

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 615**

51 Int. Cl.:
F25B 23/00 (2006.01)
F25B 43/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07755199 .2**
96 Fecha de presentación: **10.04.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2024692**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.02.2009**

54 Título: **Procedimiento y aparato para refrigerar componentes electrónicos con un refrigerante a una presión subambiental**

30 Prioridad:
02.05.2006 US 381297

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.06.2012

73 Titular/es:
RAYTHEON COMPANY
870 WINTER STREET
WALTHAM, MA 02451-1449, US

72 Inventor/es:
RUMMEL, Kerrin, A.;
WYATT, William, G. y
WEBER, Richard, M.

74 Agente/Representante:
Arias Sanz, Juan

ES 2 383 615 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

Procedimiento y aparato para refrigerar componentes electrónicos con un refrigerante a una presión subambiental

La invención se refiere en general a técnicas de refrigeración y, más concretamente, a un procedimiento y/o un aparato para refrigerar componentes electrónicos con un refrigerante a una presión subambiental.

- 5 Algunos tipos de circuitos electrónicos utilizan relativamente poca potencia, y producen poco calor. Los circuitos de este tipo se pueden refrigerar satisfactoriamente a menudo mediante una aproximación pasiva, tal como refrigeración por convección. Por el contrario, existen otros circuitos que consumen grandes cantidades de potencia, y producen grandes cantidades de calor. Un ejemplo es el circuito utilizado en un sistema de antenas en fase. Otros incluyen otros tipos de componentes electrónicos, tales como componentes electrónicos de empaquetado denso utilizada para los circuitos computacionales presentes y futuros, que pueden producir 15 1000-10.000 W de calor por centímetro cúbico, o más.

10 En el ejemplo de las antenas en fase modernas, el sistema puede producir fácilmente hasta 500 kW de calor, o incluso más. Se prevé que los ordenadores futuros produzcan cantidades de calor igualmente grandes. Una aproximación conocida para refrigerar esta circuitería es incorporar una unidad de refrigeración en la refrigeración de los componentes electrónicos. Sin embargo, las unidades de refrigeración adecuadas son grandes, pesadas, y consumen muchos kilovatios de potencia con el fin de producir una refrigeración adecuada. Aunque las unidades de refrigeración de este tipo han sido adecuadas generalmente para los propósitos pretendidos, no han sido satisfactorias en todos sus aspectos. Un factor igualmente importante es la incapacidad de los procedimientos existentes de retirar grandes cargas de flujo térmico de los componentes y módulos electrónicos. Las aproximaciones existentes, que utilizan un refrigerante que fluye dentro de una placa fría o plano térmico sobre el cual se montan los componentes y módulos eléctricos, tienen un rendimiento de transferencia de calor inadecuado para dar satisfacción a necesidades futuras. Además, aproximaciones que utilizan flúor inerte en pulverización, de dos fases, no son satisfactorias en todos los aspectos.

El lector podrá ser ilustrado adicionalmente en lo que se refiere al estado de la técnica más cercano por referencia a los documentos EP 1.601.043 y EP 1.318.719. Las características esenciales comunes a la invención y al documento EP 1.601.043 se recitan en las cláusulas precaracterizadoras de las reivindicaciones independientes.

- 25 La presente invención proporciona un procedimiento y un aparato para refrigerar una estructura de generación de calor de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

Mejoras adicionales son caracterizadas por las reivindicaciones independientes.

30 De acuerdo con un modo de realización de la invención, se proporciona un procedimiento para refrigerar una estructura de generación de calor dispuesta en un entorno que tiene una presión ambiental. La estructura de generación de calor incluye componentes electrónicos. El procedimiento incluye proporcionar un refrigerante, reducir una presión del refrigerante hasta una presión subambiental a la cual el refrigerante tiene una temperatura de ebullición inferior a la temperatura de la estructura de generación de calor, y poner en contacto entre sí la estructura de generación de calor y el refrigerante a la presión subambiental, de modo que el refrigerante hierva y se vaporice para absorber así el calor de la estructura de generación de calor. En un modo de realización más concreto, el refrigerante es bien agua pura o metanol puro con un nivel de resistividad superior a un millón de ohmios-cm.

35 Algunos modos de realización de la invención pueden proporcionar numerosas ventajas técnicas. Otros modos de realización pueden llevar a cabo alguna, ninguna, o todas estas ventajas. Por ejemplo, de acuerdo con un modo de realización, se pueden retirar grandes cantidades de calor de una estructura de generación de calor, lo que permite, por ejemplo, utilizar componentes electrónicos empaquetados más densamente.

- 40 Otras ventajas serán fácilmente identificables por aquellos expertos en la técnica.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de los modos de realización de la invención será aparente de la descripción detallada, a modo de ejemplo, tomada en conjunción con los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 45 la figura 1A es un diagrama de bloques de un aparato que incluye una estructura de generación de calor y un montaje de refrigeración asociado de acuerdo con un modo de realización de la presente invención;

la figura 1B es una vista lateral de un ejemplo de la cámara y de la estructura de producción de calor del sistema de la figura 1A;

la figura 2 es un diagrama esquemático de un modo de realización de la estructura de generación de calor de la figura 1;

la figura 3A es un diagrama esquemático de un módulo de flujo continuo que incluye un conjunto de los sustratos de

circuito de las figuras 3B a 3D que pueden ser refrigerados de acuerdo con el procedimiento de la figura 1A;

las figuras 3B a 3C son diagramas esquemáticos que muestran diversas vistas de un sustrato de circuito que puede ser refrigerado de acuerdo con el procedimiento de la figura 1A;

la figura 4A es un diagrama esquemático de un bastidor para sostener un conjunto de módulos de la figura 3D; y

- 5 la figura 4B es un conjunto que combina el bastidor de la figura 4A y un conjunto de módulos de la figura 3D que pueden ser refrigerados de acuerdo con el procedimiento de la figura 1A.

Descripción detallada de modos ejemplares de realización de la invención

10 Modos ejemplares de realización de la presente invención y sus ventajas se entienden mejor en referencia a las figuras 1A-1B de los dibujos, en las que números similares se utilizan para piezas similares y correspondientes de los diversos dibujos.

15 La figura 1A es un diagrama de bloques de un aparato 10 que incluye una estructura de generación de calor 12. La estructura de generación de calor 12 puede ser, en un modo de realización concreto, uno o más conjuntos de componentes microelectrónicos, que pueden producir una cantidad enorme de calor que es difícil de enfriar utilizando técnicas convencionales. Alternativamente, estructuras de generación de calor pueden no incluir componentes electrónicos y/o puede no producir cantidades de calor excesivas. En general, aunque las enseñanzas de la invención pueden proporcionar mayores beneficios para refrigerar componentes microelectrónicos que produce cantidades de calor excesivas, estas enseñanzas son aplicables a la refrigeración de cualquier tipo de dispositivo con niveles de generación de calor altos o bajos. De acuerdo con las enseñanzas de un modo de realización de la invención, la estructura de generación de calor 12 se sumerge en un baño de refrigerante 16 en una cámara 14 y/o se somete a un flujo de refrigerante 16, refrigerante 16 que está a una presión subambiental. Un ejemplo se ilustra en la figura 1B. El baño puede ser generalmente un baño estacionario o, alternativamente, el baño puede utilizar además un flujo de refrigerante 16 para mejorar adicionalmente la transferencia de calor de la estructura de generación de calor 12 al refrigerante 16. Alternativamente, el baño puede ser sustituido con un simple flujo de refrigerante sobre la estructura de generación de calor 12.

25 El refrigerante 16 puede ser cualquier líquido con una resistividad y propiedades de calor latente de vaporización adecuadas. En el entorno en el que se utilizan componentes microelectrónicos en una estructura de generación de calor 12, la resistividad del refrigerante 16 debe ser lo suficientemente alta para que el refrigerante 16 no forme un cortocircuito en los componentes microelectrónicos. Además, cuando se necesita eliminar grandes cargas térmicas, son más deseables líquidos con un calor latente de vaporización relativamente alto. Tanto el agua como el metanol puros cumplen con estos criterios cuando se utilizan componentes microelectrónicos de alta carga de calor como parte de la estructura de generación de calor 12.

35 El agua pura tiene una resistividad eléctrica muy alta de aproximadamente 18,2 millones de ohmios-cm, y el metanol puro tiene una resistividad eléctrica alta de, aproximadamente, 40 millones de ohmios-cm. Consecuentemente, tal agua pura o metanol puro no provocaría cortocircuitos eléctricos en estructuras de generación de calor 12 en las señales eléctricas o cargas de potencia asociadas. El uso de agua pura como refrigerante 16 es particularmente deseable debido a su calor latente de vaporización relativamente alto, que es aproximadamente 24 veces el del flúor inerte. El metanol tiene asimismo un calor latente de vaporización bastante elevado, aproximadamente la mitad que el del agua. Sin embargo, aunque el agua y el metanol puros son refrigerantes particularmente deseables, se pueden utilizar igualmente otros refrigerantes.

40 El sistema 10 está diseñado de tal modo que el refrigerante 16 hierva cuando se ponga en contacto con la estructura de generación de calor 12. Concretamente, el sistema 10 implica reducir la presión del refrigerante 16 hasta niveles subambientales de tal modo que éste hierva a una temperatura deseada inferior a la temperatura a la cual el refrigerante 16 herviría de otro modo. Así pues, el sistema 10 puede ser denominado como un sistema de refrigeración subambiental. Los sistemas de refrigeración subambientales adecuados para su uso por la presente descripción incluyen aquellos descritos en los documentos EP 1.380.799 y EP 1.601.043.

50 Proporcionar un refrigerante 16 a niveles subambientales permite utilizar agua y metanol puros como refrigerantes, lo cual no es útil típicamente en ciertas aplicaciones debido a sus temperaturas de ebullición relativamente elevadas. Así pues, las enseñanzas de al menos un modo de realización de la invención reconocen que es deseable combinar transferencia de calor de ebullición a presión subambiental, lo que es generalmente el mejor mecanismo de retirada de calor para extraer calor de una superficie, con aplicación directa del refrigerante a la estructura de generación de calor, tal como sumergiendo o haciendo fluir el refrigerante sobre la estructura. Cuando se usa con componentes electrónicos como parte de la estructura de generación de calor 12, la inmersión de generación de calor

La estructura de generación de calor 12 está configurada de modo que el calor que genera se transfiere al refrigerante 16 que entra en contacto con la estructura de generación de calor 16. El refrigerante 16 fluye a través de un tubo 22. Como se discutirá más adelante, este refrigerante fluido es un refrigerante 16 de dos fases, que entra en contacto con estructura de generación de calor 12 en forma líquida. La absorción de calor procedente de la estructura de generación de calor 12 provoca que parte o todo el refrigerante líquido 16 hierva y se vaporice, de tal modo que algo o todo el refrigerante 16 que fluye a través de un tubo 24 esté en su fase de vapor. Este refrigerante 16 de salida fluye a continuación sucesivamente a través de un separador 26, un intercambiador de calor 28, una bomba 30, una bomba dosificadora 31, y un lecho de filtrado 34 con el fin de alcanzar de nuevo el extremo de entrada del tubo 22. Como se ilustra, sólo una porción de refrigerante 16 fluye a través de la bomba dosificadora 31 y el lecho de filtrado 34.

La bomba 30 provoca la circulación de refrigerante 16 a lo largo del bucle sin fin mostrado en la figura 1. En el modo de realización de la figura 1, la bomba 30 consume tan sólo entre 0,1 kW y 2,0 kW de potencia.

El separador 26 separa la porción vaporizada del refrigerante líquido 16 que fluye a través del tubo 24 de la porción líquida sin vaporizar. La porción vaporizada se suministra al intercambiador de calor 28, y la porción líquida se suministra a la bomba de separación 36. La bomba de separación 36 recibe la porción líquida del refrigerante que no ha sido vaporizada en el tubo 24 y hace circular este fluido de vuelta a través del tubo 22. El orificio 32 crea una caída de presión entre la entrada de la bomba 36 y la salida de 32, por lo que el refrigerante 16 se vaporiza.

Como se describió anteriormente, las enseñanzas de la invención reconocen que en algunos casos será deseable purificar el refrigerante 16 mientras fluye en el bucle anteriormente descrito para mantener su resistividad por encima de un nivel deseado. Esto es particularmente cierto cuando el refrigerante 16 es agua pura y la estructura de generación de calor 16 comprende componentes electrónicos. El nivel particular de resistividad deseado variará en base a la estructura y contenido de la estructura de generación de calor 12, aunque en un ejemplo es particularmente deseable mantener la resistividad del refrigerante 16 por encima de un millón de ohmios-cm para evitar cortocircuitos eléctricos. El lecho de filtrado 34 se utiliza para retirar contaminantes del refrigerante 16, tales como sales, constituyentes metálicos, u otros contaminantes que se generan o entran en el bucle durante el funcionamiento, para asegurar que tiene una resistividad lo suficientemente alta durante el funcionamiento para no provocar cortocircuitos eléctricos en la estructura de generación de calor 12. El lecho de filtrado 34 puede retirar dióxido de carbono, oxígeno libre, y metales, y puede utilizar destilación, ósmosis inversa, u otro procedimiento adecuado. Tan sólo sería necesario procesar alrededor de un 5-10% del flujo de refrigerante, en un modo de realización, que es suministrado por la bomba dosificadora 31. Otros procedimientos de purificación pueden ser igualmente utilizados.

El aire o líquido ambiental 38 es hecho fluir a través del intercambiador de calor 28, por ejemplo, por medio de un ventilador no ilustrado de un tipo conocido. Alternativamente, si el aparato 10 estuviera en una embarcación, el flujo 38 podría ser agua marina ambiental o un bucle secundario de agua destilada que transfiere calor al agua marina. El intercambiador de calor 28 transfiere calor del refrigerante al flujo de aire 38. El intercambiador de calor 38 enfría así el refrigerante, provocando así que cualquier porción del refrigerante que esté en la fase de vapor se condense de nuevo a su fase líquida.

El refrigerante líquido 16 que abandona el intercambiador de calor 28 es suministrado a un depósito de expansión 40. Como los fluidos ocupan típicamente un volumen mayor en su fase de vapor que en su fase líquida, el depósito de expansión 40 se dispone con el fin de asumir el volumen de refrigerante líquido que es desplazado cuando algo o todo el refrigerante en el sistema cambia de su fase líquida a su fase de vapor. La cantidad de refrigerante 16 que está en su fase de vapor puede variar en el tiempo, debido en parte al hecho de que la cantidad de calor producido por la estructura de generación de calor 12 variará en el tiempo, ya que la estructura de generación de calor 12 puede funcionar en diversos modos de funcionamiento en el tiempo, en algunos modos de realización.

En algunos modos de realización, se puede utilizar un controlador para controlar la cantidad de calor transferido de la estructura de generación de calor 12 (véase el documento EP 1.601.043). Sin embargo, se pueden utilizar otras aproximaciones de control. En un modo de realización concreto, un controlador de presión 42 mantiene el refrigerante 16 a una presión subambiental deseada en porciones del bucle de refrigeración aguas abajo del lecho de filtrado 34 y aguas arriba de la bomba 30. Típicamente, la presión de aire ambiental será aquella del aire atmosférico, la cual a nivel del mar es 101353 Pa (14,7 libras por pulgada cuadrada absoluta (psia)). Cuando la estructura de generación de calor 12 sufre cargas térmicas transitorias, esta presión subambiental puede necesitar ser ajustada para permitir la transferencia de cantidades de calor mayores o menores de la estructura de generación de calor 12 a una temperatura deseada. La estructura de generación de calor 12 se mantiene a una temperatura deseada realimentando la presión del refrigerante a medida que éste abandona el tubo 22. Esta presión es indicativa de la temperatura del refrigerante en ebullición. En respuesta, el controlador de presión 42 puede responder subiendo o bajando la presión del refrigerante 16, lo que afecta a la temperatura de ebullición del refrigerante. Realimentando la presión del refrigerante, por oposición a la temperatura de la estructura de generación de calor 12, se elimina el retraso térmico asociado del bucle de control, lo que permite controlar directamente la presión sin tener en consideración el retraso térmico.

En un ejemplo, el refrigerante utilizado es agua pura. El agua pura tiene un calor latente de vaporización muy elevado, por lo que absorbe una cantidad sustancial de calor cuando se vaporiza. Sin embargo, el agua hierve a una temperatura de 100 °C a una presión atmosférica de 101,34 kPa (14,7 psia). Con el fin de proporcionar una refrigeración adecuada para un aparato electrónico, el refrigerante 16 necesita hervir a una temperatura en el intervalo de, aproximadamente, 50-65 °C.

5 Cuando el agua es sometida a una presión subambiental de alrededor de 20,682 kPa (3 psia), su temperatura de ebullición disminuye hasta, aproximadamente, 60 °C. Así pues, en el modo de realización de la figura 1A, el orificio 32 permite que la presión del refrigerante aguas abajo del mismo sea inferior a la presión del refrigerante entre la bomba 30 y el orificio 32.

10 En un ejemplo, agua pura que fluye desde la bomba 30 al orificio 32 y 34 tiene una temperatura de, aproximadamente, 60 °C a 65 °C, y una presión en el intervalo de, aproximadamente, 103,41 kPa (15 psia) a 689,4 kPa (100 psia). Tras pasar a través del orificio 32 y 34, el agua tendrá todavía una temperatura de, aproximadamente, 60 °C a 65 °C, pero tendrá una presión mucho más baja, el intervalo de alrededor de 13,788 kPa (2 psia) a 27,576 kPa (4 psia). Debido a esta presión reducida, algo de o toda el agua hervirá a medida que pasa a través de la estructura de generación de calor 12 y absorberá calor de la misma, y así pues algo de o toda el agua se vaporizará. Tras salir a través del tubo 24, el vapor de
15 agua (y cualquier agua líquida remanente) todavía tendrá la presión reducida de alrededor de 13,788 kPa (2 psia) a 27,576 kPa (4 psia).

20 Cuando este vapor de agua subambiental alcance el intercambiador de calor 38, se transferirá calor del vapor al flujo de aire forzado 38. El flujo de aire 38 tiene una temperatura inferior a un máximo especificado de 55 °C, y típicamente tiene una temperatura ambiental por debajo de 40 °C. A medida que se retira calor del vapor, cualquier porción del agua que esté en su fase de vapor se condensará, de tal modo que toda el agua de refrigeración estará en forma líquida cuando abandone el intercambiador de calor 28. Este líquido tendrá una temperatura de, aproximadamente, 60 °C a 65 °C, y todavía estará a la presión subambiental de, aproximadamente, 13,788 kPa (2 psia) a 27,576 kPa (4 psia). Este refrigerante líquido fluirá a continuación hacia la bomba 30 con una conexión en T antes del depósito de expansión 40. La bomba 30 tendrá el efecto de aumentar la presión del agua de refrigeración, hasta un valor en el intervalo de,
25 aproximadamente, 103,41 kPa (15 psia) a 689,4 kPa (100 psia).

Se apreciará que el modo de realización de la figura 1A puede funcionar sin ningún sistema de refrigeración. En el contexto de una circuitería electrónica de alta potencia, la ausencia de un depósito 40. La bomba 30 tendrá el efecto de aumentar la presión de agua de refrigeración, hasta un valor en el intervalo de, aproximadamente, 15 psia a 100 psia, como se mencionó anteriormente.

30 Se apreciará que el modo de realización de la figura 1A puede funcionar sin ningún sistema de refrigeración. En el contexto de una circuitería electrónica de alta potencia, la ausencia de un sistema de refrigeración puede dar como resultado una reducción significativa del tamaño, peso, y consumo de potencia de la estructura proporcionada para refrigerar el sistema de componentes electrónicos.

35 La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de una estructura de generación de calor 12 que es particularmente adecuada para ser refrigerada de acuerdo con el procedimiento descrito en la figura 1A. Hay que enfatizar, sin embargo, que esto es meramente un ejemplo. La estructura de generación de calor 52 incluye, en este ejemplo, una pluralidad de módulos electrónicos 54 acoplados térmicamente a una malla 60. La malla 60 contribuye a transferir calor de los módulos electrónicos 54 a un refrigerante 16 y, en algunos modos de realización, puede proporcionar asimismo soporte estructural para los módulos electrónicos 54. La malla 60 es porosa de modo tal que el refrigerante 16 pueda fluir a través de la malla 16, ya sea que la estructura de generación de calor 54 esté sumergida en el refrigerante 16 o el refrigerante 16 fluya sobre y a través de la estructura de generación de calor 52 a través de la malla 60.
40

45 En este ejemplo, los módulos electrónicos 54 incluyen dispositivos electrónicos 62, que tienen asociados componentes electrónicos y un componente de interconexión 64. El componente de interconexión 64 proporciona la conexión eléctrica a otros dispositivos. El componente de interconexión 64 puede incluir una pluralidad de protuberancias 66, que no sólo proporcionan conexión eléctrica sino que actúan asimismo como aletas de apoyo, proporcionando una transferencia de calor aumentada debido al aumento asociado del área de superficie en contacto con el refrigerante 16. La estructura de generación de calor 52 puede estar formada asimismo con una pluralidad de líneas de interconexión 68 que conectan electrónicamente los módulos electrónicos 54 entre sí o a otros dispositivos.

50 En funcionamiento, la estructura de generación de calor 52 está bien sumergida en el refrigerante 16, como se ilustra en la figura 1B, o el refrigerante 16 puede fluir sobre la estructura de generación de calor 52. En cualquier caso, el refrigerante 16 entra en contacto con los módulos electrónicos 54 y la malla 60, y en respuesta, recibe calor y comienza a hervir, transfiriendo calor de la estructura de generación de calor 52 al refrigerante 16. La malla 60 contribuye a esta transferencia de calor, en este ejemplo, al aumentar el área de contacto con el refrigerante 16 y conducir calor fuera de los módulos electrónicos 54 al refrigerante 16. Aún así, debido a que la malla 60 es porosa, el refrigerante 16 puede fluir a través de la malla y permitir que la estructura de generación de calor 52 sea sumergida en el refrigerante 16. Se aprecia que incluso si
55

está sumergida, el refrigerante 16 puede fluir no obstante sobre y a través de la estructura de generación de calor 52 para aumentar adicionalmente la transferencia de calor.

5 La figura 3A ilustra un módulo de flujo continuo 100 que puede formar parte de un modo de realización alternativo de la estructura de generación de calor 12. El módulo 100 incluye una pluralidad de componentes que se ilustra mejor en las figuras 3B a 3D. La figura 3B es una vista lateral, la figura 3C es una vista superior, y la figura 3D es una vista inferior de un sustrato de circuito 102 de acuerdo con las enseñanzas de un modo de realización de la invención. La figura 3A está tomada a lo largo de la dirección de las líneas 3A-3A de la figura 3C, pero para un conjunto de sustratos de circuito 102. El sustrato de circuito 102 incluye una pluralidad de dispositivos electrónicos 104 formados en un sustrato 106. Acoplados al sustrato 106 se encuentran una pluralidad de microaletas de apoyo 108, ilustradas mejor en la figura 3D. Unas interconexiones 107 se disponen en la parte superior del sustrato 106 para proporcionar conexión eléctrica a los dispositivos electrónicos 104. En un modo de realización, el sustrato 106 es altamente conductor térmicamente para mejorar la transferencia de calor.

10 Cada uno de los sustratos de circuito 102 se muestra ubicado en una configuración de montaje para formar el módulo 100, ilustrado en la figura 3A. Dispuestos entre sustratos de circuito 102 contiguos se encuentran espacios vacíos 110. Los espacios vacíos 110 proporcionan un espacio para que el refrigerante 16 fluya o entre en contacto de otro modo con los sustratos de circuito 102. Una pluralidad de largueros de interconexión 102 puede separar circuitos contiguos y sustratos asociados 102. Los largueros de interconexión 112 pueden proporcionar conexiones eléctricas adecuadas, así como soporte estructurado para los sustratos de circuito 102, así como acoplamiento térmico al refrigerante 16 en las regiones vacías 110. Además, sustratos en blanco o ficticios pueden ser utilizados para conducir señales o potencia de un larguero de interconexión 112 a otro, además de aquellas conducidas en los bordes del módulo 100.

15 En funcionamiento, el refrigerante puede fluir a través de las regiones vacías 110, o ser mantenido en las mismas, en el contexto del sistema 10, o de otro sistema de refrigeración adecuado, lo que permite la transferencia de calor del circuito y su sustrato asociado 102 al refrigerante. En el modo de realización ilustrado, el flujo es hacia o desde la página de la figura 3A. Las microaletas de apoyo 102 aumentan adicionalmente la transferencia de calor al aumentar el área superficial en contacto con el refrigerante. Otras formas de mejora tales como aletas, abombamientos, o microcanales pueden ser utilizadas. El sistema puede permitir el contacto directo entre el refrigerante y cualquier componente electrónico que genere calor, de lo que resulta una transferencia eficiente de calor por ebullición. En algunos modos de realización, el sustrato de circuito 102 puede estar encapsulado, o en módulos 100 o en otros dispositivos. Un conjunto completo de módulos 100 dispuestos en el bastidor 120 se ilustra en la figura 4B como el conjunto 128.

20 Como se describió anteriormente con el módulo 100, la totalidad del conjunto 128 puede estar sumergido en el refrigerante 16, o el refrigerante 16 puede fluir de otro modo a través de los espacios vacíos en el conjunto 128 para proporcionar transferencia de calor. Se apreciará que los módulos 100 y/o el conjunto 128 puede tener una profundidad significativa (hacia la página) en algunos modos de realización, lo que permite refrigerar más componentes. Alternativamente, los módulos 100 y/o el conjunto 128 pueden ser sustancialmente bidimensionales.

25 Una estructura de generación de calor 12 puede comprender una pluralidad de conjuntos 128 que están interconectados a través de unos buses de señal y potencia o una placa madre, que puede incluir fibra óptica. En un modo de realización, todos los conjuntos 128 están montados horizontalmente con un flujo forzado de refrigerante 16 hacia arriba a través de un apilamiento de múltiples conjuntos. En este caso, los sustratos individuales son verticales, lo que permite el flujo ascendente de refrigerante lo largo de sus longitudes. En otro modo de realización, un regulador de inyección de agua asociado con cada conjunto puede ser utilizado para forzar agua a través de cada módulo de flujo continuo 100 montado en el bastidor 120.

Aunque la presente mención ha sido descrita en detalle, debe ser entendido que se pueden realizar diversos cambios, alteraciones, sustituciones, y modificaciones a las enseñanzas divulgadas en la misma sin alejarse del ámbito de la presente invención, que se define únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

45

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para refrigerar una estructura de generación de calor (12) dispuesta en un entorno que tiene una presión ambiental, comprendiendo la estructura de generación de calor componentes electrónicos, comprendiendo el procedimiento:
- 5 proporcionar un refrigerante (16);
- reducir una presión del refrigerante (16) a una presión subambiental a la cual el refrigerante (16) tiene una temperatura de ebullición inferior a una temperatura de la estructura de generación de calor (12);
- poner en contacto entre sí la estructura de generación de calor (12) y el refrigerante a una presión subambiental, de modo que el refrigerante (16) hierva y se vaporice para de este modo absorber calor de la estructura de
- 10 generación de calor (12);
- caracterizado por la etapa de filtrar el refrigerante (16) utilizando un lecho de filtrado a una presión subambiental para mantener un nivel de pureza deseado y dotar al refrigerante de una resistividad eléctrica superior a un millón de ohmios-cm.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que refrigerante (16) es mantenido a una temperatura de 60 °C
- 15 antes de entrar en contacto con la estructura de generación de calor.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el refrigerante (16) es uno de agua pura y metanol puro.
4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión del refrigerante (16) es reducida a menos de 101353 Pa (14,7 psia)
5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además circular
- 20 el refrigerante (16) a través de un bucle de flujo mientras se mantiene la presión del agua pura en un intervalo que tiene un límite superior inferior a la presión ambiental; preferiblemente
- el procedimiento comprende además configurar el bucle para que incluya un sistema de purificación de agua (34); y/o
- el procedimiento comprende además configurar el bucle para que incluya un intercambiador de calor (28) para
- 25 retirar calor del agua pura de modo que se condense el agua pura en un líquido, provocando preferiblemente que el intercambiador de calor (28) transfiera calor del refrigerante (16) a un medio adicional que tiene una temperatura ambiente inferior a la temperatura de ebullición del refrigerante (16) a la presión subambiental; y/o
- el procedimiento comprende además configurar el bucle para que incluya una bomba (30) para circular el agua pura a través del bucle.
- 30 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que poner en contacto entre sí la estructura de generación de calor (12) y el refrigerante (16) comprende sumergir la estructura de generación de calor (12) en un baño de agua pura mientras que el agua pura está fluyendo.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprende hacer fluir el refrigerante (16) sobre la estructura de generación de calor (12), preferiblemente poner en contacto entre sí la
- 35 estructura de generación de calor y el refrigerante comprende sumergir la estructura de generación de calor en el refrigerante comprende sumergir la estructura de generación de calor en un baño de agua pura mientras que el agua pura está fluyendo, preferiblemente sumergir la estructura de generación de calor en el refrigerante comprende además sumergir la estructura de generación de calor en un baño de agua pura que tiene una resistividad eléctrica superior a un millón de ohmios-cm.
- 40 8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además configurar la estructura de generación de calor (12) para incluir una pluralidad de módulos electrónicos (54) y una malla porosa (60) acoplada a cada módulo electrónico, preferiblemente cada módulo electrónico está conectado eléctricamente a al menos otro de la pluralidad de módulos electrónicos (54).
9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además
- 45 configurar la estructura de generación de calor para incluir:
- un bastidor (60) que tiene una pluralidad de huecos de bastidor;
- una pluralidad de módulos (54), dispuesto cada uno en huecos respectivos de los huecos de bastidor, comprendiendo cada módulo un conjunto de sustratos de circuito separados por regiones vacías a través de las

cuales el refrigerante (16) puede fluir, comprendiendo cada sustrato de circuito:

un sustrato; y

al menos un circuito eléctrico dispuesto en el sustrato; preferiblemente

5 configurar la estructura de generación de calor (12) incluye además proporcionar una pluralidad de aletas de apoyo que se extienden desde el sustrato.

10. Un aparato para refrigerar una estructura de generación de calor (12) dispuesta en un entorno que tiene una presión ambiental, comprendiendo el aparato:

un refrigerante (16);

10 un sistema de reducción de presión que funciona para reducir una presión del refrigerante (16) hasta una presión subambiental a la cual el refrigerante (16) tiene una temperatura de ebullición inferior a una temperatura de la estructura de generación de calor; y

15 un conjunto sumergido accionable para sumergir la estructura de generación de calor (12) en el refrigerante de tal modo que el calor de la estructura de generación de calor provoque que el refrigerante (16) hierva y se vaporice, de modo que refrigerante (16) absorba calor de la estructura de generación de calor (12) a medida que el refrigerante (16) cambia de estado;

un sistema de purificación que incluye un lecho de filtrado para filtrar el refrigerante a una presión subambiental para mantener un nivel de pureza deseado y dotar al refrigerante de una resistividad eléctrica superior a un millón de ohmios-cm.

20 11. El aparato de la reivindicación 9, en el que el sistema de purificación es accionable para mantener la pureza del refrigerante (16) a un nivel tal que el refrigerante (16) tenga una resistividad eléctrica superior a un millón de ohmios-cm; y/o

comprende además un intercambiador de calor (28) para retirar calor del refrigerante (16) de modo que se condense el refrigerante en un líquido; y/o

comprende además una bomba (30) para la circulación del refrigerante (16).

25 12. El aparato de las reivindicaciones 10 u 11, que comprende además la estructura de generación de calor (12), comprendiendo la estructura de generación de calor (12) una pluralidad de módulos electrónicos (54) y una malla porosa (60) acoplada a cada módulo electrónico, preferiblemente cada módulo electrónico está conectado eléctricamente con al menos otro de la pluralidad de módulos electrónicos (54).

30 13. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 10 a 12, en el que la estructura de generación de calor (12) comprende:

un bastidor (60) que tiene una pluralidad de huecos de bastidor;

una pluralidad de módulos (54), dispuesto cada uno en huecos respectivos de los huecos de bastidor, comprendiendo cada módulo un conjunto de sustratos de circuito separados por regiones vacías a través de las cuales puede fluir refrigerante (16), comprendiendo cada sustrato de circuito:

35 un sustrato; y

al menos un circuito eléctrico dispuesto en el sustrato; preferiblemente

el aparato comprende además una pluralidad de aletas de apoyo que se extienden desde cada sustrato.

14. El aparato de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además:

una malla porosa (60); y

40 una pluralidad de módulos electrónicos (54) conectados a la malla porosa; preferiblemente

el aparato comprende además al menos una interconexión que acopla electrónicamente uno de la pluralidad de módulos electrónicos (54) con al menos otro de la pluralidad de módulos electrónicos (54), preferiblemente al menos uno de los módulos electrónicos (54) comprende una pluralidad de protuberancias conductoras térmicamente conectadas eléctricamente con la al menos una interconexión; y/o

el aparato comprende además agua pura como el refrigerante (16) que tiene una resistividad eléctrica superior a un millón de ohmios-cm, la malla porosa (60) y la pluralidad de módulos electrónicos (54) sumergidos en el agua pura, preferiblemente el agua pura comprende agua pura que fluye con relación a la malla porosa (60) y a la pluralidad de módulos porosos (54).

5 15. El aparato de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además

un bastidor (60) que tiene una pluralidad de huecos de bastidor;

una pluralidad de módulos (54) dispuesto cada uno en huecos respectivos de los huecos de bastidor, comprendiendo cada módulo un conjunto de sustratos de circuito separados por regiones vacías a través de las cuales puede fluir refrigerante (16), comprendiendo cada sustrato de circuito:

10 un sustrato; y

al menos un circuito eléctrico dispuesto en el sustrato; preferiblemente

el aparato comprende además agua pura como el refrigerante (16), el bastidor (60) y la pluralidad de módulos (54) sumergidos en el agua pura; y/o

15 el aparato comprende además metanol como el refrigerante (16), el bastidor (60) y la pluralidad de módulos (24) sumergidos en el metanol; y/o

el refrigerante está a una presión inferior a 101353 Pa (14,7 psia).



