las secciones discretas están separadas por una ranura formada en el bloque, extendiéndose la ranura alrededor de una superficie del receptáculo.

En realizaciones preferidas, una base del receptáculo es rectangular.

- 25 El aparato de almacenamiento de energía térmica puede incluir además uno o más elementos calefactores en contacto térmico con el material absorbente de calor. Preferiblemente, uno o más elementos calefactores se extienden a lo largo de una superficie exterior del bloque. Preferiblemente, los elementos calefactores son elementos calefactores eléctricos y están formados por grafito.

- 30 El aparato de almacenamiento de energía térmica puede incluir además medios para extraer calor de los elementos de almacenamiento de calor. El medio para extraer calor es preferiblemente un motor térmico de ciclo cerrado o una turbomáquina acoplada al aparato de almacenamiento de calor. El motor térmico de ciclo cerrado puede ser un motor Stirling acoplado al aparato de almacenamiento de calor a través de una mecha.

- 35 De acuerdo con una realización preferida, el material de cambio de fase incluye metaloide de silicio o una composición de silicio eutéctico, hipereutéctico o hipoeutéctico. Preferiblemente, el material de cambio de fase se forma como un lingote.

El bloque de material absorbente de calor se puede inyectar con un coque de petróleo altamente cristalino. El receptáculo se dispone preferiblemente dentro de una carcasa que está sustancialmente evacuada o llena con nitrógeno.

- 40 De acuerdo con la invención también se proporciona un método de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación independiente 13.

Preferiblemente, un receptáculo del aparato de almacenamiento de energía térmica está dispuesto en un entorno libre de oxígeno.

De acuerdo con la invención se proporciona también un sistema de almacenamiento de energía térmica, que incluye una pluralidad de aparatos del tipo descrito anteriormente.

- 45 Los aparatos están preferiblemente en comunicación con una pluralidad de motores térmicos o turbinas de ciclo cerrado.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplo no limitativo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 50 La Figura 1 muestra un aparato de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una realización de la presente invención;

Las Figuras 2 a 5 son respectivas vistas en perspectiva, en plano, lateral y frontal de un bloque de material absorbente de calor para su uso con el aparato de almacenamiento de energía térmica;

Las Figuras 6 a 9 son respectivas vistas en perspectiva, en plano, lateral y frontal de otro bloque de material absorbente de calor; y

- 5 Las Figuras 10 a 12 son respectivas vistas en plano, lateral y frontal de otro bloque de material absorbente de calor.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Haciendo referencia inicialmente a la Figura 1, se muestra un aparato 10 de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

- 10 El aparato 10 de almacenamiento de energía térmica incluye un bloque 12 de un material absorbente de calor. Como se ilustra en las Figuras 2 a 5, el bloque 12 define al menos un receptáculo 14 en el que se puede recibir material de cambio de fase. En este sentido, el bloque 12 puede estar formado por un único receptáculo como se ilustra en las Figuras 10 a 12, receptáculos dobles como se ilustra en las Figuras 2 a 9, o más de dos receptáculos. El bloque 12 es un bloque contiguo de grafito sinterizado comprimido que es mecanizable.

- 15 Tal como se utiliza en el presente documento, el término "contiguo" se refiere a una única masa de material, ya sea sólida o porosa, en la que dos puntos cualesquiera dentro de la masa pueden estar unidos por una trayectoria continua. Al ser "contiguo" el bloque es una pieza única o unitaria de material absorbente de calor. El bloque no está compuesto por un ensamblaje de múltiples piezas discretas de material absorbente de calor.

- 20 Por el bloque que define al menos un "receptáculo" se entiende que el bloque está conformado para tener al menos una cavidad que puede recibir el material de cambio de fase. Por ejemplo, se puede formar un receptáculo en el bloque de grafito sinterizado comprimido mediante un proceso de eliminación de material en el que se elimina el grafito para formar una cavidad en el bloque. Esto se puede lograr, por ejemplo, mecanizando el bloque.

- 25 Un material de cambio de fase que se expande al enfriarse, en este caso metaloide de silicio se almacena dentro de los receptáculos 14. Como se ilustra en las Figuras 2 a 12, las paredes laterales de los receptáculos 14 están formadas con un ángulo de pared progresivamente decreciente a medida que se extienden hacia arriba desde una base 16 del receptáculo. En este sentido, las partes de la pared que están más cerca de la base 16 están en o cerca de la vertical, y el ángulo de la pared disminuye acercándose a la horizontal a medida que la pared se extiende alejándose de la base. Aunque una porción inferior de las paredes puede ser vertical, 30 la altura de cualquiera de dichas porciones se minimizaría.

La configuración descrita de las paredes de los receptáculos 14 permite que a medida que el material de cambio de fase se enfría y se expande, sea impulsado hacia arriba para dispersar la presión y reducir la cantidad de presión aplicada al bloque 12, reduciendo así el agrietamiento o fisuración del bloque 12 sobre el ciclo térmico.

- 35 Por el material de cambio de fase es "impulsado hacia arriba" se entiende que a medida que el material de cambio de fase se solidifica, se expande hacia la boca del receptáculo como resultado de la contrapresión ofrecida por la superficie del receptáculo. En otras palabras, la presente invención proporciona un bloque de un material absorbente de calor, el bloque (i) que define al menos un receptáculo que tiene una boca y una base, y (ii) siendo un bloque contiguo de grafito sinterizado comprimido; y un material de cambio de fase almacenado en el o cada receptáculo, siendo el material de cambio de fase uno que se expande a medida que 40 se enfría, en donde la separación de las paredes laterales del o cada receptáculo aumenta progresivamente a medida que se extienden hacia arriba desde la base hasta la boca del receptáculo, por lo que a medida que el material de cambio de fase se solidifica se expande hacia la boca del receptáculo para reducir la presión aplicada al material absorbente de calor.

- 45 En algunas realizaciones, las paredes laterales del receptáculo 14 están separadas en secciones 15 discretas. Siempre que la sección transversal horizontal del receptáculo aumente a lo largo de una dirección hacia arriba, no existe ninguna limitación particular para el diseño específico de las secciones 15.

- En algunas realizaciones, una sección transversal vertical del receptáculo tiene un perfil escalonado. En tales realizaciones, una pared lateral del receptáculo es tal que cada sección 15 tiene una pared vertical que alterna con un escalón horizontal para proporcionar un perfil escalonado. El cambio escalonado en el perfil de la pared 50 es tal que la distancia de separación entre las paredes laterales del receptáculo aumenta desde su base hacia su parte superior.

- En otras realizaciones, una sección transversal vertical del receptáculo tiene un perfil angular. En tales realizaciones, una pared lateral es tal que cada sección 15 está inclinada en un ángulo con respecto a la dirección vertical. Las secciones pueden tener cada una un ángulo constante, en cuyo caso la pared lateral puede tener un ángulo constante (como en las Figuras 10 y 11). Alternativamente, el ángulo de una o más de 55

las secciones 15 puede variar a medida que se extienden desde la base del receptáculo, por ejemplo, la inclinación de las secciones 15 en la parte superior de la pared lateral puede disminuir a medida que las secciones se extienden lejos de la base, es decir, una sección más baja puede ser más vertical que una sección más superior. En todos los casos, la distancia entre las paredes laterales aumenta a medida que se extienden lejos de la base.

En otras realizaciones, una sección transversal vertical de una pared lateral del receptáculo puede tener una combinación de un perfil escalonado y angular. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, las secciones 15a inferiores de la pared lateral del receptáculo pueden ser escalonadas, mientras que las secciones 15b superiores de la pared lateral pueden tener un perfil angular.

En otras realizaciones, las secciones 15 pueden tener una cara curva. Una sección 15 discreta puede estar separada de la sección adyacente a ella mediante una ranura 18 formada en el bloque. Preferiblemente, las secciones discretas están separadas cada una por una ranura 18 formada en el bloque, extendiéndose la ranura 18 alrededor de una superficie del receptáculo 14. La ranura 18 permite además la dispersión de presión del material de cambio de fase en expansión al proporcionar un alivio en el que el material puede fluir bajo presión.

En realizaciones alternativas, se pueden omitir las ranuras 18. Además, las paredes laterales pueden estar curvadas para proporcionar un ángulo de pared progresivamente decreciente.

En la realización ilustrada, una base 16 del receptáculo es rectangular y forma un canal. Se apreciará que la base puede tomar la forma de otros polígonos, preferiblemente polígonos regulares, o ser circular, aunque se ha descubierto que una forma rectangular es la más deseable y permite minimizar la cantidad de grafito utilizado en el bloque 12 mientras se maximiza la cantidad de material de cambio de fase que puede estar contenido en el receptáculo 14, aumentando así la eficiencia del aparato sin hacer que el bloque sea propenso a sufrir daños. Además, una base rectangular hace que el receptáculo sea mecánicamente más fuerte que, por ejemplo, una base en ángulo (es decir, como en un receptáculo que tiene una sección transversal vertical en forma de "V"). Esto asegura ventajosamente que el bloque 12 pueda soportar mejor la presión lateral generada durante la solidificación del material de cambio de fase.

Las Figuras 6 a 9 y 10 a 12 ilustran bloques 112, 212 alternativos que toman formas ligeramente diferentes y muestran que son posibles variaciones dentro del alcance de la presente divulgación.

En particular, el bloque 112 de las Figuras 6 a 9 tiene una base 116 ligeramente más ancha para acomodar más material de cambio de fase y la separación de las secciones 115 de las paredes laterales está escalonada y aumenta progresivamente a medida que se extienden hacia arriba desde la base.

Por otra parte, las Figuras 10 a 12 muestran un bloque 212 que tiene un solo receptáculo 214 en el que las secciones 215, que definen la superficie del receptáculo y están separadas por ranuras 218, tienen un ángulo de pared constante.

Durante el enfriamiento, un área de una superficie superior del material de cambio de fase forma una cúpula. Esto es el resultado de que la porción del material de cambio de fase en contacto con el bloque 12 se enfría primero, dejando una porción central del material de cambio de fase en estado líquido y capaz de moverse hacia arriba a medida que el material de cambio de fase se enfría.

En cuanto al material de cambio de fase, el metaloide de silicio tiene una capacidad de almacenamiento de calor latente de aproximadamente 497 W/kg a una temperatura de 1410 °C. En algunas circunstancias puede ser ventajoso emplear, en lugar de metaloide de silicio, una composición de silicio eutéctica (o hipoeutéctica o hipereutéctica), que tiene una capacidad térmica menor pero también una temperatura de transición de fase menor. Por ejemplo, una aleación eutéctica de Al-Si que tiene una relación Al:Si de 1:12 tiene una temperatura de transición mucho más baja de 580 °C, mientras que todavía tiene una capacidad de almacenamiento relativamente grande de aproximadamente 200 W/kg.

El material de cambio de fase del aparato de almacenamiento de energía térmica puede estar en una forma adecuada. En una realización, el material de cambio de fase puede estar en la forma de un lingote.

El material que absorbe el calor es un bloque 12 contiguo de grafito sinterizado comprimido, que es mecanizable. Por "comprimir" el grafito sinterizado se entiende que el grafito sinterizado se comprime para darle forma. El grafito sinterizado comprimido resultante se puede mecanizar luego para proporcionar, por ejemplo, los receptáculos y otras características de forma dependiendo del uso previsto. Como resultado de estar comprimido, el grafito sinterizado comprimido es más denso que el grafito sinterizado. Al proporcionar un bloque 12 contiguo de grafito sinterizado comprimido, se pueden obtener muchas ventajas. En primer lugar, el silicio líquido no es absorbido por el grafito sinterizado comprimido, lo que permite omitir los tubos de contención. Además, cuando se hace un bloque contiguo de grafito y se comprime, se obtiene un bloque "cargado". En un bloque cargado de grafito sinterizado comprimido, los átomos se alinean en la dirección de

una corriente aplicada al mismo, lo que permite una mayor transferencia de calor y, por lo tanto, aumenta la eficiencia del aparato.

El bloque 12 también puede incluir un aglutinante o tener otro material impregnado en él y/o estar recubierto. En una forma preferida, el bloque 12 está impregnado con un coque de petróleo altamente cristalino, tal como coque de aguja o acicular. Esto proporciona una mayor tasa de transferencia de calor a través del bloque 12. En una forma preferida, el bloque 12 también está recubierto con un revestimiento para protegerlo de la oxidación. En un ejemplo, el revestimiento puede ser una suspensión de carburo de silicio.

La fabricación del bloque 12, en particular la formación de los receptáculos, se realiza mediante el mecanizado de un bloque en bruto de grafito sinterizado comprimido. En otras formas, el bloque 12 también puede moldearse o fundirse en un molde y comprimirse durante el moldeo. Los extremos del bloque también pueden mecanizarse para aceptar un extremo de un motor Stirling, como se describe más adelante, o en otras formas el bloque puede mecanizarse para permitir la conexión a una turbomáquina. Si bien se utiliza grafito sinterizado, en las realizaciones descritas actualmente también se divulga que pueden ser adecuados otros materiales que absorban el calor, siempre que tengan una conductividad térmica adecuadamente alta y puedan mecanizarse en una forma que se acomode al material de cambio de fase y su expansión tras la solidificación.

Durante el funcionamiento del aparato 10 de almacenamiento de energía térmica, se suministra corriente eléctrica a los elementos 20 calefactores eléctricos mediante una fuente de energía externa. Por ejemplo, la corriente puede ser una corriente DC procedente de una matriz fotovoltaica o una corriente AC procedente de una turbina eólica. A medida que la corriente pasa a través de los elementos 20 calefactores, se produce un calentamiento resistivo del grafito circundante. Los elementos 20 calefactores eléctricos están dispuestos en estrecha proximidad y alrededor del bloque 12 y están en contacto térmico con el bloque 12. Por los elementos 20 calefactores eléctricos que están "en contacto térmico" con el bloque 12 se entiende cualquier disposición que permita la transferencia de calor entre los elementos 20 calefactores eléctricos y el bloque 12. Preferiblemente, el bloque 12 se proporciona dentro de una carcasa 26 del aparato 10, y los elementos 20 calefactores se disponen en ranuras 24 formadas en el aislamiento dentro de la carcasa 26. La carcasa 26 puede estar formada por cualquier material adecuado. Por ejemplo, la carcasa 26 puede estar hecha de acero dulce.

En algunas formas, los elementos 20 calefactores eléctricos están dispuestos solo a lo largo de los bordes largos del bloque 12 de modo que los extremos del bloque 12, que es donde está ubicado el motor Sterling, están ligeramente más fríos para fomentar el flujo de calor hacia el motor. Ventajosamente, el calor puede fluir a lo largo del bloque, permitiendo así la carga y descarga simultánea, es decir, el almacenamiento de calor de los elementos calefactores y la extracción de calor a través del motor Sterling.

El calor se transporta entonces al material de cambio de fase del aparato de almacenamiento de calor a través del bloque 12. El metaloide de silicio (o la composición de silicio eutéctico, por ejemplo) absorbe calor sensible hasta que su temperatura alcanza la temperatura de fusión, momento en el cual la entrada de calor adicional al metaloide de silicio se almacena como calor latente de fusión. Cuando la fuente de energía externa (solar o eólica) ya no está disponible, o cae por debajo del nivel requerido para mantener la temperatura central del material de cambio de fase por encima de la temperatura de fusión, el metaloide de silicio se solidifica. El calor almacenado se libera luego al grafito circundante.

Los elementos 20 calefactores están formados preferiblemente de grafito y pueden estar acoplados a una fuente de corriente de manera convencional, por ejemplo, mediante cableado de cobre. En una realización preferida, los elementos 20 calefactores están formados de grafito sinterizado comprimido, lo que proporciona un calentamiento eficiente. En realizaciones alternativas, los elementos 20 calefactores están hechos de una aleación de hierro-cromo-aluminio (FeCrAl), por ejemplo, Kanthal.

Alternativamente, el bloque 12 se puede calentar directamente mediante energía solar, por ejemplo, proporcionando uno o más concentradores solares para enfocar la luz solar sobre el bloque 12 en una o más ubicaciones, o a través de gases calientes expulsados de una turbomáquina. Proporcionar elementos 20 calefactores eléctricos en ubicaciones predeterminadas permite un mayor control sobre el calentamiento del bloque 12 y permite su uso junto con sistemas de generación de electricidad, en particular sistemas de generación de electricidad renovable que tienen energía eléctrica no utilizada que se puede enviar de vuelta a los elementos para recargar su almacenamiento en lugar de estar conectados a tierra.

Para extraer calor para realizar trabajo mecánico y/o eléctrico, el aparato 10 puede estar acoplado a un motor térmico de ciclo de Carnot, tal como un motor Stirling o un motor Brayton, o a una maquinaria de turbina. En el ejemplo ilustrado, dos motores 22 Stirling están acoplados al bloque 12 del aparato 10 de almacenamiento de energía, de tal forma que un extremo de cada motor Stirling puede recibir calor a través de aberturas 17 que están formadas en el bloque 12. Cuando el material de cambio de fase (ubicado dentro de los receptáculos) almacena calor, se forma un gradiente de temperatura entre el núcleo del material de cambio de fase (lado caliente) y el motor Stirling (lado frío), lo que da como resultado que el calor se transfiera desde el material de cambio de fase a cada motor Stirling a través del bloque 12 de grafito sinterizado comprimido.

Preferiblemente, como se muestra en la realización de la Figura 1, las aberturas 17 se forman en el extremo del bloque 12 que no comprende elementos 20 calefactores, siendo ese lado más frío que el lado donde se encuentran los elementos 20 calefactores. En esta disposición se aumenta el gradiente de temperatura entre el núcleo del material de cambio de fase (lado caliente) y los motores Stirling 22 (lado frío), mejorando así la eficiencia con la que el calor viaja desde el material de cambio de fase a los motores 22 a través del bloque 12 de grafito sinterizado comprimido. Cuando el núcleo del material de cambio de fase está a una temperatura más alta que la cabeza del motor térmico, el calor se transporta desde el material de cambio de fase por conducción térmica. En realizaciones alternativas, se puede proporcionar una mecha para conectar el motor al bloque 12. En algunas realizaciones, el aparato 10 está en comunicación con una pluralidad de motores térmicos de ciclo cerrado.

Diferentes áreas del bloque 12 pueden calentarse a diferentes velocidades y cada una puede tener uno o más sensores de temperatura asociados a la misma. Las lecturas de temperatura de cada sensor se pueden comunicar a un sistema de control (no mostrado), y las lecturas utilizadas por el sistema de control para ajustar la corriente eléctrica que fluye a los elementos 20 calefactores y, por lo tanto, el grado de calentamiento del bloque.

El aparato está dispuesto dentro de una carcasa, que preferiblemente está formada de acero dulce, y el bloque se intercala entre capas superior, inferior y lateral de un material aislante. Las capas pueden emplear diferentes materiales aislantes dependiendo de las temperaturas de funcionamiento experimentadas por la parte superior e inferior del aparato 10.

En algunas realizaciones, el aparato está dispuesto dentro de una carcasa que está sustancialmente evacuada o llena con nitrógeno. Estas disposiciones proporcionan ventajosamente un aislamiento térmico mejorado para una transferencia de calor optimizada entre el material de cambio de fase y el motor térmico de ciclo de Carnot o la maquinaria de turbina acoplada al aparato.

En algunas realizaciones, el aparato está dispuesto en un entorno libre de oxígeno. Esto minimiza ventajosamente la oxidación del material absorbente de calor que forma el receptáculo para preservar sus características de transferencia de calor.

Un aspecto adicional de la invención se refiere a un método de almacenamiento de energía térmica, que incluye los pasos de (i) proporcionar un aparato de almacenamiento de energía térmica del tipo descrito en este documento, y (ii) proporcionar energía térmica al material de cambio de fase. El suministro de energía térmica al material de cambio de fase se puede lograr mediante cualquier medio descrito en este documento.

Se puede utilizar una pluralidad de aparatos del tipo descrito anteriormente para formar un sistema de almacenamiento de energía térmica para proporcionar almacenamiento escalable según sea necesario. En una forma, los aparatos están dispuestos uno al lado del otro y preferiblemente cerrados para atrapar el exceso de calor. En otra forma, los aparatos están dispuestos en un agujero formado en el suelo, estando el agujero revestido con hormigón alrededor de los lados del mismo.

Muchas modificaciones de las realizaciones anteriores serán evidentes para los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la presente invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

A lo largo de esta especificación, a menos que el contexto requiera lo contrario, se entenderá que la palabra "comprender", y variaciones tales como "comprende" y "que comprende", implican la inclusión de un número entero o paso o grupo de números enteros o pasos indicados, pero no la exclusión de cualquier otro número entero o paso o grupo de números enteros o pasos.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica, que comprende:
un bloque de un material (12) absorbente de calor, definiendo el bloque al menos un receptáculo (14) que comprende paredes laterales y una base (16) y siendo un bloque contiguo de grafito sinterizado comprimido; y
- 5 un material de cambio de fase almacenado en el o cada receptáculo (14), siendo el material de cambio de fase uno que se expande a medida que se enfría,
caracterizado porque el bloque está configurado de manera que la separación de las paredes laterales del o de cada receptáculo (14) aumente progresivamente a medida que se extienden hacia arriba desde la base (16), por lo que a medida que el material de cambio de fase se solidifica y expande, es impulsado hacia arriba para
- 10 reducir la presión aplicada al material (12) absorbente de calor.
2. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las paredes laterales están formadas con un ángulo de pared progresivamente decreciente a medida que se extienden hacia arriba desde la base.
3. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde las paredes laterales están separadas en secciones discretas que tienen un ángulo de pared constante.
- 15 4. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 3, en donde las secciones discretas están separadas por una ranura (18) formada en el bloque, extendiéndose la ranura (18) alrededor de una superficie del receptáculo (14).
- 20 5. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye además uno o más elementos (20) calefactores en contacto térmico con el material (12) absorbente de calor, en donde el uno o más elementos (20) calefactores se extienden a lo largo de una superficie exterior del bloque (12).
- 25 6. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 5, en donde los elementos (20) calefactores son elementos calefactores eléctricos, en particular elementos calefactores de grafito.
7. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye además medios para extraer calor del bloque (12), en donde los medios para extraer calor son al menos un motor (22) térmico de ciclo cerrado o turbomáquina acoplada al bloque (12).
- 30 8. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el al menos un motor (22) térmico de ciclo cerrado es un motor Stirling y un extremo del motor Stirling se recibe en una abertura (17) formada en el bloque.
9. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de cambio de fase incluye metaloide de silicio o una composición de silicio eutéctico, hipereutéctico o hipoeutéctico.
- 35 10. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de cambio de fase está formado como un lingote.
11. Un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el bloque de material (12) absorbente de calor se inyecta con un coque de petróleo altamente cristalino.
- 40 12. Un aparato de almacenamiento de energía térmica (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el receptáculo (14) está dispuesto dentro de una carcasa (26) que está sustancialmente evacuada o llena de nitrógeno.
13. Un sistema de almacenamiento de energía térmica, que incluye una pluralidad de aparatos (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, estando los aparatos (10) en comunicación con una pluralidad de motores (22) térmicos de ciclo cerrado.
- 45 14. Un método de almacenamiento de energía térmica, que incluye los pasos de:
proporcionar un aparato (10) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente; y
- 50 proporcionar energía térmica al material de cambio de fase;

ES 3 011 533 T3

caracterizado porque La separación de las paredes laterales del o cada receptáculo (14) aumenta progresivamente a medida que se extienden hacia arriba desde la base (16), impulsando así hacia arriba el material de cambio de fase que se solidifica y se expande y reduciendo así la presión aplicada al material (12) absorbente de calor.

- 5 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 14, en donde un receptáculo (14) del aparato (10) de almacenamiento de energía térmica está dispuesto en un entorno libre de oxígeno.

Figura 1

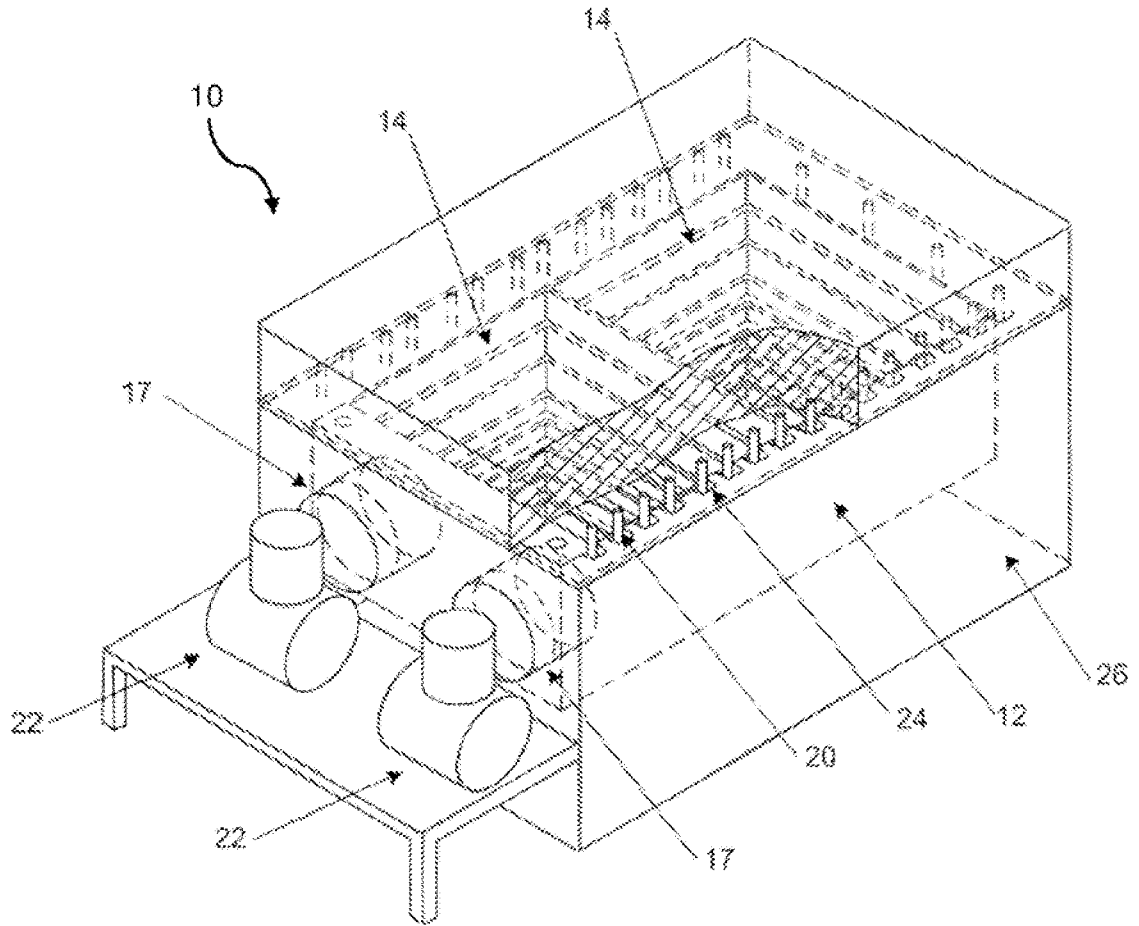


Figura 2

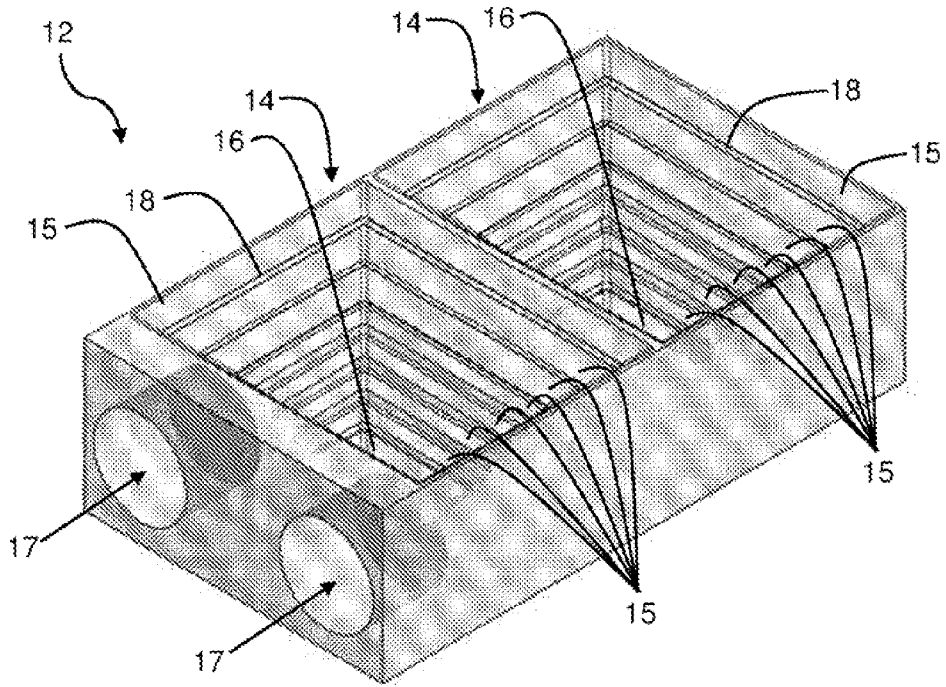


Figura 3

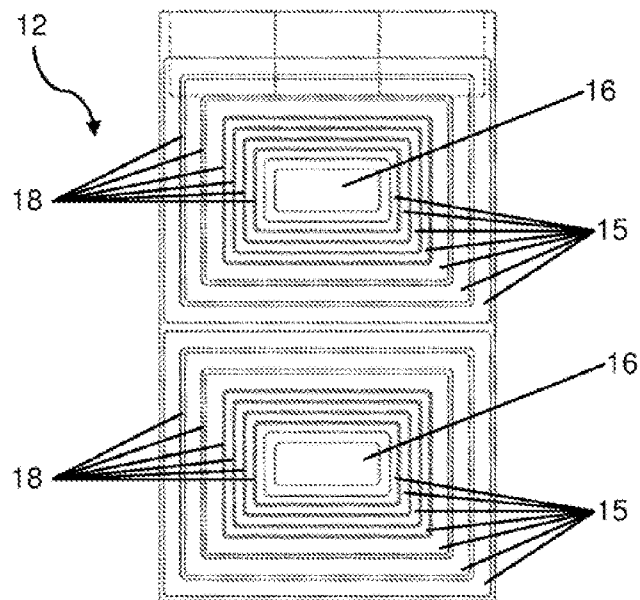


Figura 4

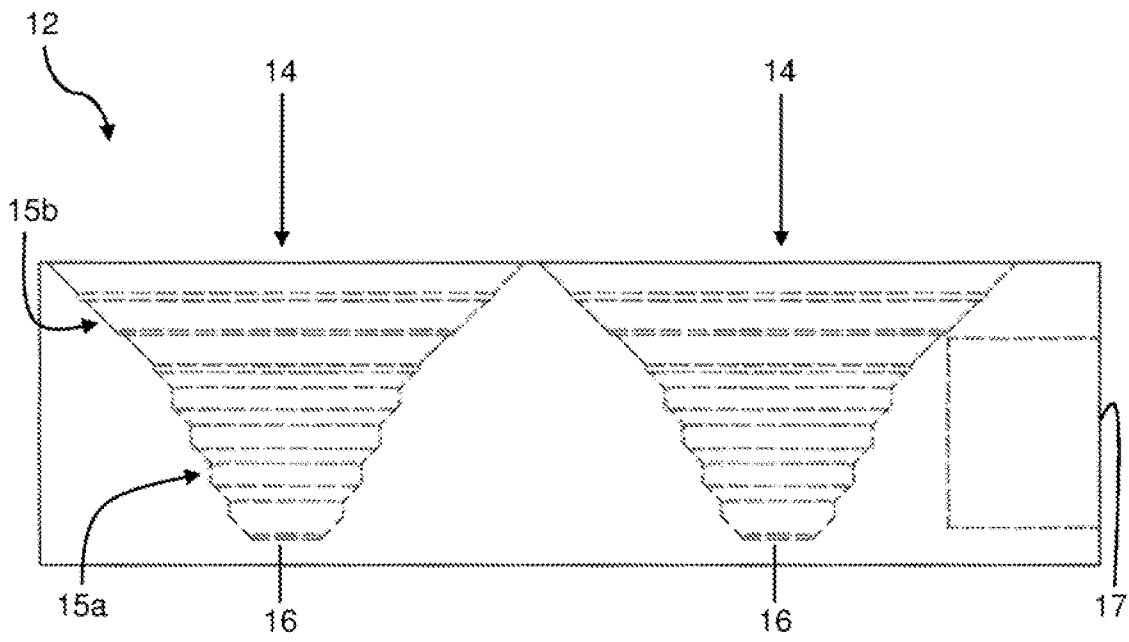


Figura 5

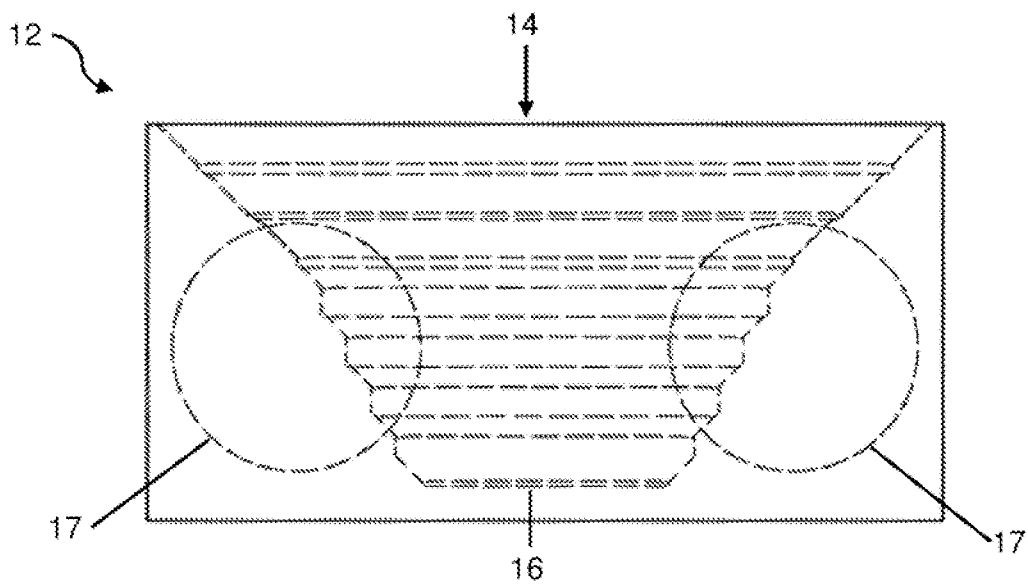


Figura 6

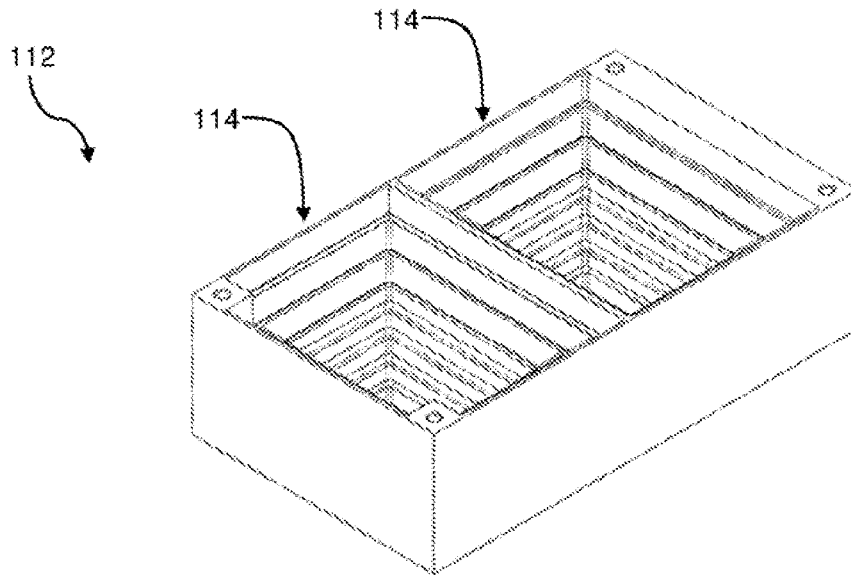


Figura 7

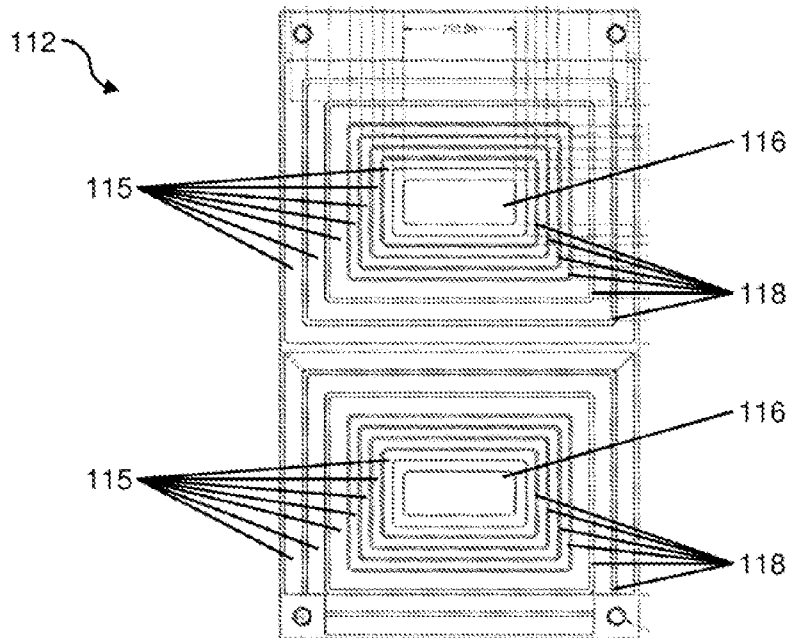


Figura 8

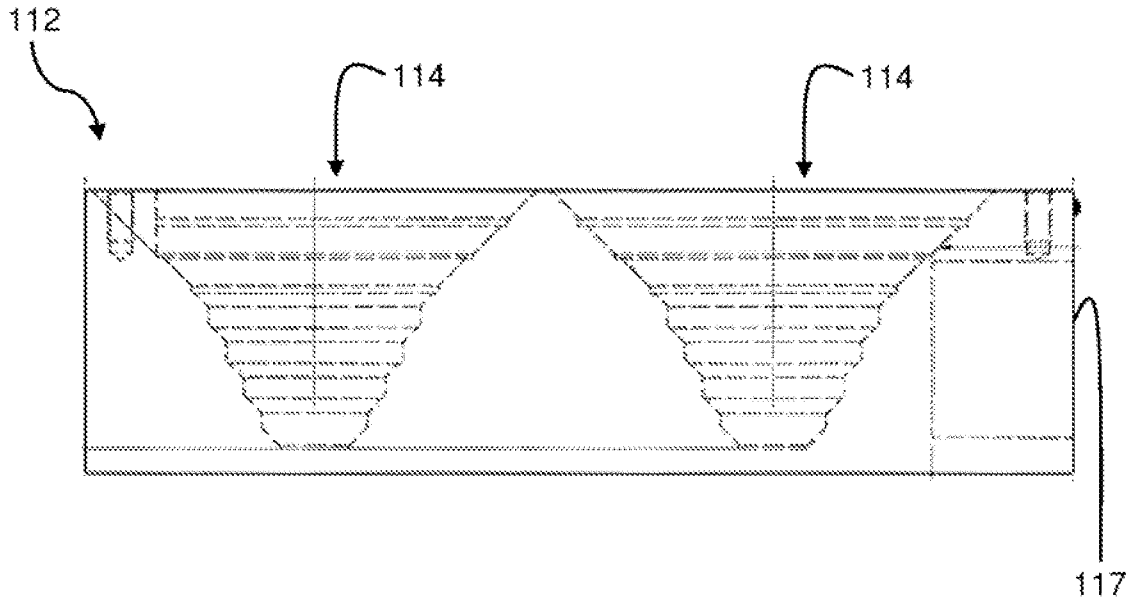


Figura 9

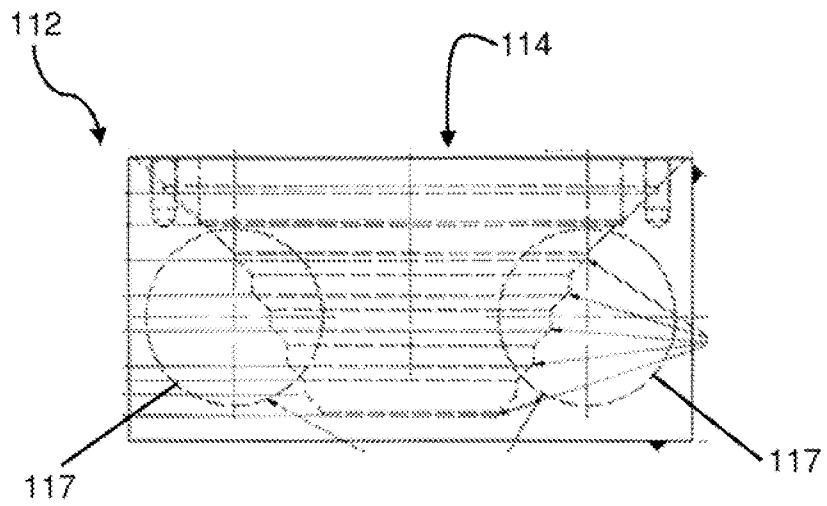


Figura 10

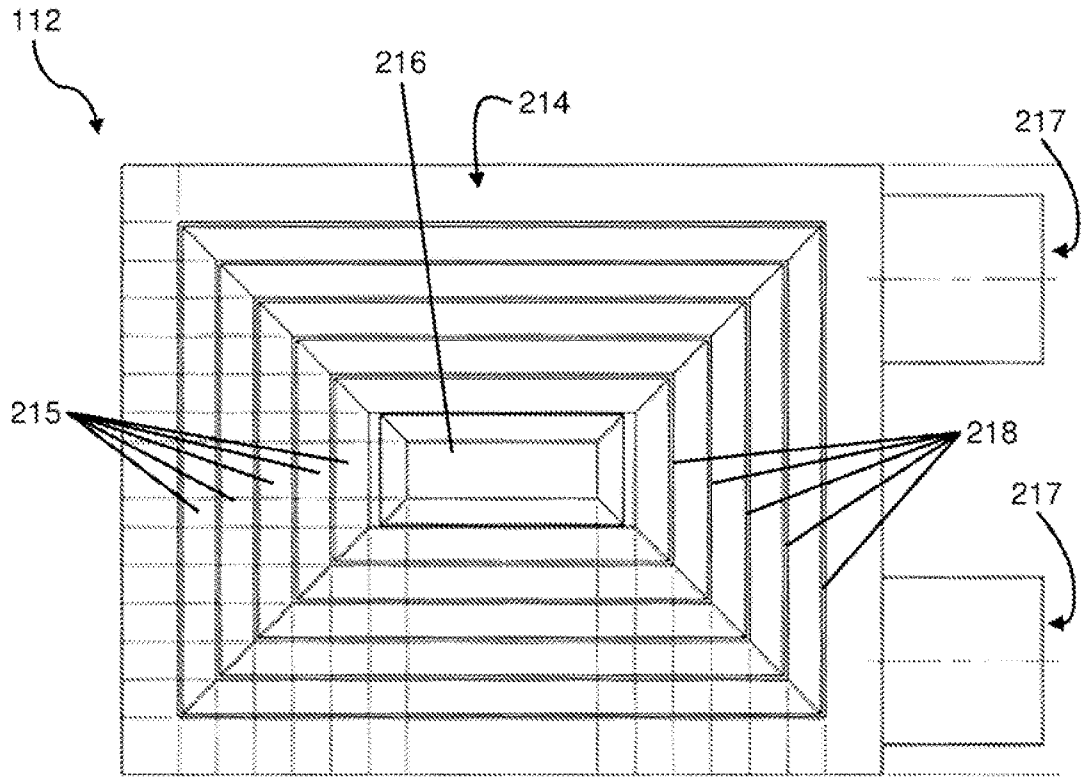


Figura 11

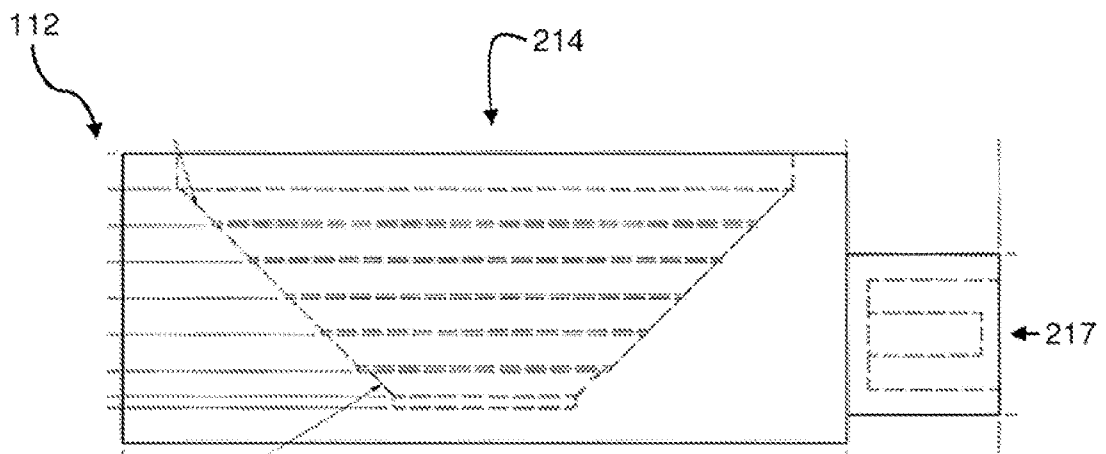


Figura 12

