



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 323 683**

51 Int. Cl.:
H01L 23/427 (2006.01)
H05K 7/20 (2006.01)
H01Q 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03254283 .9**
96 Fecha de presentación : **05.07.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1381083**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.01.2004**

54 Título: **Aparato para eliminar calor de un circuito.**

30 Prioridad: **11.07.2002 US 193571**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.07.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.07.2009

73 Titular/es: **RAYTHEON COMPANY**
870 Winter Street
Waltham, Massachusetts 02541-1449, US

72 Inventor/es: **Haws, James L.;**
Wyatt, William Gerald;
Kviatkofsky, James F. y
Denniston, David B.

74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

ES 2 323 683 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 para eliminar calor de un circuito.

5 **Campo técnico de la invención**

Esta invención se refiere en general a técnicas para refrigerar sistemas de circuitos y, más en particular, a un procedimiento y a un aparato para eliminar eficazmente el calor de un circuito que genera cantidades de calor relativamente elevadas.

10 **Antecedentes de la invención**

Algunos tipos de circuitos generan muy poco calor y pueden hacerse funcionar con una técnica de refrigeración pasiva, tal como la refrigeración por convección. Por otro lado, existe una variedad de circuitos que generan cantidades de calor extremadamente elevadas y que requieren algún tipo de refrigeración activa. Un ejemplo es un sistema de antenas de elementos múltiples en fase de alta potencia, que consume grandes cantidades de energía eléctrica, normalmente del orden de decenas de miles de vatios.

Estos sistemas de antenas de elementos múltiples en fase incluyen normalmente circuitos integrados monolíticos de microondas (MMIC, *monolithic microwave integrated circuits*), que consumen importantes cantidades de energía y que generan importantes cantidades de calor. Los sistemas preexistentes de este tipo incluyen normalmente MMIC que necesitan refrigeración para una densidad térmica no superior a 100 vatios/pulgada² aproximadamente (1 vatio/pulgada² equivale a 1,55 KW/m²). Sin embargo, la tendencia de la industria está enfocada hacia el desarrollo y la utilización de dispositivos MMIC que consumen cantidades de energía sustancialmente más elevadas y que disipan cantidades de calor sustancialmente más grandes. Un ejemplo es la tecnología MMIC de nitruro de galio (GaN) y otro ejemplo es la tecnología MMIC de arseniuro de galio (GaAs). En un MMIC de GaN, la densidad térmica típica puede ser del orden de al menos 400 vatios/pulgada², cuando el factor de utilización de las radiofrecuencias es del 100%. Aunque las técnicas preexistentes para la refrigeración de sistemas de antenas de elementos múltiples en fase han sido generalmente adecuadas para sus fines propuestos, utilizan un refrigerante monofásico tal como una polialfaolefina (PAO) enfriada mediante refrigeración. Un sistema de refrigeración preexistente de este tipo con un refrigerante monofásico solo puede manejar densidades térmicas de hasta 100 vatios/pulgada². Por consiguiente, los sistemas y técnicas de refrigeración preexistentes no son totalmente satisfactorios para los niveles de calor disipado por la tecnología de próxima generación utilizada en los sistemas de antenas de elementos múltiples en fase. Pueden encontrarse ejemplos de técnicas preexistentes en los documentos US4938280, US5943211 y US4998181. En el documento US4938280, un intercambiador de calor monobloque incluye una cavidad para transportar un refrigerante líquido. En el documento US5943211 se utiliza un atomizador para pulverizar refrigerante sobre los componentes electrónicos de una tarjeta integrada. En el documento US4998181 se proporcionan módulos en tubos sellados rodeados por refrigerante.

El documento WO 02/23966 se refiere a un aparato que incluye una pluralidad de módulos de transmisión/recepción acoplados con un conjunto de listones que presenta un paso de fluidos.

Breve descripción de la invención

A partir de lo descrito anteriormente puede apreciarse que ha surgido la necesidad de un procedimiento y de un aparato que proporcionen una refrigeración más eficaz de los componentes de circuito que generan calor. Según la invención se proporciona un aparato que comprende: un elemento de listón que presenta una tarjeta de circuito que incluye un componente de circuito que genera calor; y una placa de refrigeración acoplada a dicha tarjeta de circuito, incluyendo dicha placa de refrigeración un canal en un primer lado de la misma alejado de dicha tarjeta de circuito, pudiendo funcionar dicho canal para permitir que fluya un refrigerante bifásico a lo largo del mismo, pudiendo funcionar dicho refrigerante para absorber el calor de dicho componente de circuito a través de dicha placa de refrigeración, incluyendo dicho canal una primera abertura a través de dicha placa de refrigeración para permitir que dicho refrigerante bifásico establezca un contacto físico directo con dicho componente de circuito de manera que dicho refrigerante absorba el calor directamente desde dicho componente de circuito, cambiando al menos parte de dicho refrigerante desde una primera fase hasta una segunda fase como respuesta al calor absorbido desde dicho componente de circuito, siendo diferente dicha segunda fase de dicha primera fase.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se entenderá mejor a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de parte de un sistema de antenas de elementos múltiples en fase que hace uso de la presente invención;

la figura 2 es una vista esquemática, fragmentada, en despiece ordenado y en perspectiva de un listón que es un componente del sistema de la figura 1; y

la figura 3 es una vista desde arriba esquemática, fragmentada y seccionada de parte de un listón que es un ejemplo del listón mostrado en la figura 2 útil para entender la invención.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de parte de un aparato que es un sistema de antenas de elementos múltiples en fase 10. El sistema de antenas 10 incluye un armazón o bastidor 12. El bastidor 12 soporta una pluralidad de módulos de un tipo conocido comúnmente como listones, tres de los cuales se muestran en la figura 1 en 16 a 18. En una configuración operativa habría un mayor número de listones instalados en el armazón 12 de manera que el armazón 12 se llene de listones.

En la realización de la figura 1, todos los listones son idénticos, incluyendo los tres listones mostrados en 16 a 18. Cada listón tiene, a lo largo de un borde opuesto al armazón 12, una fila de elementos de antena 21 que se proyectan hacia fuera. Los elementos de antena 21 de todos los listones definen de manera colectiva una disposición bidimensional de elementos de antena. Cada listón incluye un sistema de circuitos con capacidades de transmisión y recepción, y este sistema de circuitos está acoplado de manera operativa a los elementos de antena 21 de ese listón. El armazón 12 transporta señales eléctricas y refrigerante hasta y desde cada uno de los listones de una manera conocida en la técnica y que por lo tanto no se ilustrará ni se describirá en detalle en este documento. A este respecto, la figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de refrigeración y de condensación 27 que puede enfriar un refrigerante en su fase de vapor para devolver al refrigerante a su fase líquida. El refrigerante del armazón 12 circula a través del sistema 27 a lo largo de una trayectoria que se indica esquemáticamente en la figura 1 mediante el número de referencia 26.

En un sistema de antenas de elementos múltiples en fase preexistente, el sistema de circuitos de transmisión/recepción incluye circuitos integrados monolíticos de microondas (MMIC) que necesitan una refrigeración activa que pueda eliminar el calor a una velocidad inferior a 100 vatios/pulgada². Los MMIC más recientes incluyen tecnología de nitruro de galio (GaN) y disipan cantidades de calor significativamente más grandes, por ejemplo de 500 vatios/pulgada². En la realización de la figura 1, el sistema de antenas 10 usa tecnología MMIC de GaN e incluye una configuración de refrigeración que puede eliminar calor eficazmente a una velocidad de 500 vatios/pulgada². De hecho, la disposición de refrigeración proporcionada para el sistema de antenas 10 de la figura 1 puede eliminar calor a velocidades de hasta 1000 vatios/pulgada².

Tal y como se ha mencionado anteriormente, los listones del sistema de antenas 10 de la figura 1 son todos idénticos. Por lo tanto, para explicar cómo se refrigeran, la siguiente descripción está enfocada en detalle solamente a uno de los listones, en particular al listón 16. En mayor detalle, la figura 2 es una vista esquemática, fragmentada, en despiece ordenado y en perspectiva del listón 16 de la figura 1. Tal y como se muestra en la figura 2, el listón 16 incluye un elemento de listón 41, una placa de refrigeración 42 y una placa de recubrimiento 43, estando interpuesta la placa de refrigeración 42 entre el elemento de listón 41 y la placa de recubrimiento 43. En la realización divulgada, el elemento de listón 41, la placa de refrigeración 42 y la placa de recubrimiento 43 están hechos cada uno de carburo de silicio y aluminio (AlSiC) debido en parte a que presenta un coeficiente de expansión térmica (CTE, *coefficient of thermal expansion*) comparable al de los otros componentes del listón, para evitar tensiones estructurales inducidas térmicamente. Sin embargo, una o más de las partes 41 - 43 podrían estar hechas alternativamente a partir de otro material adecuado.

El elemento de listón 41 presenta una fila de elementos de antena 21 soportados sobre el mismo. Una tarjeta de circuito 47 de múltiples capas está soportada en un lado del elemento de listón 41 enfrente de la placa de refrigeración 42. La tarjeta de circuito 47 está acoplada eléctricamente al armazón 12 (figura 1) a través de conectores en una manera conocida en la técnica y que por lo tanto no se ilustrará ni se describirá en detalle en este documento. La tarjeta de circuito 47 tiene, en el lado de la misma que no es visible en la figura 2, una pluralidad de sondas de radiofrecuencia (RF) que están dispuestas a lo largo del borde adyacente a los elementos de antena 21. Cuando el sistema de antenas 12 está transmitiendo, las sondas excitan los elementos de antena 21 como respuesta a una señal de RF adecuada de la tarjeta de circuito 47. Por otro lado, cuando el sistema de antenas 12 está recibiendo, el elemento de antena excita las sondas como respuesta a una señal de RF entrante.

La tarjeta de circuito 47 tiene montada sobre la misma una columna vertical de módulos de transmisión/recepción, uno de los cuales está identificado en la figura 2 mediante el número de referencia 51. Cada uno de los módulos de transmisión/recepción está asociado con un elemento respectivo de los elementos de antena 21. Los módulos de transmisión/recepción son idénticos y, por lo tanto, sólo se describirá posteriormente en detalle el módulo 51.

Más específicamente, el módulo 51 incluye una placa de base de cerámica 52 que está sellada herméticamente a lo largo de su borde periférico a un recubrimiento de cerámica 53, definiendo por tanto un alojamiento de módulo. El módulo 51 incluye dentro de este alojamiento una tarjeta de circuito que presenta un MMIC de GaN 56 montado sobre la misma. El lado del MMIC 56 que es visible en la figura 2 es el lado denominado comúnmente como el lado de unión activa. Aparte del MMIC 56, la tarjeta de circuito dentro del módulo 51 generalmente no es visible en la figura 2. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el sistema de circuitos previsto sobre la tarjeta de circuito dentro de cada módulo tiene una configuración de un tipo conocido en la técnica y por lo tanto no se describirá en detalle en este documento.

ES 2 323 683 T3

El recubrimiento 53 del módulo 51 presenta una abertura 61 rectangular que está alineada con el MMIC 56 y sirve como un orificio de entrada a través del cual el refrigerante puede penetrar en el módulo 51, tal y como se describirá posteriormente en mayor detalle. El recubrimiento 53 presenta cerca de sus esquinas inferiores opuestas dos orificios de salida 62 y 63 a través de los cuales el refrigerante sale del módulo 51, tal y como se describirá posteriormente.

La tarjeta de circuito dentro del módulo 51 está acoplada eléctricamente a la tarjeta de circuito 47 de múltiples capas. En la realización descrita, las superficies enfrentadas de la tarjeta de circuito 47 y de la placa de base 52 presentan cada una una pluralidad de puntos de soldadura no ilustrados, y pares respectivos de estos puntos de soldadura están acoplados eléctricamente entre sí mediante una rejilla de gotas o de bolas de soldadura, en una configuración del tipo conocido generalmente en la técnica como disposición de rejilla de bolas. La placa de base 52 del módulo 51 presenta una pluralidad de vías no ilustradas, extendiéndose cada una a través de la misma de una manera que facilita un sellado hermético. Un extremo de cada vía está acoplado a uno de los puntos de soldadura previstos en la placa de base 52, y el otro extremo de cada vía está acoplado eléctricamente de alguna manera adecuada a la tarjeta de circuito del módulo 51.

En la configuración ensamblada del listón 16 hay un sellado entre la placa de refrigeración 42 y cada uno de los módulos previstos en el elemento de listón 41, incluyendo el módulo 51. En la realización desvelada, esto se lleva a cabo mediante el uso de una soldadura a baja temperatura prevista entre la placa de refrigeración 42 y cada uno de los módulos. Sin embargo, el sellado podría llevarse a cabo alternativamente de alguna otra manera adecuada, por ejemplo con un sellado por compresión. Todavía otro enfoque alternativo es utilizar un sellado que se extienda a lo largo de la periferia de la placa de refrigeración 42 y la periferia del grupo de módulos, de manera que los orificios de entrada y de salida 61 a 63 no estén sellados entre sí sino que estén sellados con respecto a la estructura externa al sellado.

La placa de refrigeración 42 presenta, en lado de la misma opuesto al elemento de listón 41, una configuración de canales poco profundos o muescas formados mediante maquinado, colada o moldeo. Esta red de canales incluye un orificio de entrada 72, que puede estar acoplado de manera operativa a un conducto de suministro de refrigerante situado dentro del armazón 12 (figura 1), por ejemplo mediante el uso de un acoplamiento de desconexión rápida de un tipo conocido en la técnica y que por lo tanto no se mostrará ni se describirá en detalle en este documento. El uso de acoplamientos de desconexión rápida permite extraer y sustituir un listón sin drenar el refrigerante de todo el sistema. El orificio de entrada 72 conduce hasta un canal de entrada 73 de alta presión que a su vez se comunica con una pluralidad de orificios, dos de los cuales están designados en la figura 2 mediante los respectivos números de referencia 76 y 77. En la realización descrita hay un orificio para cada uno de los módulos previstos en la tarjeta de circuito 47, incluyendo el módulo 51.

En la figura 2, los orificios ilustrados son todos del mismo tamaño. Sin embargo, tal y como se muestra de manera esquemática mediante la línea discontinua 78, sería posible, como alternativa, que algunos de los orificios fueran más grandes o más pequeños que otros, de manera que algunos de los módulos de la tarjeta de circuito 47 reciban intencionadamente una mayor o una menor cantidad de refrigerante que los otros módulos, suministrando de ese modo una mayor o una menor cantidad de refrigerante a los módulos que necesiten proporcionalmente una mayor o una menor refrigeración.

Después de que una porción del refrigerante del canal de entrada 73 haya pasado a través de uno cualquiera de los orificios, llega a un grupo o conjunto respectivo de pequeños orificios de alimentación 81 que se extienden de manera transversal a través de la placa de refrigeración 42. Cada grupo de aberturas de alimentación 81 está alineado con la abertura 61 en un módulo respectivo de los módulos de transmisión/recepción. La placa de refrigeración 42 también presenta varios pares de aberturas de retorno 83 y 84, extendiéndose cada una de manera transversal a través de la placa de refrigeración 42 y comunicándose cada una con un orificio respectivo de los orificios de salida 62 y 63 de un módulo respectivo de los módulos. Cada par de aberturas de retorno 83 y 84 se comunica con un canal de retorno 86 respectivo de baja presión. Todos los canales de retorno 86 conducen a un canal 88 algo más profundo que sirve como una cámara de recogida de baja presión. El refrigerante de la cámara de recogida 88 se desplaza desde la placa de refrigeración 42 hasta un orificio de salida no ilustrado que está acoplado al armazón 12 (figura 1) mediante un acoplamiento de desconexión rápida no ilustrado de un tipo conocido.

En la configuración ensamblada del listón 16, el recubrimiento 43 tiene sus bordes periféricos sellados con respecto a los bordes periféricos de la placa de refrigeración 42, por ejemplo, mediante soldadura fuerte o soldadura de fusión, o mediante una junta obturadora no ilustrada. Además, los bordes periféricos de la placa de refrigeración 42 están sellados de una manera similar a los bordes periféricos del elemento de listón 41.

La realización de las figuras 1 y 2 lleva a cabo lo que puede denominarse como refrigeración del “lado delantero” de los MMIC 56 de cada módulo, ya que el refrigerante hace contacto directamente con el lado de unión activa de cada MMIC. Esto requiere un refrigerante que sea térmicamente conductor pero eléctricamente no conductor. Para satisfacer estos criterios, la realización de las figuras 1 y 2 usan como refrigerante un refrigerante Fluorinert de un tipo conocido, tal como el disponible comercialmente como FC-77. Debido a que el refrigerante hace contacto directamente con el MMIC, sin estructuras intermedias, la diferencia de temperatura entre el refrigerante y la unión activa de los MMIC se minimiza, lo que ayuda a mantener bajas las temperaturas de unión de los MMIC, lo que a su vez aumenta la vida útil operativa y la fiabilidad de los MMIC.

ES 2 323 683 T3

En funcionamiento, se suministra el refrigerante en fase líquida a través del armazón 12 a cada uno de los listones, incluyendo el listón 16. La porción del refrigerante que penetra en el listón 16 fluye hacia el interior de la placa de refrigeración 42 a través de la entrada 72. Después, este refrigerante se desplaza a través del canal de entrada 73 donde se divide de manera que una porción respectiva del mismo pase a través de cada uno de los orificios, incluyendo los orificios mostrados en 76 y 77. Después de pasar a través de estos orificios, cada porción respectiva del refrigerante llega y pasa a través de un grupo respectivo de las aberturas 81 y después cada flujo a través de la abertura 61 en un módulo respectivo de los módulos, tal y como se indica esquemáticamente en la figura 2 mediante la línea 96 discontinua.

Después de penetrar en cada módulo a través de la abertura 61 asociada, el refrigerante hace contacto directamente con el lado de unión activa expuesto del MMIC 56 en ese módulo y absorbe el calor del MMIC 56. Debido a esta absorción de calor, parte de o todo el refrigerante en ese módulo hierve y pasa de su fase líquida a su fase de vapor. Este cambio de fase está intrínsecamente asociado con la absorción de una cantidad de calor importante por parte del refrigerante. Después, el refrigerante dentro del módulo, incluyendo vapor y posiblemente algo de líquido, fluye dentro del módulo desde la región de la abertura 61 hacia los orificios de salida 62 y 63, absorbiendo calor de otros componentes de la tarjeta de circuito dentro del módulo. En cada módulo, las respectivas porciones del refrigerante salen del módulo a través de los orificios de salida 62 y 63 de ese módulo y después pasan respectivamente a través de los pares asociados de aberturas de retorno 83 y 84 de la placa de refrigeración 42, tal y como se indica de manera esquemática en la figura 2 mediante las líneas 97 y 98 discontinuas. Las porciones del refrigerante que pasan a través de cada par de aberturas de retorno 83 y 84 penetran después en un canal respectivo de los canales 86, donde se desplazan hacia la cámara de recogida 88.

Desde la cámara de recogida 88, el refrigerante se desplaza hacia el orificio de salida no ilustrado del listón 16. El refrigerante que sale del listón 16 a través del orificio de salida fluye a través de un canal previsto dentro del armazón 12 y después se desplaza a lo largo de la trayectoria 26 a través del sistema de refrigeración y de condensación 27, donde se enfría y vuelve a la fase líquida. Este refrigerante líquido enfriado vuelve a llevarse al interior del armazón 12, donde se distribuye de nuevo entre los orificios de entrada 72 de los listones.

En la figura 2, la placa de refrigeración 42 se muestra interpuesta entre el elemento de listón 41 y la placa de recubrimiento 43. Sin embargo, en una configuración alternativa, la placa de recubrimiento 43 puede sustituirse por una placa de refrigeración y por un elemento de listón que sean imágenes especulares de la placa de refrigeración 42 y del elemento de listón 41, dando como resultado un único listón que presenta una disposición de refrigeración central interpuesta entre y que da servicio a dos columnas verticales de elementos de antena y de módulos de transmisión/recepción.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la realización de las figuras 1 y 2 usa un refrigerante Fluorinert como refrigerante, ya que un refrigerante Fluorinert es térmicamente conductor pero eléctricamente no conductor. Tal y como se ha mencionado también anteriormente, una parte significativa del efecto de refrigeración se obtiene mediante el cambio de fase del refrigerante, desde su fase líquida hasta su fase de vapor. La cantidad de calor absorbido por un refrigerante cuando cambia de líquido a vapor se como su calor latente de vaporización.

Se conocen refrigerantes que presentan un calor latente de vaporización sustancialmente superior al del refrigerante Fluorinert usado en las figuras 1 y 2. Dicho de otro modo, cuando estos otros refrigerantes cambian de líquido a vapor, absorben sustancialmente más calor por unidad de volumen que un refrigerante Fluorinert. Por ejemplo, el agua tiene un calor latente de vaporización que es superior al de prácticamente cualquier otro refrigerante adecuado y es aproximadamente 20 veces el calor latente de vaporización de un refrigerante Fluorinert típico. Dicho de otro modo, el volumen de un refrigerante Fluorinert que debe fluir para eliminar una cantidad de calor específica es de aproximadamente 20 veces el volumen de agua que debe fluir con el fin de eliminar la misma cantidad de calor. Además de agua, refrigerantes que presentan calores latentes de vaporización superiores al de un refrigerante Fluorinert incluyen el metanol, el amoníaco, una mezcla de agua y etilenglicol, y una mezcla de agua y metanol.

Debido a que presentan calores latentes de vaporización más elevados, estos otros tipos de refrigerante ofrecen la posibilidad de enfriar más eficazmente que una misma cantidad de un refrigerante Fluorinert. Por otro lado, todo estos otros refrigerantes son eléctricamente conductores y por lo tanto no son adecuados para su utilización en la realización de las figuras 1 y 2 ya que no pueden hacer contacto directamente con un MMIC. Por tanto, para poder utilizar uno de estos otros tipos de refrigerante (o incluso un refrigerante Fluorinert), se muestra y se describe un ejemplo adicional con relación a la figura 3, donde se consigue una refrigeración eficaz sin un contacto directo entre el refrigerante y un componente de circuito tal como un MMIC.

Más específicamente, la figura 3 es una vista desde arriba esquemática, fragmentada y seccionada de una parte de un listón que es un ejemplo del listón 16 mostrado en la figura 2. En la figura 3, una placa de refrigeración 110 hecha de AISiC presenta diversos pasos que se extienden a través de la misma, uno de los cuales es visible en 111 en la figura 3. Se hace fluir un refrigerante a través del paso 111, tal y como se indica de manera esquemática mediante las líneas discontinuas de la figura 3. La distribución de refrigerante hacia los pasos 111 respectivos se realiza a través de respectivos orificios no ilustrados de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la realización de la figura 2. En la figura 3 el refrigerante es agua, pero podría ser alternativamente amoníaco, metanol, una mezcla de agua y metanol, una mezcla de agua y etilenglicol, un refrigerante Fluorinert o cualquier otro refrigerante bifásico adecuado. La placa de refrigeración 110 presenta aberturas 116 y 117 previstas a través de lados opuestos de la misma.

ES 2 323 683 T3

Una parte 121 más extensa con una alta conductividad térmica está fijada firmemente en la abertura 116 mediante un anillo de un elemento de sellado 123. El elemento de sellado 123 puede ser cualquier elemento de sellado conocido adecuado e impide que el refrigerante se escape del paso 111 en torno a los bordes de la parte térmicamente conductora 121. De una manera similar, una parte 122 más extensa idéntica está fijada firmemente en la abertura 117 mediante un anillo de un elemento de sellado 124. En el ejemplo de la figura 3, las partes térmicamente conductoras 121 y 122 están hechas cada una de diamante sintético, que tiene una alta conductividad térmica, pero podrían fabricarse alternativamente a partir de cualquier otro material adecuado, como por ejemplo óxido de berilio (BeO).

Las partes térmicamente conductoras 121 y 122 presentan cada una pluralidad de aletas o resaltes 126 ó 127 que se extienden hacia dentro en una dirección hacia el paso 111. Los extremos de los resaltes 126 y 127 pueden disponerse hacia fuera del, al mismo nivel que los bordes del, o dentro del paso 111. La longitud y la posición de los resaltes 126 y 127 garantizan que el refrigerante se distribuya apropiadamente para hacer contacto con los resaltes 126 y 127. Los resaltes 126 y 127 dan como resultado un aumento sustancial en la cantidad de área de superficie de las partes térmicamente conductoras 121 y 122 que hace contacto con el refrigerante, en comparación con una configuración no ilustrada en la que cada una de las partes térmicamente conductoras presenta solamente una superficie interior plana que hace contacto con el refrigerante. Puesto que los resaltes 126 y 127 aumentan significativamente la cantidad de área de superficie de las partes 121 y 122 que hace contacto con el refrigerante, también aumentan significativamente la velocidad a la que puede transferirse el calor desde las partes térmicamente conductoras 121 y 122 al refrigerante.

Las partes térmicamente conductoras 121 y 122 presentan cada una una superficie plana en un lado de la misma opuesto a los resaltes 126 y 127. Un MMIC 131 ó 132 respectivo está montado firmemente sobre cada una de estas superficies planas, con el lado posterior de cada MMIC 131 ó 132 orientado hacia y el lado de unión activa de cada MMIC opuesto a la parte térmicamente conductora 121 ó 122 asociada. Los MMIC 131 y 132 pueden fijarse mediante una resina epoxi conocida que presente una alta conductividad térmica o mediante cualquier otra manera adecuada que garantice que los MMIC 131 y 132 estén en una comunicación térmica sustancialmente directa con las partes térmicamente conductoras 121 y 122 para obtener un nivel de conductividad térmica muy elevado entre cada MMIC y la parte térmicamente conductora asociada.

Aunque la figura 3 muestra las partes térmicamente conductoras 121 y 122 dispuestas entre el refrigerante y los MMIC 131 y 132, sería posible como alternativa que el refrigerante hiciera contacto directamente con los lados posteriores de los MMIC, incluso si el refrigerante es eléctricamente conductor. Por ejemplo, las partes térmicamente conductoras podrían tener aberturas a través de las mismas que expusieran los lados posteriores de los MMIC al refrigerante, en cuyo caso las partes 121 y 122 podrían ser térmicamente conductoras o no conductoras. Además, si los lados posteriores de los MMIC están expuestos directamente al refrigerante, los lados posteriores podrían hacerse rugosos para facilitar la transferencia de calor, y/o podrían presentar resaltes integrados similares a los resaltes 126 y 127 de las partes térmicamente conductoras.

En el ejemplo de la figura 3, dos tarjetas de circuito 138 y 139 de múltiples capas están soportadas en lados opuestos de la placa de refrigeración 110. Cada una de las tarjetas de circuito presenta una abertura a través de la misma y una parte respectiva de las partes térmicamente conductoras 121 y 122 se extiende a través de cada abertura. Dos módulos de transmisión/recepción 146 y 147 están dispuestos en lados opuestos de la placa de refrigeración 110. Cada uno de los módulos 146 y 147 es generalmente análogo al tipo de módulo de transmisión/recepción mostrado en 51 en la figura 2 aunque hay algunas diferencias.

A este respecto, cada uno de los módulos de transmisión/recepción 146 y 147 incluye un alojamiento definido por una placa de base 148 ó 149 de cerámica que presenta sus bordes periféricos fijados de manera firme y sellada a bordes de un recubrimiento 151 ó 152 de cerámica, por ejemplo mediante soldadura fuerte. Cada una de las placas de base 148 y 149 presenta a través de la misma una abertura 153 ó 154 escalonada que se engancha de manera coincidente con una abertura escalonada correspondiente en una parte respectiva de las partes térmicamente conductoras 121 y 122. Las placas de base 148 y 149 están fijadas de manera fija y sellada a las respectivas partes térmicamente conductoras 121 ó 122, por ejemplo mediante soldadura fuerte. Por tanto, cada uno de los alojamientos de los módulos 146 y 147 está sellado herméticamente.

Cada uno de los módulos de transmisión/recepción 146 y 147 presenta en el mismo una tarjeta de circuito 161 ó 162 respectiva, que a su vez presenta sobre la misma un sistema de circuitos de transmisión/recepción de un tipo conocido, y que presenta a través de la misma una abertura que aloja al MMIC 131 ó 132 asociado, y un extremo de la parte térmicamente conductora 121 ó 122 correspondiente. Cada uno de los MMIC 131 y 132 está acoplado eléctricamente a la tarjeta de circuito 161 ó 162 asociada mediante una pluralidad de hilos de oro, por ejemplo tal y como se indica de manera esquemática en 163 y 164.

Las superficies enfrentadas de la placa de base 148 y de la tarjeta de circuito 138 de múltiples capas presentan cada una una pluralidad de puntos de soldadura. Se proporciona una pluralidad de bolas de soldadura, dispuestas en lo que se conoce comúnmente como una disposición de rejilla de bolas, entre la placa de base 148 y la tarjeta de circuito 138. Las bolas de soldadura 171 de la disposición de rejilla de bolas están rodeadas por un relleno insuficiente 173 de un tipo conocido en la técnica que no es eléctricamente conductor. De una manera similar, las superficies enfrentadas de la placa de base 149 y de la placa de circuito 139 de múltiples capas presentan puntos de soldadura que están acoplados eléctricamente entre sí mediante bolas de soldadura 172 de una disposición de rejilla de bolas adicional. Las bolas de

soldadura 172 de esta segunda disposición de rejilla de bolas están rodeadas por un relleno insuficiente 174 asociado que es eléctricamente no conductor.

Los puntos de soldadura mencionados anteriormente sobre la placa de base 148 están acoplados eléctricamente a la tarjeta de circuito de transmisión/recepción 161 de una manera adecuada, por ejemplo mediante vías no ilustradas que se extienden a través de la placa de base 148 en una manera que lleva a cabo un sellado hermético para el alojamiento del módulo 146. De manera similar, los puntos de soldadura sobre la placa de base 149 están acoplados eléctricamente a la tarjeta de circuito de transmisión/recepción 162 de una manera adecuada, por ejemplo mediante vías no ilustradas que se extienden a través de la placa de base 149 en una manera que lleva a cabo un sellado hermético para el alojamiento del módulo 147.

En funcionamiento, los MMIC 131 y 132 generan cada uno importantes cantidades de calor, la mayoría del cual se transfiere a una parte respectiva de las partes de alta conductividad térmica 121 y 122. El refrigerante en fase líquida penetra en el paso 111 desde el lado izquierdo de la figura 3 y se desplaza hacia la derecha hacia las partes térmicamente conductoras 121 y 122. El refrigerante hace contacto directamente con las partes térmicamente conductoras 121 y 122, donde absorbe suficiente calor para que parte de o todo el refrigerante hierva y se vaporice. El vapor de refrigerante resultante, junto con cualquier resto de refrigerante líquido, continúa hacia la derecha a través del paso 111. Después, se desplaza finalmente a través de un sistema de condensación y de refrigeración del tipo mostrado en 27 en la figura 1, donde se enfría de una manera que provoca que pase de su fase de vapor a su fase líquida. Después, este refrigerante puede suministrarse de nuevo al paso 111.

Aunque solamente dos módulos de transmisión/recepción 146 y 147 son visibles en la figura 3, se proporciona una pluralidad de módulos de transmisión/recepción en cada lado de la placa de refrigeración 110 y de las tarjetas de circuito 138 y 139, de una manera comparable con la descripción en la figura 2 de la columna de módulos de transmisión/recepción (incluyendo el módulo 51).

La presente invención proporciona varias ventajas técnicas. Una ventaja técnica se obtiene a partir del uso de un refrigerante bifásico que hace contacto directamente con un componente de circuito que genera calor a través de una parte con un alta conductividad térmica con el fin de extraer calor a una alta velocidad del componente de circuito mientras que se minimiza la diferencia de temperatura entre el refrigerante y la estructura que genera calor dentro del componente de circuito. Esto permite la extracción de calor a velocidades sustancialmente mayores que las velocidades disponibles con las técnicas de refrigeración preexistentes y, de hecho, las velocidades conseguidas a través del uso de la invención pueden ser de cinco a diez veces la velocidad existente. Puesto que la refrigeración se lleva a cabo fundamentalmente mediante la vaporización del refrigerante, lo que se produce a una temperatura específica, la aplicación de la invención en un sistema de antenas de elementos múltiples en fase ofrece la ventaja de proporcionar un efecto de refrigeración a sustancialmente la misma temperatura a través de todo el conjunto de antenas. Esto ayuda a eliminar los gradientes de temperatura del sistema de antenas de elementos múltiples en fase. Tal y como se conoce ampliamente, los gradientes de temperatura de un sistema de antenas de elementos múltiples en fase no son ventajosos ya que producen desfases no deseados a través del conjunto, y estos desfases no deseados degradan un funcionamiento preciso. A media que aumenta progresivamente la frecuencia operativa seleccionada para un sistema de antenas de elementos múltiples en fase, se produce una disminución progresiva en la magnitud de gradientes de temperatura permisibles en el conjunto. La presente invención es altamente eficaz en la minimización de los gradientes de temperatura en una manera que permite un funcionamiento preciso incluso en altas frecuencias.

Se obtiene una ventaja adicional a partir del uso de orificios que controlan el caudal o volumen de flujo de refrigerante para los respectivos componentes de circuito que generan calor, lo que permite que el sistema de refrigeración se configure para eliminar más eficazmente diferentes niveles de calor concentrado de diferentes componentes de circuito. Todavía otra ventaja es que, debido a que la presente invención proporciona una refrigeración altamente eficaz, es posible proporcionar sistemas de antenas de múltiples elementos en fase que sean más pequeños y ligeros que los sistemas preexistentes y que proporcionen un rendimiento que iguale o supere el rendimiento de los sistemas preexistentes más grandes y pesados. Todavía otra ventaja es que las características importantes de la técnica de refrigeración descrita son internas al sistema en el que se aplican las técnicas, tal como un sistema de antenas de elementos múltiples en fase.

Aunque las realizaciones seleccionadas se han ilustrado y descrito en detalle, debe entenderse que son posibles varias sustituciones y variaciones. Por ejemplo, la invención se ha presentado en el contexto de un sistema de antenas de elementos múltiples en fase, pero podría utilizarse alternativamente en algún otro tipo de sistema electrónico con una alta densidad térmica, tal como una estación base terrestre para teléfonos celulares, un arma de energía dirigida de alta potencia, un dispositivo procesador de alta potencia o una fuente de alimentación de alta densidad. También son posibles otras diversas sustituciones y variaciones sin apartarse del alcance de las presentes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato que comprende:

un elemento de listón (41) que presenta una tarjeta de circuito (47) que incluye un componente de circuito que genera calor (51); y

una placa de refrigeración (42) acoplada a dicha tarjeta de circuito (47), incluyendo dicha placa de refrigeración (42) un canal en un primer lado de la misma alejado de dicha tarjeta de circuito (47), pudiendo funcionar dicho canal para permitir que un refrigerante bifásico fluya a lo largo del mismo, pudiendo funcionar dicho refrigerante para absorber el calor de dicho componente de circuito (51) a través de dicha placa de refrigeración (42), por lo que al menos parte de dicho refrigerante pasa de una primera fase a una segunda fase como respuesta al calor absorbido desde dicho componente de circuito (51), siendo dicha segunda fase diferente de dicha primera fase, **caracterizado** porque dicho canal incluye una primera abertura (81) a través de dicha placa de refrigeración (42) para permitir que dicho refrigerante bifásico establezca un contacto físico directo con dicho componente de circuito (51) de manera que dicho refrigerante absorba calor directamente desde dicho componente de circuito (51).

2. Un aparato según la reivindicación 1, en el que dicho componente de circuito (51) incluye un circuito integrado monolítico de microondas (56).

3. Un aparato según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicho componente de circuito (51) presenta una estructura para permitir que el refrigerante establezca un contacto físico directo con uno de un lado de unión activa y un lado posterior de dicho circuito integrado monolítico de microondas (56).

4. Un aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho refrigerante es un Fluorinert.

5. Un aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho refrigerante presenta una fase líquida y una fase de vapor que son respectivamente dicha primera fase y dicha segunda fase del mismo.

6. Un aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5,

en el que dicha tarjeta de circuito (47) incluye un componente de circuito adicional que genera calor (51);

en el que dicha estructura para guiar dicho refrigerante hace que una porción de dicho refrigerante fluya a lo largo de una trayectoria adicional en dicho canal que hace que dicha porción de dicho refrigerante establezca un contacto físico directo con dicho componente de circuito adicional (51), absorbiendo calor dicha porción de dicho refrigerante desde dicho componente de circuito adicional, y cambiando al menos parte de dicha porción de dicho refrigerante desde dicha primera fase hasta dicha segunda fase como respuesta al calor absorbido desde dicho componente de circuito adicional;

en el que dicho canal incluye un primer orificio (76) con dicha primera abertura (81) correspondiente a dicho componente de circuito (51) y un segundo orificio (77) con otra primera abertura (81) correspondiente a dicho componente de circuito adicional que genera calor;

en el que porciones de dicho refrigerante que hacen contacto cada una con un dicho componente de circuito respectivo fluyen a través de un dicho orificio (76, 77) respectivo antes de hacer contacto con el componente de circuito.

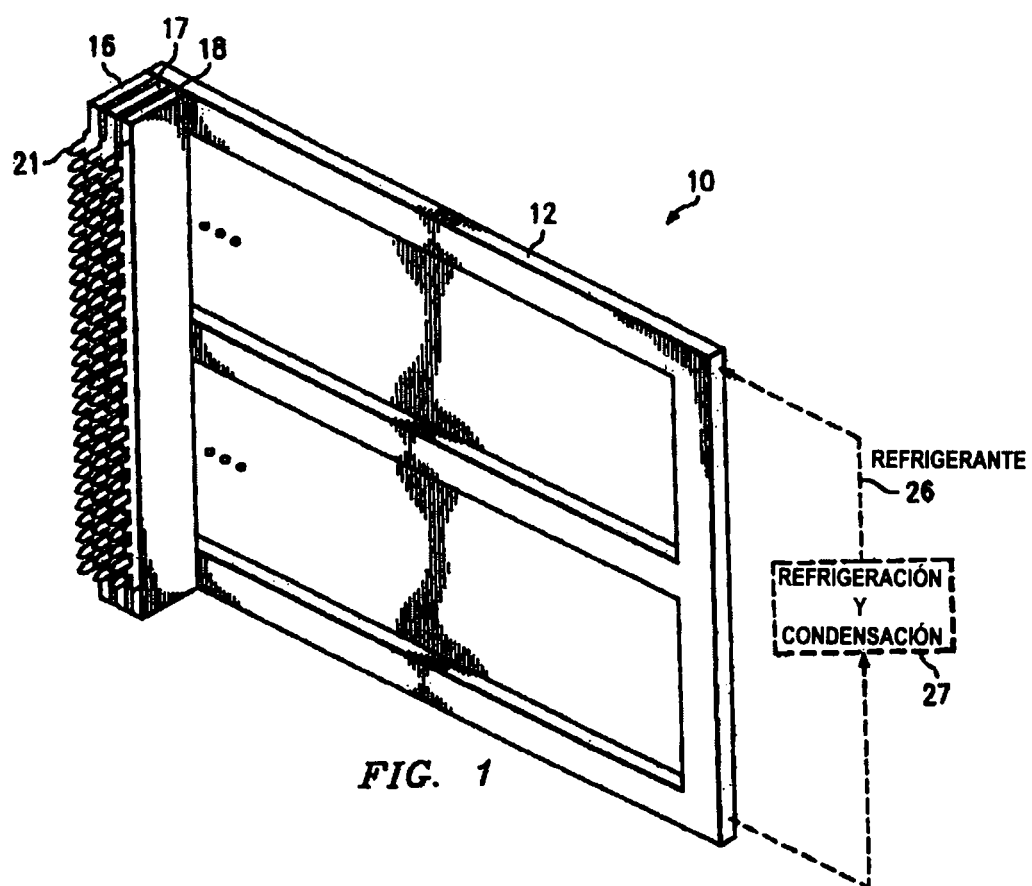
7. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que dicho canal incluye una segunda abertura (83) a través de la placa de refrigeración (42), pudiendo funcionar la segunda abertura (83) para permitir que cualquier refrigerante que establezca un contacto físico directo con dicho componente de circuito respectivo vuelva a dicho canal.

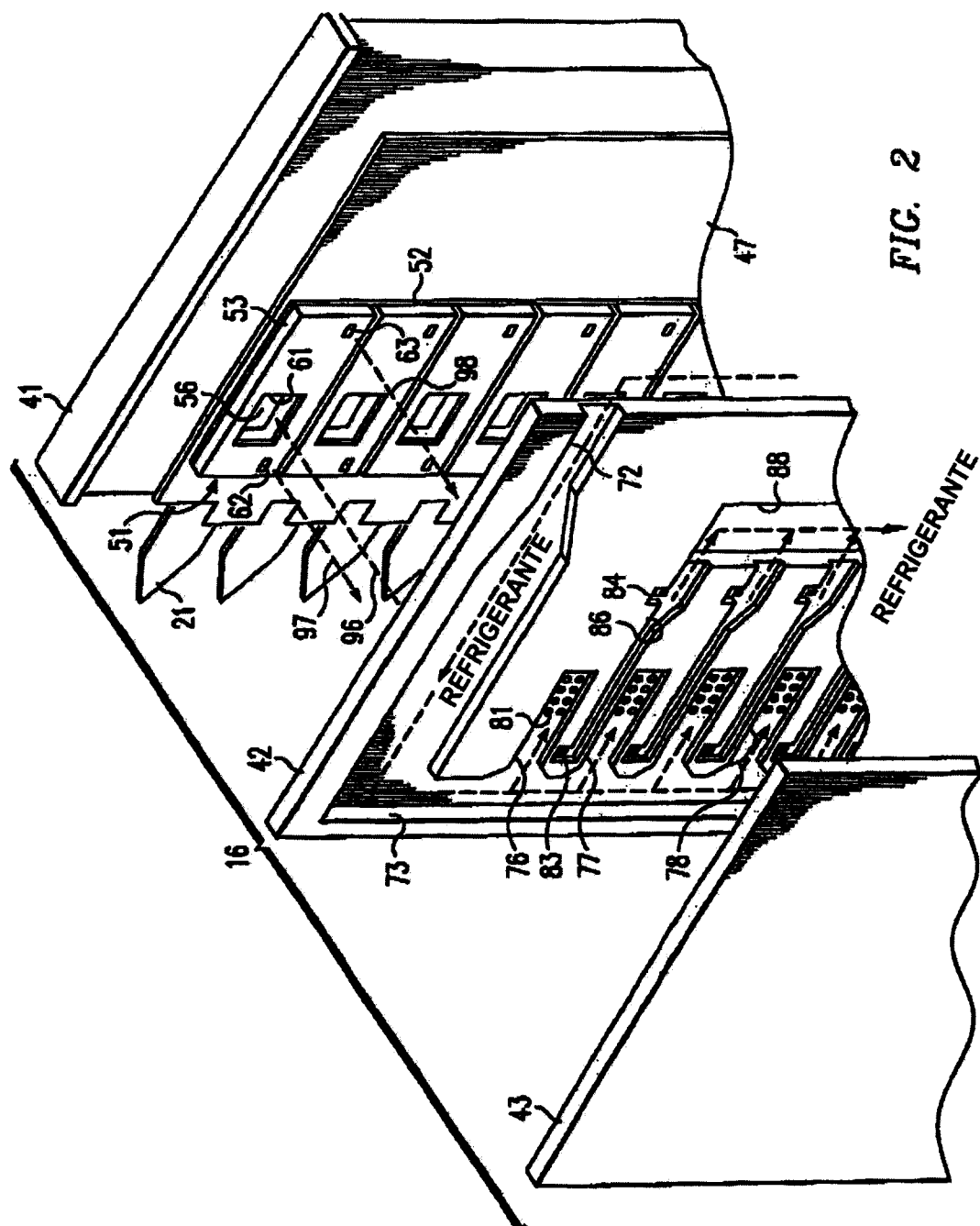
8. Un aparato según las reivindicaciones 1-7, en el que dicho componente de circuito respectivo incluye una abertura (61) que sirve como un orificio de entrada para dicho refrigerante.

9. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que dicho componente de circuito respectivo incluye un orificio de salida (63) para permitir que dicho refrigerante vuelva a dicha placa de refrigeración (42).

10. Un aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que existe un sellado entre la placa de refrigeración (42) y el elemento de listón (41).

11. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dichos orificios (76, 77) presentan diferentes tamaños efectivos.





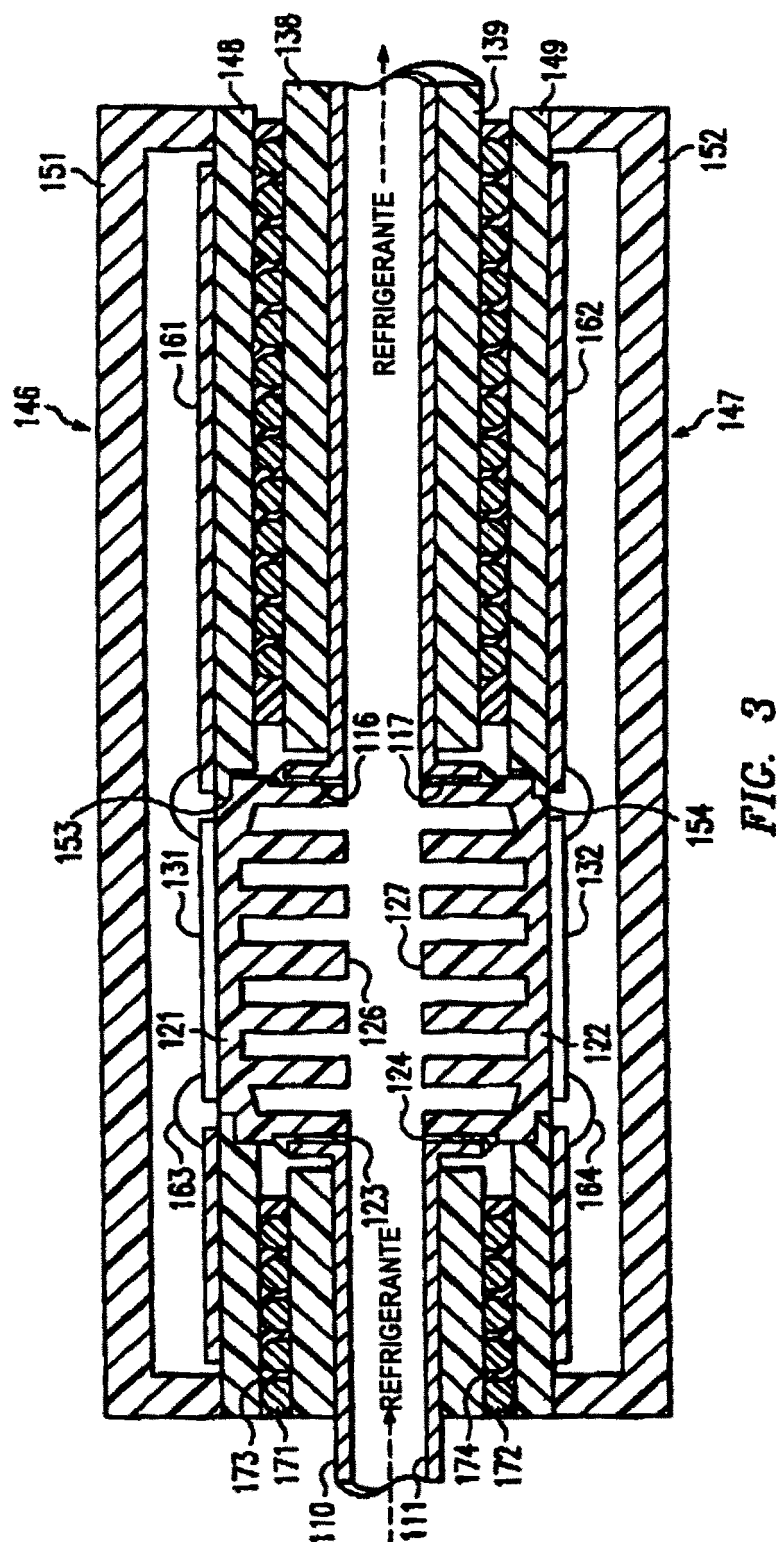


FIG. 3