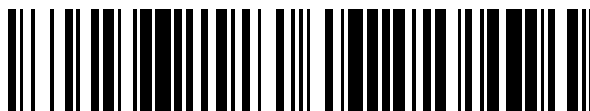


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 474 645**

51 Int. Cl.:

B01J 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2007 E 07006578 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2014 EP 1839739**

54 Título: **Sistema de microrreactor**

30 Prioridad:

31.03.2006 EP 06006939
09.05.2006 EP 06009574

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.07.2014

73 Titular/es:

LONZA AG (100.0%)
MÜNCHENSTEINERSTRASSE 38
4052 BASEL, CH

72 Inventor/es:

ROBERGE, DOMINIQUE;
BIELER, NIKOLAUS;
ZIMMERMANN, BERTIN y
FORBERT, RAINALD

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 474 645 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

Sistema de microrreactor

5 La presente invención se refiere a un conjunto de sistema de microrreactor que comprende al menos n módulos de proceso y al menos n+1 módulos de intercambio de calor, en el cual cada módulo de proceso está emparejado entre dos módulos de intercambio de calor adyacentes y en el cual n es un número entero igual o superior a 2.

10 Los microrreactores son dispositivos de reacción que se proporcionan para hacer reaccionar uno o más reactantes (lo que normalmente incluye mezclar dos o más reactantes), y en cierto grado para controlar la reacción de dichos reactantes mediante el calentamiento o refrigeración o amortiguación térmica de dichos reactantes antes, durante y/o después del mezclado. Tales microrreactores para efectuar reacciones químicas dentro de áreas pequeñas son conocidos, por ejemplo, por los documentos EP-A-0688242, EP-A-1031375, WO-A-2004/045761 y US-A-2004/0109798.

15 Las reacciones químicas a efectuar en microrreactores pueden distinguirse básicamente entre las denominadas reacciones de tipo A y reacciones de tipo B.

20 El tipo A, por ejemplo las reacciones orgánicas de metales son reacciones químicas muy rápidas y se producen directamente al mezclar los reactantes dentro de la cámara de mezcla, normalmente en el intervalo de 1 segundo. Pueden denominarse reacciones controladas por el proceso de mezclado. Para permitir que todos los reactantes reaccionen completamente y evitar los subproductos, tales reacciones de tipo A requieren un mezclado rápido y efectivo de los fluidos de proceso, así como un control térmico efectivo. Tales reacciones de tipo A normalmente requieren un periodo temporal post-reacción nulo o corto y por lo tanto pueden llevarse a cabo correctamente en microrreactores con un volumen de estancia o volumen post-reacción pequeño. El tiempo de estancia para tales reacciones normalmente está en un intervalo inferior a 20 segundos.

30 Por el contrario, las reacciones de tipo B, como por ejemplo las reacciones Wittig o aceto acilación de una amina aromática con dicetena, son reacciones rápidas a lentas con tiempos de reacción normales en el intervalo de 1 segundo a 10 minutos. Se ejecutan mediante control de la concentración o control cinético. Para permitir que todos los reactantes reaccionen completamente y evitar los subproductos, tales reacciones de tipo B no requieren un mezclado muy rápido de los reactantes, sino unas condiciones de reacción controlables durante todo el tiempo de reacción. Por lo tanto, el volumen de estancia y el volumen post-reacción deben dimensionarse de tal modo que el fluido de proceso permanezca dentro del microrreactor durante un largo periodo de tiempo en condiciones que puedan controlarse fácil y precisamente. Sin embargo, hasta la fecha la realización de tales tiempos de estancia largos con microrreactores convencionales resulta difícil debido a los pequeños tamaños y a la costosa microestructuración. Así, los microrreactores convencionales se utilizan sobre todo para las reacciones de tipo A.

40 El documento US 6.369.893 B1 da a conocer un sistema multicanal de detección óptica para controlar térmicamente e interrogar ópticamente una mezcla de reacción, y que incluye un recipiente con una cámara para contener la mezcla, un módulo de intercambio de calor que tiene un par de placas térmicas opuestas para recibir el recipiente entre las mismas y para calentar y/o refrigerar la mezcla contenida en el recipiente.

45 El documento US 2003/0159530 A1 da a conocer una disposición para la comprobación en paralelo de características de rendimiento de materiales que comprenden una pluralidad de bloques de construcción de una biblioteca de materiales, en la cual la disposición tiene un bloque que contiene al menos un módulo de reacción y al menos dos módulos de calentamiento/refrigeración.

50 Por lo tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un conjunto de sistema de microrreactor mejorado, adecuado para asegurar unos tiempos de estancia deseados durante los cuales sea posible el control de la temperatura.

Este objetivo se consigue mediante un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una pila de:

55 al menos n módulos de proceso (1-6), en donde n es un entero igual o superior a 2, estando fabricado cada uno de los módulos de proceso (1-6) de un primer material rígido y comprendiendo al menos un canal para fluido reactivo (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) que atraviesa el interior de dicho módulo de proceso (1-6) entre al menos una boca de entrada de fluido reactivo (1C, 1D, 2C, 2D, 3C, 6C) y al menos una boca de salida de fluido reactivo (1E, 1F, 2E, 3D, 6D), para alojar y guiar un fluido reactivo, en el cual dichos al menos dos módulos de proceso (1-6) están conectados funcionalmente en serie; y

60 al menos n+1 módulos de intercambio de calor (7, 8) que están fabricados de un segundo material dúctil diferente a dicho primer material y que comprenden al menos un canal para fluido de intercambio de calor (7A, 8A) que atraviesa el interior de dichos módulos de intercambio de calor (7, 8) entre al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor (7B, 8B) y al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor (7C, 8C), para alojar y guiar un fluido de intercambio de calor, en el cual dichos al menos n+1 módulos de

intercambio de calor (7, 8) están conectados funcionalmente en serie, en el cual cada módulo de proceso (1-6) está emparedado entre dos módulos de intercambio de calor (7, 8) adyacentes.

5 Los al menos n módulos de proceso y los al menos n+1 módulos de intercambio de calor forman cada uno un módulo independiente que define al menos un conducto de fluido, es decir un conducto de fluido reactivo o un conducto de fluido de intercambio de calor, que se extiende completamente dentro del interior del módulo entre la al menos una boca de entrada y la al menos una boca de salida.

10 Al proporcionar módulos de proceso y módulos de intercambio de calor fabricados con diferentes materiales, es posible seleccionar los siguientes primer y segundo materiales para los módulos de proceso y los módulos de intercambio de calor, respectivamente:

15 Para los módulos de proceso, puede seleccionarse un primer material que sea óptimo para las reacciones de los reactantes, en particular resistente a la corrosión y/o la presión y preferiblemente se selecciona del grupo que incluye acero inoxidable, hastelloy, tungsteno, tántalo, titanio, cerámica, silicón, grafito y/o una combinación adecuada de uno o más de dichos primeros materiales.

20 Para los módulos de intercambio de calor, puede seleccionarse un segundo material dúctil que sea óptimo para la transferencia térmica y/o el sellado, en particular para la conducción térmica, y seleccionado preferiblemente del grupo que incluye aluminio, aleaciones de aluminio, cobre, aleaciones de cobre, plata y aleaciones de plata y/o una combinación adecuada de uno o más de dichos segundos materiales.

25 Así, al proporcionar un conjunto de sistema de microrreactor con módulos de proceso y de intercambio de calor separados, es posible optimizar cada uno de dichos módulos para su tarea específica, es decir efectuar la reacción química o controlar la temperatura del proceso.

30 Ventajosamente, proporcionar módulos separados para el proceso de reacción química y el control de temperatura permite estandarizar respectivamente los componentes del conjunto de sistema de microrreactor. Así, es posible proporcionar diferentes conjuntos de sistema de microrreactor para diferentes reacciones con diferentes tiempos de estancia, diferentes volúmenes de fluido, diferentes cantidades de calor a transferir, y similares. Por ejemplo, proporcionar módulos de intercambio de calor con mayores conductos para alojar fluido de intercambio de calor permite suministrar o eliminar mayores cantidades de calor en el mismo módulo de proceso.

35 Mientras que el primer material es más rígido, el segundo material es más dúctil. Preferiblemente, el segundo material dúctil para los módulos de intercambio de calor se deforma por la presión reversiblemente, es decir elásticamente, o residualmente, es decir plásticamente. Prensar módulos de intercambio de calor sobre un módulo de proceso adyacente fabricado con el primer material más rígido, tal como acero inoxidable o similar, deforma entonces ligeramente la superficie de contacto del módulo de intercambio de calor de tal modo que no se requiere un sellado adicional entre el módulo de proceso y el módulo de intercambio de calor.

45 En contraste con los microrreactores convencionales en los que el grosor de pared entre los fluidos de proceso y los fluidos de intercambio de calor se ha reducido lo más posible para proporcionar una buena transferencia térmica, de acuerdo con la presente invención se proporcionan módulos de proceso y módulos de intercambio de calor independientes. Aunque esto aumenta la distancia entre los fluidos reactivos y el/los fluido/s de intercambio de calor – lo que hasta la fecha se ha considerado como una desventaja-, debido a la optimización de los módulos separados con respecto a sus tareas específicas pueden lograrse un proceso y un control de la temperatura sorprendentemente mejores.

50 Cada módulo de proceso está emparedado entre dos módulos de intercambio de calor, y cada módulo de intercambio de calor que no esté colocado en un extremo del microrreactor está emparedado entre dos módulos de proceso. Los módulos de intercambio de calor en los extremos del conjunto de sistema de microrreactor pueden estar colocados entre un primer y un segundo medios de bastidor, respectivamente, y un módulo de proceso.

55 De acuerdo con una realización preferida del conjunto de sistema de microrreactor, dichos al menos n módulos de proceso comprenden:

60 un módulo de mezclado, cuyo al menos un conducto de fluido reactivo comprende una porción de mezclado para recibir y mezclar al menos dos fluidos reactivos; y opcionalmente al menos un módulo de ajuste térmico dispuesto corriente arriba de dicho módulo de mezclado para ajustar la temperatura de dichos fluidos reactivos antes de entrar en dicho módulo de mezclado; y al menos un módulo de retención dispuesto corriente abajo del módulo de mezclado para alojar la mezcla de fluido reactivo.

65 El uso de más de un módulo de mezclado permite introducir secuencialmente más fluidos reactivos para etapas secuenciales de reacción. En dicho módulo de mezclado se mezclan los fluidos reactivos en una porción de

mezclado que forma parte del al menos un conducto de fluido reactivo y, tras abandonar dicha porción de mezclado, quedan alojados en un primer volumen de retención que también forma parte del al menos un conducto de fluido reactivo. Dicha porción de mezclado puede tener una estructura de mezclado tal como mezclado con flujo en pistón o retromezclado, mientras que dicho primer volumen de retención puede comprender uno o más conductos sustancialmente rectos conectados por codos. Preferiblemente, el primer volumen de retención se proporciona de tal modo que se produzca un flujo laminar.

La temperatura de los fluidos reactivos de los módulos de mezclado puede controlarse mediante los dos módulos de intercambio de calor adyacentes a dicho módulo de mezclado. Allí se suministra un fluido de intercambio de calor caliente o frío en el al menos un conducto de fluido de intercambio de calor dentro de cada uno de los dos módulos de intercambio de calor, lo cual suministra o elimina calor del módulo de proceso por transferencia térmica.

Tal como se ha indicado anteriormente, antes de mezclar dos o más fluidos reactivos, deben calentarse o refrigerarse dichos fluidos reactivos. Al respecto, pueden proporcionarse uno o más módulos de ajuste térmico corriente arriba de dicho módulo de mezclado. Dicho módulo de ajuste térmico comprende al menos un conducto de fluido reactivo para cada fluido reactivo a calentar o refrigerar. Mientras este fluye a través de cada uno del/los conducto/s de fluido reactivo, los dos módulos de intercambio de calor adyacentes a dicho módulo de ajuste térmico calientan o refrigeran cada fluido reactivo, tal como se ha descrito anteriormente para el módulo de mezclado. Al proporcionar diferentes volúmenes de conducto, resulta posible calentar o refrigerar los diferentes reactantes de maneras diferentes.

Tras abandonar el módulo de mezclado, los fluidos reactivos mezclados pueden alojarse en uno o más módulos de retención. Allí, la mezcla de fluido reactivo que abandona el módulo de mezclado es introducida en al menos un conducto de fluido reactivo dentro del módulo de retención, fluye a través de dicho al menos un conducto de fluido reactivo y a continuación abandona el módulo de retención. Durante el flujo a través de dicho al menos un conducto de fluido reactivo, los dos módulos de intercambio de calor adyacentes a cada módulo de retención pueden calentar, refrigerar, o amortiguar térmicamente cada mezcla de fluido reactivo, del mismo modo descrito anteriormente para los módulos de mezclado y de intercambio de calor. Al proporcionar diferentes módulos de retención con conductos de fluido reactivo de diferentes formas, es posible obtener diferentes condiciones de retención. También es posible proporcionar dos o más módulos de retención que se comuniquen entre sí, estando emparedado cada módulo de retención entre módulos de intercambio de calor, de tal modo que pueda obtenerse un gran volumen de retención, y por lo tanto (dependiendo de la velocidad de flujo) un gran tiempo de retención (tiempo de estancia), al tiempo que pueden controlarse fácil y precisamente las condiciones durante el tiempo de estancia, en particular la temperatura de la mezcla de fluido reactivo.

Preferiblemente, el conducto de fluido reactivo del módulo de proceso para alojar y guiar un fluido reactivo comprende un canal plano. Idealmente, la ruta de flujo de un microrreactor es una tubería estrecha cuyo diámetro normalmente es inferior a 1 mm. El caudal restringido por dicha sección pequeña produce un flujo laminar no turbulento. Para aumentar el caudal, puede proporcionarse una pluralidad de tales tuberías estrechas. Pero la estequiometría de todas las tuberías debe ser controlable y el tiempo de estancia deberá ser igual para todas las tuberías, lo que no puede asegurarse suficientemente en los sistemas reales.

El canal plano sugerido como realización preferida corresponde a una combinación de tuberías paralelas. Así, puede aumentarse significativamente el caudal al tiempo que se mantiene un flujo laminar no turbulento.

Se ha observado que una relación entre anchura y altura en el intervalo de 1:4 a 1:50 resulta adecuada para obtener buenos resultados. Preferiblemente, se ajusta dicha relación entre anchura y altura en el intervalo de 1:4 a 1:30. Incluso más preferiblemente, se ajusta dicha relación entre anchura y altura en el intervalo de 1:5 a 1:25. En las realizaciones ejemplares, se seleccionó una anchura de 2,0 mm, una altura de 10 mm y una longitud de 1844 mm para el canal plano, lo que resulta en una relación entre anchura y altura de 1:5. En otras realizaciones, se eligió una anchura ya comprobada de 1,4 mm, 0,9 mm y 0,5 mm respectivamente, lo que resultó en una relación entre anchura y altura de 1:7,14, 1:11,11 y 1:20, respectivamente.

Debido a la pequeña anchura del canal, pudo mantenerse un flujo mayormente laminar de los fluidos de proceso, como en tuberías individuales, al tiempo que se aumentó el caudal (volumen de fluido de proceso por tiempo). Además, en la realización preferida sólo debe controlarse la estequiometría de un único volumen.

Con un caudal de 100 ml/min, se han medido tiempos de estancia de 5,7, 10,2, 15,9 y 22,6 segundos, respectivamente, para los canales identificados anteriormente, es decir con anchuras de 2,0 mm, 1,4 mm, 0,9 mm y 0,5 mm, respectivamente. Tal como puede observarse a partir de estas medidas, el tiempo de estancia para una microreacción específica puede elegirse casi arbitrariamente combinando diferentes módulos con diferentes tiempos de estancia. En particular, pueden obtenerse tiempos de estancia de hasta 30 minutos, o preferiblemente de hasta 20 minutos y más preferiblemente de hasta 10 minutos.

El conjunto de sistema de microrreactor comprende los al menos dos módulos de proceso conectados en serie, estando cada uno emparedado entre dos módulos de intercambio de calor adyacentes. Por ejemplo, puede

- combinarse uno o más módulos de mezclado con al menos un módulo de ajuste térmico precedente para poner los fluidos a una temperatura óptima antes del mezclado, y/o al menos un módulo de retención para proporcionar tiempos de estancia para la/s mezcla/s de fluido reactivo. Durante el mezclado y retención, puede controlarse la temperatura de la/s mezcla/s de fluido reactivo mediante los módulos de intercambio de calor que están dispuestos adyacentes a cada módulo de mezclado y retención. Un módulo de mezclado adicional, acompañado adicionalmente de un módulo de ajuste térmico precedente, puede estar integrado entre dos módulos de retención para permitir la implementación de una subsiguiente reacción mediante el suministro de fluidos reactivos adicionales.
- Los conductos de fluido reactivo de dos módulos de proceso subsiguientes pueden estar conectados externamente. Pueden utilizarse en los mismos acoplamientos externos desmontables o fijos, tales como tuberías, adaptadores, etc. En particular, pueden soldarse las tuberías a los módulos, o pueden utilizarse acoplamientos Swagelok de instalación rápida. Aunque los acoplamientos externos desmontables permiten una fácil reutilización de los módulos individuales, y por lo tanto aumentan la flexibilidad, las tuberías fijas evitan ventajosamente el volumen muerto y pueden aumentar adicionalmente la estabilidad del conjunto de sistema de microrreactor completo.
- Preferiblemente, el al menos un conducto de fluido de intercambio de calor dentro de un módulo de intercambio de calor comprende al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor que comunica con un primer depósito de fluido de intercambio de calor, o al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en un módulo de proceso adyacente y al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor que comunica con un segundo depósito de fluido de intercambio de calor, o un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en un módulo de proceso adyacente. Así, los dos módulos de intercambio de calor que emparedan un módulo de proceso pueden comunicarse entre sí a través del al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en el módulo de proceso. Ventajosamente, no son necesarias conexiones de fluido de intercambio de calor adicionales entre dichos módulos de intercambio de calor.
- Si dichos módulos de intercambio de calor están fabricados con un material dúctil y se presionan contra el módulo de proceso, no se requiere un sellado adicional en las interfaces del al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor a través del módulo de proceso, conectándose los dos módulos de intercambio de calor colindantes debido a la ligera deformación plástica o elástica de las superficies de contacto de los módulos de intercambio de calor. Sin embargo, en otra realización preferida, pueden proporcionarse sellos adicionales en las interfaces de las bocas de entrada de fluido de intercambio de calor y/o las bocas de salida de fluido de intercambio de calor, sellando adicionalmente las interfaces de conexión de fluido de intercambio de calor entre dos módulos de intercambio de calor subsiguientes mediante el al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor a través del módulo de proceso emparedado. Dicho sellado puede ser preferiblemente un sello anular. En particular, puede ser un sello rígido fabricado con Teflon o similar. Debido al material dúctil de los módulos de intercambio de calor, es posible utilizar sellos rígidos, evitando así los sellos elásticos, como el caucho o la silicona, que pueden volverse quebradizos.
- El al menos un conducto de fluido de intercambio de calor de un módulo de intercambio de calor que aloje el fluido de intercambio de calor puede ser tal que se produzca un flujo (muy) turbulento de dicho fluido de intercambio de calor, lo que ventajosamente aumenta la transferencia térmica desde un módulo de intercambio de calor hasta los módulos de proceso adyacentes. Preferiblemente, se alcanza un número de Reynolds igual o superior a 2600.
- En una realización preferida, se fabrica un módulo de proceso uniendo una primera placa y una segunda placa entre sí. Dentro de la superficie de contacto de dicha primera y segunda placa, el al menos un conducto de fluido reactivo para alojar el al menos un fluido reactivo puede proporcionarse mediante fresado, grabado o similar. Preferiblemente, dicho al menos un conducto de fluido reactivo es una microestructura. Tras unir dicha primera y segunda placa entre sí mediante soldadura blanda, sinterización, soldadura o similar, el al menos un conducto de fluido reactivo para alojar el fluido reactivo queda completamente encerrado dentro del módulo de proceso, excepto por la al menos una boca de entrada de fluido reactivo y la al menos una boca de salida de fluido reactivo.
- Un módulo de intercambio de calor puede fabricarse de manera similar proporcionando al menos un conducto de fluido de intercambio de calor para alojar al menos un fluido de intercambio de calor dentro de una o ambas superficies de contacto de una primera y una segunda placas a unir entre sí posteriormente mediante soldadura blanda, soldadura, o similar. Alternativamente, puede emparedarse una placa intermedia entre dicha primera y segunda placas, comprendiendo dicha placa intermedia una o más muescas. Tras unir dichas primera, intermedia y segunda placas entre sí, dichas muescas y las correspondientes superficies de dichas primera y segunda placas definen al menos un conducto de fluido de intercambio de calor para alojar el al menos un fluido de intercambio de calor.
- La combinación de los módulos de proceso conectados externamente y los módulos de intercambio de calor conectados interiormente proporciona el mejor modo de separación del al menos un circuito de fluido reactivo y el al menos un circuito de fluido de intercambio de calor y evitan la contaminación cruzada.
- En una realización preferida, se presiona la pila de módulos de proceso y módulos de intercambio de calor los unos contra los otros mediante al menos un primer y un segundo medios de bastidor. Dichos primer y segundo medios de

bastidor pueden empujarse el uno hacia el otro, comprimiendo así entre los mismos los módulos de proceso y los módulos de intercambio de calor entre sí, mediante uno o más anclajes o tirantes de tensión.

En una realización preferida, cada uno de dichos medios de bastidor comprende opcionalmente un bastidor interior y uno exterior. En una realización preferida adicional de acuerdo con la Fig. 17, uno de los medios de bastidor consiste en un elemento estructural y el segundo medio de bastidor consiste en unos bastidores exterior e interior, en el cual el primer medio de bastidor está anclado directamente al bastidor exterior mediante barras de acoplamiento y dicho bastidor exterior empuja dicho bastidor interior contra el primer medio de bastidor y la pila de módulos que descansa entre los mismos.

Dichos tirantes pueden estar situados en el centro y/o la periferia del conjunto de sistema de microrreactor. Así, dicho conjunto de sistema de microrreactor puede montarse fácilmente con diferentes cantidades de módulos.

Ventajosamente, se proporciona una cavidad dentro del área central del primer y el segundo medios de bastidor de tal modo que, al empujar dicho primer y segundo medios de bastidor el uno hacia el otro, se obtenga una mayor presión en una porción circunferencial de los módulos. Esto aumenta ventajosamente las características de sellado del microrreactor.

En una realización más preferida, un módulo de intercambio de calor sirve como módulo adyacente para dos módulos de proceso subsiguientes, es decir, en el conjunto de sistema de microrreactor se proporcionan alternativamente módulos de intercambio de calor y módulos de proceso. Ventajosamente, esta pila comienza y termina con un módulo de intercambio de calor. Si dos módulos de intercambio de calor subsiguientes se comunican entre sí a través de un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en un módulo de proceso emparedado entre los mismos, pueden utilizarse módulos de intercambio de calor estructurados idénticamente, en los cuales cada segundo módulo se gira 180° (una rotación de 180° alrededor de un eje vertical si se asume que el fluido de intercambio de calor fluye en una dirección de derecha a izquierda), de tal modo que al menos una boca de salida del primer módulo de intercambio de calor, el al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en el módulo de proceso adyacente y la al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor del subsiguiente segundo módulo de intercambio de calor queden alineados entre sí.

La al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor de un primer módulo de intercambio de calor y la al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor del último módulo de intercambio de calor de la totalidad del conjunto de sistema de microrreactor, pueden comunicarse con un primer y un segundo depósitos de fluido de intercambio de calor, respectivamente, de tal modo que el fluido de intercambio de calor fluya desde el primer depósito hasta el segundo depósito, o viceversa, calentando, refrigerando o amortiguando térmicamente así los módulos de proceso del conjunto de sistema de microrreactor. Pueden proporcionarse una boca de entrada y una boca de salida, respectivamente, en el primer y el segundo medios de bastidor que hacen contacto con el primer y el último módulos de intercambio de calor.

Pueden proporcionarse bocas de entrada de fluido de intercambio de calor y bocas de salida de fluido de intercambio de calor en los módulos de intercambio de calor dentro del microrreactor que comuniquen con un tercer, un cuarto, etc., depósito de fluido de intercambio de calor. Así, por ejemplo, un primer fluido caliente de intercambio de calor puede fluir desde el primer depósito hasta un tercer depósito, a través de los módulos de intercambio de calor que emparedan el módulo de ajuste térmico, calentado así el reactante que fluye a través del módulo de ajuste térmico. Luego, un segundo fluido frío de intercambio de calor puede fluir desde un cuarto depósito hasta el segundo depósito, a través de los módulos de intercambio de calor que emparedan los módulos de retención, refrigerando así los fluidos de proceso durante el tiempo de estancia.

Tal como se ha descrito anteriormente, en una realización preferida, los módulos de intercambio de calor subsiguientes son sustancialmente idénticos, estando cada segundo módulo girado 180° , de tal modo que la al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor del primer módulo de intercambio de calor, el al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor situado en el módulo de proceso adyacente y la al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor del segundo módulo de intercambio de calor adyacente se comuniquen entre sí. Así, el fluido de intercambio de calor fluye por una línea en zigzag a través del microrreactor. Dependiendo del número de módulos de proceso e intercambio de calor, puede resultar necesario proporcionar dos módulos de intercambio de calor adyacentes entre sí para su encaje con las bocas de entrada y salida del microrreactor completo. Para evitar dichos módulos de intercambio de calor adyacentes, pueden separarse mediante la instalación de un módulo ciego. Alternativamente, por ejemplo, el segundo medio de bastidor, en el cual puede proporcionarse la boca de salida del microrreactor, puede girarse 180° (una rotación de 180° alrededor de un eje horizontal si se asume que el fluido de intercambio de calor fluye en una dirección de derecha a izquierda), para que coincida con la boca de salida del último módulo de intercambio de calor. Alternativamente, por ejemplo, puede utilizarse un segundo medio de bastidor con una boca de entrada desplazada.

Objetos, ventajas y características adicionales pueden derivarse de las reivindicaciones dependientes y de las realizaciones descritas de la presente invención. A este respecto:

La Fig. 1 muestra una vista espacial de un conjunto de sistema de microrreactor que tiene todos los accesorios en un lado de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Fig. 2 muestra una vista espacial, girada 180°, del conjunto de sistema de microrreactor mostrado en la Fig. 1;

La Fig. 3 muestra una vista en sección frontal de un módulo de ajuste térmico del conjunto de sistema de microrreactor mostrado en la Fig. 1;

La Fig. 4 muestra el módulo de ajuste térmico de la Fig. 3, visto desde la izquierda;

La Fig. 5 muestra una vista en sección frontal de un módulo de mezclado del conjunto de sistema de microrreactor mostrado en la Fig. 1;

La Fig. 6 muestra una vista ampliada de una esquina izquierda superior, indicada con "X", de la Fig. 5;

La Fig. 7 muestra una vista en sección frontal de un módulo de retención del conjunto de sistema de microrreactor mostrado en la Fig. 1;

La Fig. 8 muestra una vista en sección superior del módulo de mezclado de la Fig. 7, visto desde arriba;

La Fig. 9 muestra una vista ampliada de una boca de entrada de fluido reactivo del módulo de mezclado mostrado en la Fig. 8;

La Fig. 10 muestra una vista en sección frontal de otro módulo de retención del microrreactor de la Fig. 1;

La Fig. 11 muestra una vista en sección superior del módulo de mezclado de la Fig. 10, visto desde arriba;

La Fig. 12 muestra una vista ampliada de una boca de entrada de fluido reactivo del módulo de mezclado de la Fig. 10;

La Fig. 13 muestra una vista en sección frontal de un primer módulo de intercambio de calor;

La Fig. 14 muestra una vista en sección lateral del módulo de intercambio de calor de la Fig. 13;

La Fig. 15 muestra una vista en sección frontal de un segundo módulo de intercambio de calor;

La Fig. 16 muestra una vista en sección lateral del módulo de intercambio de calor de la Fig. 15; y

La Fig. 17 muestra una sección longitudinal de un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con una realización de la presente invención.

El conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con una realización de la presente invención, tal como se muestra en las Figs. 1, 2, comprende un primer medio de bastidor 10, un primer módulo de intercambio de calor 7, un módulo de ajuste térmico 1 como módulo de proceso, un segundo módulo de intercambio de calor 8, un módulo de mezclado 2 como módulo de proceso adicional, otro primer módulo de intercambio de calor 7, un módulo de retención 3 como módulo de proceso adicional, otro segundo módulo de intercambio de calor 8, unos módulos de retención adicionales 4, 5 y 6, respectivamente, cada uno emparedado entre dos módulos de intercambio de calor 7, 8 y un segundo medio de bastidor 9, en esta secuencia. Así, entre dichos primer y segundo medios de bastidor 10, 9, se proporcionan un primer o un segundo módulo de intercambio de calor 7, 8 y un módulo de proceso 1-6.

Tal como puede observarse mejor a partir de las Figs. 14, 16, cada módulo de intercambio de calor 7, 8 comprende una primera placa 7M, 8M, una placa intermedia 7O, 8O y una segunda placa 7N, 8N, respectivamente, unidas entre sí por soldadura blanda. La placa intermedia comprende una muesca en forma de conductos rectos paralelos, en la cual dos conductos subsiguientes están conectados mediante una media esfera, de tal modo que se forme una muesca sinusoidal continua. Así, dicha muesca de la placa intermedia 7O, 8O y las superficies interiores de la primera y segunda placas 7M, 7N y 8M, 8N definen respectivamente un conducto de fluido de intercambio de calor 7A, 8A para alojar un fluido de intercambio de calor en el módulo de intercambio de calor 7, 8. En un extremo de la muesca está formado un agujero pasante en la primera placa 7M, 8M, y otro agujero pasante está formado en el extremo opuesto de la muesca de la segunda placa 7N, 8N para definir una boca de entrada de fluido de intercambio de calor 7B, 8B y una boca de salida de fluido de intercambio de calor 7C, 8C, respectivamente, que comunican con el conducto de fluido de intercambio de calor 7A, 8A.

Tal como puede observarse a partir de las Figs. 13-16, el primer y el segundo módulos de intercambio de calor 7, 8 son sustancialmente idénticos, en los cuales el segundo módulo de intercambio de calor 8 está girado 180°. Así, cuando están montadas, la boca de salida 7C de un primer módulo de intercambio de calor 7 y la boca de entrada de fluido de intercambio de calor 8B de un segundo módulo de intercambio de calor 8 quedan alineadas entre sí, así

como la boca de salida de fluido de intercambio de calor 8C del segundo módulo de intercambio de calor 8 con la boca de entrada 7B del siguiente primer módulo de intercambio de calor 7.

5 Tal como puede observarse a partir de las Figs. 3, 5, 7 y 10, cada módulo de proceso 1-3, 6 comprende dos
 10 agujeros pasantes 1H-3H, 6H, uno de los cuales, cuando está montado, se corresponde con una boca de entrada de fluido de intercambio de calor 7B, 8B mientras que el otro se corresponde con una boca de salida de fluido de intercambio de calor 7C, 8C del primer y el segundo módulos de intercambio de calor 7, 8 que emparedan dicho módulo de proceso 1-3, 6. Así, el conducto de fluido de intercambio de calor 7A, 8A para alojar y guiar un fluido de intercambio de calor en un primer módulo de intercambio de calor 7 y en un segundo módulo de intercambio de calor 8 se comunican entre sí mediante un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor formado por unos agujeros pasantes en el correspondiente módulo de proceso 1-6 emparedado entre dicho primer módulo de intercambio de calor 7 y dicho segundo módulo de intercambio de calor 8, cuando están montados, tal como puede observarse a partir de las Figs. 1, 2 y 17.

15 La boca de entrada de fluido de intercambio de calor 7B del primer módulo de intercambio de calor 7 comunica con un primer depósito de fluido de intercambio de calor (no representado) a través de un conducto situado en el primer medio de bastidor 10 y de una primera parte de acoplamiento 12A conectada al mismo. La boca de salida de fluido de intercambio de calor 8C del último módulo de intercambio de calor 8 comunica con un segundo depósito de fluido de intercambio de calor (no representado) a través de un conducto situado en el segundo medio de bastidor 9 y de una segunda parte de acoplamiento 12B conectada al mismo. Así, por ejemplo, un fluido caliente de intercambio de calor puede fluir por una línea en zigzag desde el primer recipiente hasta un segundo depósito a través de la primera parte de acoplamiento 12A, el primer bastidor 10, los grupos de primer y segundo módulos de intercambio de calor 7, 8 que están comunicados por los conductos de conexión de fluido de intercambio de calor situados en los módulos de proceso 1-6 emparedados por dichos primer y segundo módulos de intercambio de calor 7, 8, el segundo bastidor 9 y la segunda parte de acoplamiento 12B, calentando así subsiguientemente todos los módulos de proceso 1-6 por intercambio de calor a través de las placas de módulos.

30 Como primer módulo de proceso se proporciona un módulo de ajuste de temperatura 1 que se muestra con mayor detalle en las Figs. 3, 4. Dicho módulo de ajuste de temperatura 1 comprende un primer conducto de fluido reactivo 1A, que comunica con una primera boca de entrada de fluido reactivo 1C y una primera boca de salida de fluido reactivo 1F, y un segundo conducto de fluido reactivo 1B, que comunica con una segunda boca de entrada de fluido reactivo 1D y una segunda boca de salida de fluido reactivo 1E. Un primer fluido reactivo se suministra al primer conducto de fluido reactivo 1A a través de la primera boca de entrada de fluido reactivo 1C. Un segundo fluido reactivo se suministra al segundo conducto de fluido reactivo 1B a través de la segunda boca de entrada de fluido reactivo 1D.

40 Dicho módulo de ajuste de temperatura 1 comprende una primera y una segunda placas 1M, 1N (Fig. 4), que están unidas entre sí por soldadura blanda o similar. En las superficies de contacto de la primera y/o la segunda placas 1M, 1N, los conductos sinusoidales de fluido reactivo 1A, 1B se cortan mediante grabado, fresado o similar.

Mientras fluye a través de dicho primer conducto de fluido reactivo 1A hacia dicha primera boca de salida de fluido reactivo 1F, la temperatura de dicho primer fluido reactivo se ajusta mediante los dos módulos de intercambio de calor 7, 8 que emparedan dicho módulo de ajuste de temperatura 1. A este respecto, el fluido de intercambio de calor que fluye a través de dichos módulos de intercambio de calor 7, 8 suministra o elimina calor en dicho primer fluido reactivo mediante conducción térmica a través de las placas 7N, 8M de los módulos de intercambio de calor que hacen contacto con las placas 1M, 1N de dicho módulo de ajuste de temperatura.

50 En las Figs. 5, 6 se muestra un módulo de mezclado 2 como segundo módulo de proceso. Aunque no se muestra en detalle, dicho módulo de mezclado 2 comprende una primera y una segunda placas al igual que el módulo de ajuste de temperatura 1 anteriormente descrito. En dicho módulo de mezclado, se proporciona un conducto de fluido reactivo 2A que comprende una sección de mezclado 2G y una primera sección de retención 21.

Una primera boca de entrada de fluido reactivo 2C que comunica con dicho conducto de fluido reactivo 2A está conectada con la primera boca de salida de fluido reactivo 1F del módulo de ajuste de temperatura 1 mediante una conexión externa (no representada). Similarmente, una segunda boca de entrada de fluido reactivo 2D, que también comunica con el conducto de fluido reactivo 2A, está conectada con la segunda boca de salida de fluido reactivo 1E del módulo de ajuste de temperatura 1. Así, el primer y el segundo fluidos reactivos, respectivamente, tras haber pasado a través de dicho módulo de ajuste de temperatura 1, fluyen hasta la sección de mezclado 2G del conducto 2A dentro del módulo de mezclado 2, en el cual dichos ambos fluidos reactivos se mezclan entre sí. La geometría de la sección de mezclado 2G, tal como se muestra en la vista ampliada de la Fig. 6, puede elegirse apropiadamente para mezclar los fluidos reactivos de manera óptima. Tras el mezclado, el fluido de proceso resultante fluye hasta la primera sección de retención 21 del conducto de fluido reactivo 2A, que está formada básicamente como un canal plano, proporcionando así un flujo sustancialmente laminar de los fluidos de proceso.

65 Debe enfatizarse que la geometría de los conductos de los módulos de proceso y de intercambio de calor 1-6, 7, 8 no está limitada a la mostrada en las figuras y descritas con respecto a las realizaciones preferidas, sino que puede

elegirse cualquier diseño apropiado.

Durante el mezclado y la estancia dentro de la sección de mezclado 2G y la primera sección de retención 2I, puede controlarse la temperatura de la reacción química mediante los dos módulos de intercambio de calor 8, 7 que emparedan dicho módulo de mezclado 2.

El fluido de proceso, que abandona el conducto de fluido reactivo 2A a través de una boca de salida de fluido reactivo 2E, entra en una boca de entrada de fluido reactivo 3C de un primer módulo de retención 3 mostrado en las Figs. 7-9. A este respecto, la boca de salida de fluido reactivo 2E y la boca de entrada de fluido reactivo 3C están conectadas externamente a través de una tubería o similar (no representada). El módulo de retención 3, al igual que el resto de módulos de retención 4-6, comprende básicamente una primera placa 3M-6M unida a una segunda placa 3N-6N por soldadura blanda, soldadura o similar. Entre dichas dos placas está situado un canal 3A-6A para alojar los fluidos de proceso durante el tiempo de estancia. A este respecto, un canal plano sustancialmente sinusoidal está tallado en la superficie de contacto de la primera y/o la segunda placa mediante grabado, fresado o similar.

Mientras el fluido de proceso fluye a través de dicho conducto de fluido reactivo 3A, la temperatura del mismo se controla mediante los dos módulos de intercambio de calor 7, 8 adyacentes a dicho módulo de retención 3, tal como se ha descrito anteriormente para el módulo de ajuste de temperatura 1 y el módulo de mezclado.

Tras abandonar el primer módulo de retención 3 a través de una boca de salida de fluido reactivo 3D, el fluido reactivo entra en los subsiguientes módulos de retención 4-6 a través de una respectiva boca de entrada de fluido reactivo conectada con la boca de salida de fluido reactivo de un módulo de retención precedente, tal como se ha descrito anteriormente para la boca de entrada de fluido reactivo 3C y la boca de salida de fluido reactivo 2E. De esta manera, el fluido reactivo puede fluir a través de todos los módulos de retención 4-6 subsiguientes antes de abandonar el conjunto de sistema de microrreactor a través de la boca de salida 6D del último módulo de proceso.

El tiempo de residencia dentro de cada módulo de retención 3-6 está definido por el volumen de retención, es decir la sección (anchura x altura) x la longitud del conducto 3A-6A que aloja el fluido de proceso, dividido por el caudal. Así, al proporcionar diferentes anchuras, longitudes, y/o alturas de los conductos individuales, pueden obtenerse diferentes tiempos de estancia. Por lo tanto, combinando diferentes módulos de retención con diferentes geometrías de conducto, puede elegirse casi arbitrariamente el tiempo de residencia.

Tal como puede observarse mediante la comparación de las Figs. 9 y 12, que muestran las bocas de entrada de fluido reactivo 3C, 6C del primer y el cuarto módulos de retención 3 y 6, respectivamente, la anchura del canal plano que define los conductos de fluido reactivo 3A, 6A, respectivamente, puede hacerse más pequeña (Fig. 9), sustancialmente igual o más grande que la anchura de la boca de entrada de fluido reactivo.

Tal como se muestra en las Figs. 1, 2, dos tirantes 13 empujan el primer y el segundo medios de bastidor 10, 9 el uno hacia el otro, presionando así los módulos de intercambio de calor 7, 8 y los módulos de proceso apilados los unos contra los otros. Al colocar los tirantes 13 en la circunferencia del conjunto de sistema de microrreactor y al proporcionar una cavidad (véase la Fig. 17) dentro del centro de las superficies de los medios de bastidor 10, 9 que hacen contacto con los módulos de intercambio de calor 7, 8, puede obtenerse una presión elevada en la circunferencia del conjunto de sistema de microrreactor. Así, las bocas de entrada de fluido de intercambio de calor 7B, 8B y las bocas de salida de fluido de intercambio de calor 7C, 8C de los módulos de intercambio de calor 7, 8, que también están situadas en la circunferencia del conjunto de sistema de microrreactor, se presionan contra los conductos de conexión de fluido de intercambio de calor 1H-6H de los módulos de proceso 1-6 con una presión elevada. Si los módulos de intercambio de calor 7, 8 están fabricados por ejemplo con un material dúctil como el aluminio, cobre, o una aleación de los mismos, el borde circunferencial de la boca de entrada y la boca de salida se deformará ligeramente bajo la presión, proporcionando así un buen sellado contra la superficie del módulo de proceso 1-6 emparedado entre las mismas. Así, la boca de salida de fluido de intercambio de calor 7C, 8C y la boca de entrada de fluido de intercambio de calor 7B, 8B de los subsiguientes módulos de intercambio de calor 7, 8, se comunicarán de manera estanca a través del conducto de conexión de fluido de intercambio de calor 1H-6H situado en el módulo de proceso intermedio.

Adicionalmente, puede proporcionarse un sello anular alrededor de las bocas de entrada de fluido de intercambio de calor 7B, 8B y las bocas de salida de fluido de intercambio de calor 7C, 8C. A este respecto, puede proporcionarse por ejemplo un surco circular dentro de las primeras y las segundas placas 7M, 7N, 8M, 8N, respectivamente, que aloje un sello anular en el mismo (no representado). Tal sello anular puede estar fabricado con caucho, silicona o – preferiblemente – Teflón o similar.

Tal como puede comprenderse a partir de la anterior descripción, un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con la presente invención proporciona una elevada flexibilidad debido a su estructura modular, y permite combinar diferentes geometrías de canal de mezclado con diferentes módulos de retención, proporcionando por lo tanto tiempos de estancia elegidos arbitrariamente, en particular para las reacciones de tipo B. La temperatura de cada uno de dichos módulos de proceso 1-6 está controlada por dos módulos de intercambio de calor 7, 8 adyacentes. Dado que la transferencia de calor sólo se lleva a cabo por conducción térmica a través de las placas

1M-8M, 1N-8N de los módulos de intercambio de calor 7, 8 y los módulos de proceso 1-6, no resulta necesario un sellado o similar. Adicionalmente, los módulos de proceso 1-6 pueden optimizarse ventajosamente con respecto a los reactantes alojados en los mismos, por ejemplo siendo resistentes a la corrosión y/o a la presión, al tiempo que los módulos de intercambio de calor 7, 8, que no hacen contacto con los reactantes, pueden optimizarse con respecto a las características de transferencia de calor y/o de sellado.

En la realización anteriormente descrita, los módulos de intercambio de calor 7, 8 y los módulos de proceso 1-6 están apilados de manera alternada entre sí, y el fluido de intercambio de calor fluye desde un primer depósito a través de una primera parte de acoplamiento 12A, por una línea en zigzag a través de todos los módulos de intercambio de calor 7, 8, hasta un segundo depósito conectado con una segunda parte de acoplamiento 12B. Por lo tanto, todas las conexiones de fluido de intercambio de calor de los módulos de intercambio de calor 7, 8 se proporcionan internamente sin conexiones adicionales. Ventajosamente, pueden utilizarse módulos de proceso y de intercambio de calor estandarizados, permitiendo así el montaje de diferentes microrreactores con diferentes tiempos de estancia, y similar, de manera modular y sencilla.

En la realización anteriormente descrita, se han combinado un módulo de ajuste de temperatura 1, un módulo de mezclado 2 y cuatro módulos de retención 3-6, en este orden. Sin embargo, es posible una combinación arbitraria de tales módulos. Por ejemplo, pueden proporcionarse más módulos de ajuste de temperatura para aumentar el conducto en el que se calientan o refrigeran los reactantes. Pueden proporcionarse más módulos de mezclado para una reacción de etapas múltiples. Pueden proporcionarse diferentes módulos de retención para conseguir el tiempo de estancia requerido.

Con un caudal dado de, por ejemplo, 100 ml/min, en una prueba ejemplar se han realizado unos tiempos de estancia de 6-22 segundos por módulo para una longitud de conducto de 1844 mm aproximadamente, una altura de conducto de 10 mm aproximadamente, y una anchura de conducto de 0,5-2 mm aproximadamente de un módulo de proceso. Así, pueden llevarse a cabo tiempos de estancia totales de hasta 30 minutos.

Sorprendentemente, ha resultado que la conexión externa de los subsiguientes módulos de proceso 1-6 no afecta significativamente al control de temperatura del microrreactor. Dado que la temperatura de cada módulo de proceso 1-6, en particular cada módulo de retención 3-6, puede controlarse muy eficientemente (calentarse, refrigerarse o amortiguarse térmicamente) desde dos lados, pueden efectuarse reacciones en el microrreactor dentro de un amplio intervalo de temperatura. Como en el ejemplo de la realización descrita, preferiblemente un módulo de intercambio de calor 7, 8 transfiere calor hasta y desde los subsiguientes módulos de proceso 1-6 (excepto por el primer y el último módulos de intercambio de calor).

Los conductos de fluido reactivo de los módulos de proceso 1-6 se microestructuran mediante grabado, fresado o similar. Dado que los módulos de intercambio de calor 7, 8 se fabrican por separado, pueden fabricarse sin la microestructuración, reduciendo así los costes. Adicionalmente, dado que dichos módulos de intercambio de calor 7, 8 no hacen contacto con los reactantes, no precisan ser resistentes a la corrosión o a las elevadas presiones de proceso, permitiendo así el uso de materiales optimizados para la transferencia térmica. En particular, pueden utilizarse los siguientes materiales para los módulos de transferencia de calor.

Aleación de aluminio AIMgSi1 (=EN AW-6082 o EN6082):

EN	AW-6082	EN	AW-AlSiMgMn	AlMgSi1	DIN	3.2315
EN	AW-6061	EN	AW-AlMgSiCu	AlMg1SiCu	DIN	3.3211
EN	AW-6005A	EN	AW-AlSiMg(A)	AlMgSi0,7	DIN	3.3210
EN	AW-6012	EN	AW-AlMgSiPb	AlMgSiPb	DIN	3.0615
EN	AW-6060	EN	AW-AlMgSi	AlMgSi0,5	DIN	3.3206

Por el contrario, los módulos de proceso 1-6 pueden estar fabricados de los siguientes materiales, por ejemplo

DIN	1.4571	AlSi 316 Ti	X 10 CrNiMoTi 18 10
DIN	2.4602	NiCr21Mo14W	Hastelloy C-22
DIN	2.4610	NiMo16Cr16Ti	Hastelloy C-4
DIN	2.4617	NiMo28	Hastelloy B-2
DIN	2.4819	NiMo16Cr15W	Hastelloy C-276
DIN	2.4816	NiCr15Fe	Hastelloy 600
DIN	2.4856	NiCr21Mo9Nb	Hastelloy 625
DIN	2.4858	NiCr21Mo	Hastelloy 825

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de sistema de microrreactor, que comprende una pila de:

5 al menos n módulos de proceso (1-6), en donde n es un número entero igual o superior a 2, estando fabricado cada uno de los módulos de proceso (1-6) de un primer material rígido y comprendiendo al menos un conducto para fluido reactivo (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) que atraviesa dicho módulo de proceso (1-6) entre al menos una boca de entrada de fluido reactivo (1C, 1D, 2C, 2D, 3C, 6C) y al menos una boca de salida de fluido reactivo (1E, 1F, 2E, 3D, 6D) para alojar y guiar un fluido reactivo, en donde dichos al menos dos módulos de proceso (1-6) están conectados en serie;

10 y al menos $n+1$ módulos de intercambio de calor (7, 8), estando fabricado cada uno de dichos módulos de intercambio de calor (7, 8) de un segundo material dúctil diferente a dicho primer material y comprendiendo al menos un conducto para fluido de intercambio de calor (7A, 8A) que atraviesa el interior de dicho módulo de intercambio de calor (7, 8) entre al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor (7B, 8B) y al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor (7C, 8C) para alojar y guiar un fluido de intercambio de calor, en donde dichos al menos $n+1$ módulos de intercambio de calor (7, 8) están conectados en serie, en donde cada módulo de proceso (1-6) está emparedado entre dos módulos de intercambio de calor (7, 8) adyacentes.

20 2. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual dicho primer material es resistente a la corrosión y a la presión y preferiblemente se selecciona del grupo que consiste en acero inoxidable, hastelloy, tungsteno, tántalo, titanio, cerámica, grafito y/o una combinación adecuada de uno o más de dichos primeros materiales; y dicho segundo material es termoconductor, y preferiblemente se selecciona del grupo que consiste en aluminio, aleaciones de aluminio, cobre, aleaciones de cobre, plata y aleaciones de plata y/o una combinación adecuada de uno o más de dichos segundos materiales.

3. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el cual dichos al menos n módulos de proceso (1-6) comprenden:

30 un módulo de mezclado (2), cuyo al menos un conducto de fluido reactivo (2A) comprende una porción de mezclado (2G) para recibir y mezclar al menos dos fluidos reactivos; opcionalmente, un módulo de ajuste térmico (1) dispuesto corriente arriba de dicho módulo de mezclado (2) para ajustar una temperatura de dichos al menos dos fluidos reactivos antes de entrar en dicho módulo de mezclado (2); y opcionalmente, uno o más módulos de retención (3-6) dispuestos corriente abajo del módulo de mezclado (2) para alojar la mezcla de fluidos reactivos.

40 4. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual dicho al menos un conducto para fluido reactivo (1A, 1B, 2A, 3A, 6A) es un conducto plano, que comprende partes curvas y/o rectas, para permitir un flujo del respectivo fluido reactivo a lo largo de una ruta tortuosa, teniendo dicho conducto plano preferiblemente una relación anchura/altura en el intervalo de 1:4 a 1:50, más preferiblemente en el intervalo de 1:4 a 1:30, incluso más preferiblemente en el intervalo de 1:5 a 1:25.

45 5. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual dichos al menos n módulos de proceso (1-6) están conectados externamente en serie.

6. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual dichos al menos $n+1$ módulos de intercambio de calor (7, 8) comprenden:

50 un primer módulo de intercambio de calor (7), cuya al menos una boca de entrada de fluido de intercambio de calor (7B) se comunica con un primer depósito de fluido de intercambio de calor y cuya boca de salida de fluido de intercambio de calor (7C) se comunica con un módulo de intercambio de calor (8) posterior; un segundo módulo de intercambio de calor (8), cuya al menos una boca de salida de fluido de intercambio de calor (8C) se comunica con un segundo depósito de fluido de intercambio de calor y cuya boca de entrada de fluido de intercambio de calor (8B) se comunica con un módulo de intercambio de calor (7) precedente; y opcionalmente al menos un módulo de intercambio de calor adicional dispuesto entre dichos primer módulo de intercambio de calor (7) y segundo módulo de intercambio de calor (8), y conectado en serie con el primer módulo de intercambio de calor (7) y el segundo módulo de intercambio de calor (8), en donde la conexión en serie de los dos módulos de intercambio de calor (7, 8) sucesivos se implementa internamente mediante al menos un conducto de conexión de fluido de intercambio de calor (1H, 2H, 3H, 6H) que pasa a través de un respectivo módulo de proceso, de los al menos n módulos de proceso (1-6), emparedado por los dos módulos de intercambio de calor (7, 8) sucesivos.

65

7. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual dichos al menos n módulos de proceso (1-6) y/o dichos al menos n+1 módulos de intercambio de calor (7, 8) comprende una primera placa (1M-8M) y una segunda placa (1N-8N), unidas permanentemente entre sí, en donde cada uno de dichos respectivos conductos de fluido reactivo, conductos de fluido de intercambio de calor, bocas de entrada de fluido reactivo y bocas de salida de fluido reactivo, y/o bocas de entrada de fluido de intercambio de calor y bocas de salida de fluido de intercambio de calor (1A, 1B, 1C-1F, 2A, 2C-2E, 2G, 3A, 3C, 3D, 6A, 6C, 6D, 7A, 8A) está dispuesto entre dichas primera placa (1M-8M) y segunda placa (1N-8N).
8. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual cada uno de dichos conductos de fluido reactivo, conductos de fluido de intercambio de calor, bocas de entrada de fluido reactivo y bocas de salida de fluido reactivo, y/o bocas de entrada de fluido de intercambio de calor y bocas de salida de intercambio de calor (1A, 1B, 1C-1F, 2A, 2C-2E, 2G, 3A, 3C, 3D, 6A, 6C, 6D, 7A, 8A) se obtiene por ablación de una superficie interior de al menos una de dichas primera placa (1M-8M) y segunda placa (1N-8N).
9. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual una placa estructurada intermedia (70, 80) está emparedada entre dicha primera placa (7M, 8M) y dicha segunda placa (7N, 8N) de dichos al menos n+1 módulos de intercambio de calor (7, 8), para proporcionar dichos conductos para fluido de intercambio de calor (7A, 8A).
10. Un conjunto de sistema de microrreactor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende adicionalmente un primer medio de bastidor (10); y un segundo medio de bastidor (9), en el cual dichos al menos n módulos de proceso (1-6) y/o dichos al menos n+1 módulos de intercambio de calor (7, 8) están presionados los unos contra los otros por dichos primer y segundo medios de bastidor (9, 10).

FIG. 1

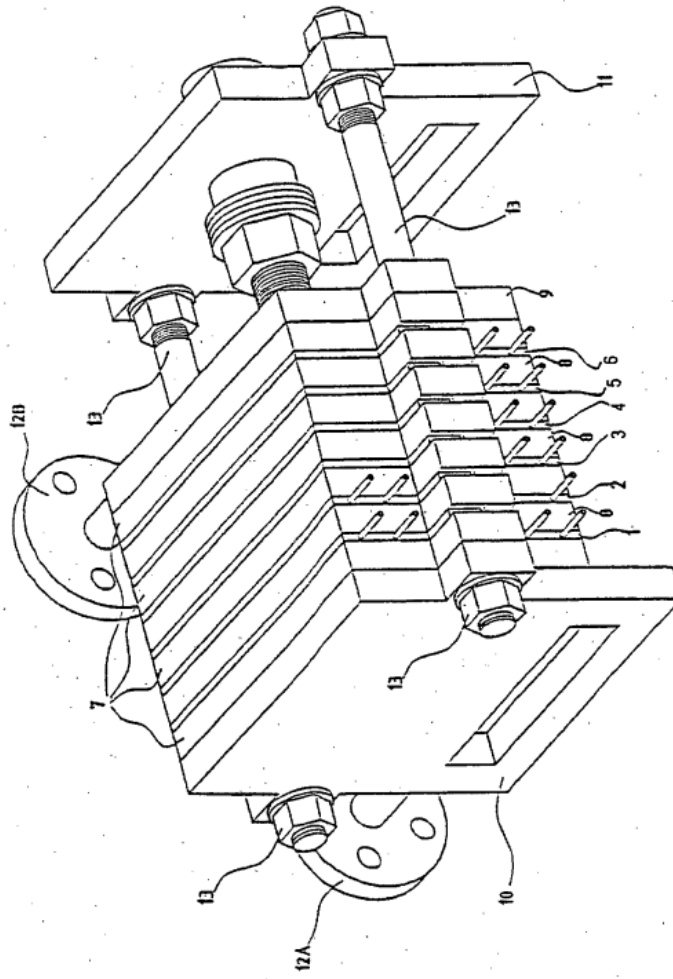
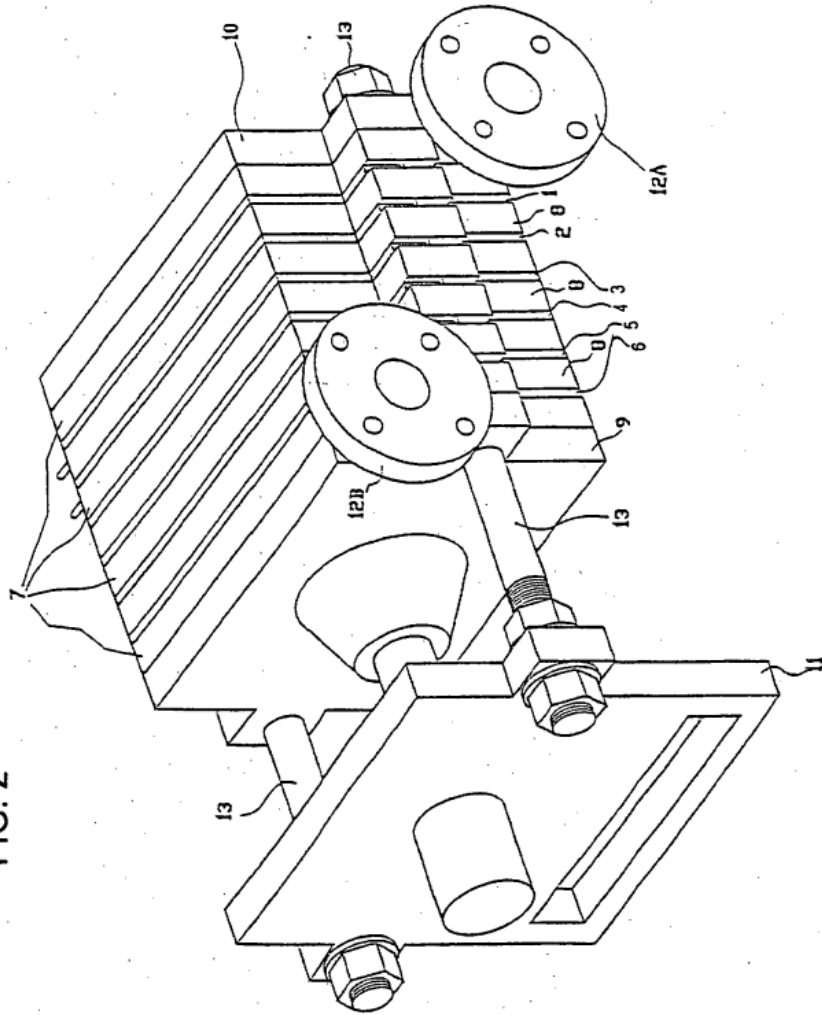


FIG. 2



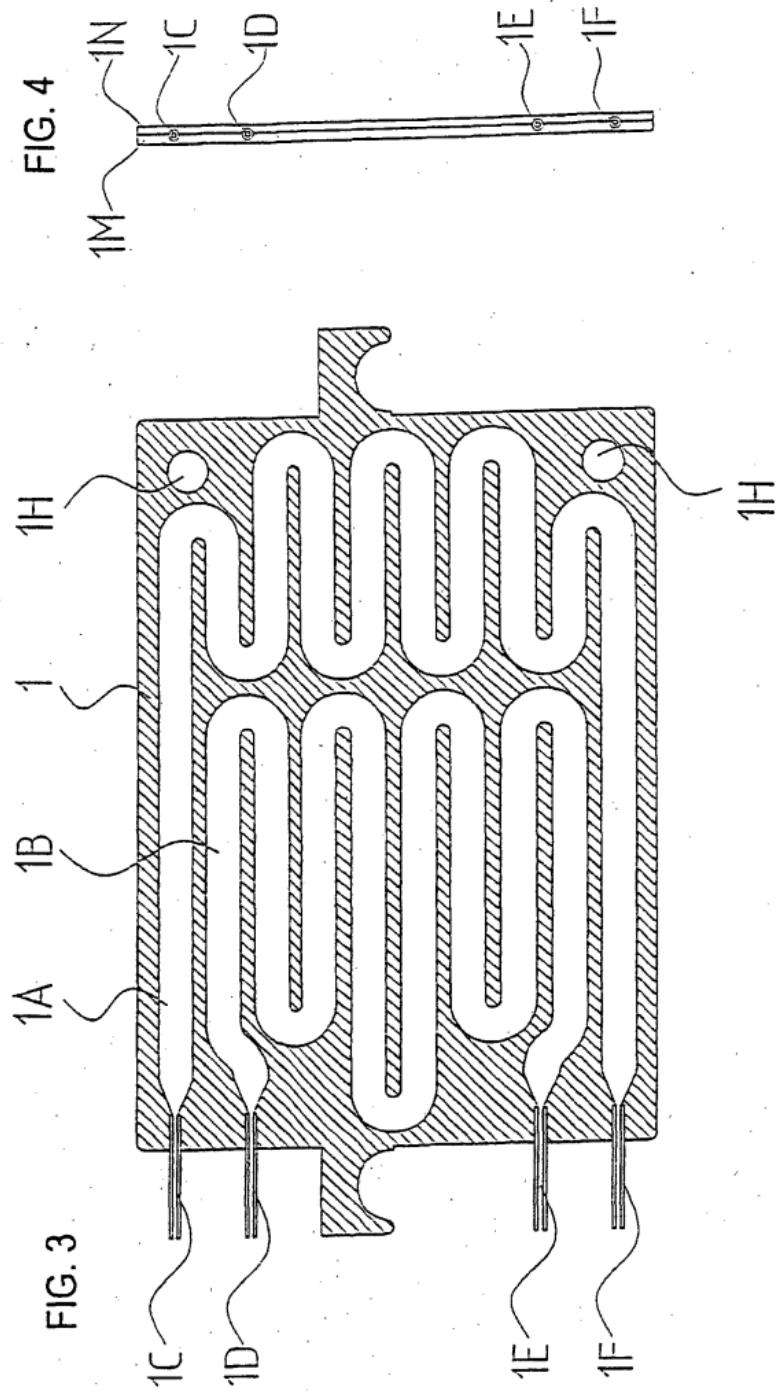


FIG. 5

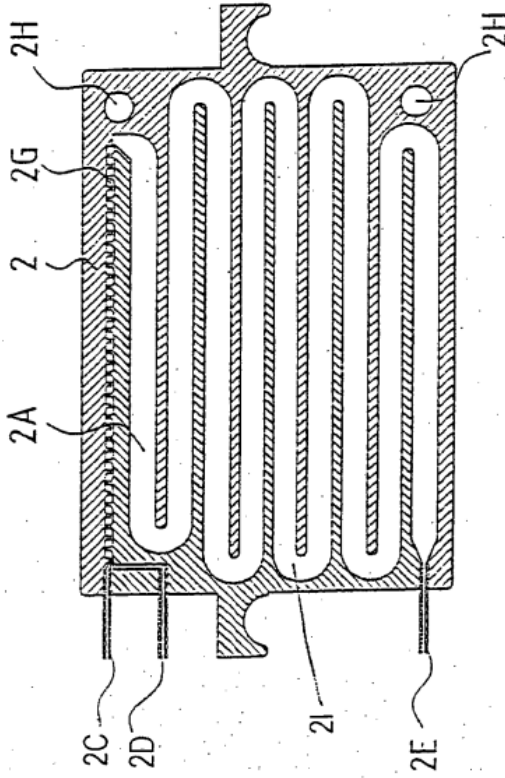


FIG. 6

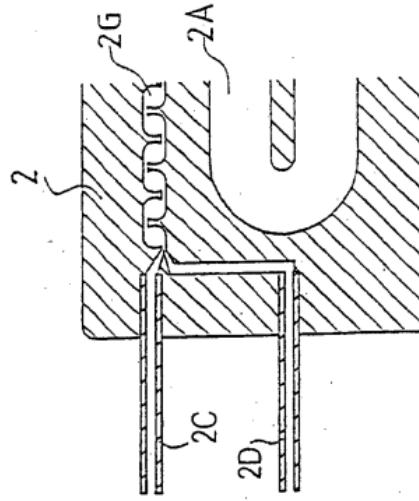


FIG. 7

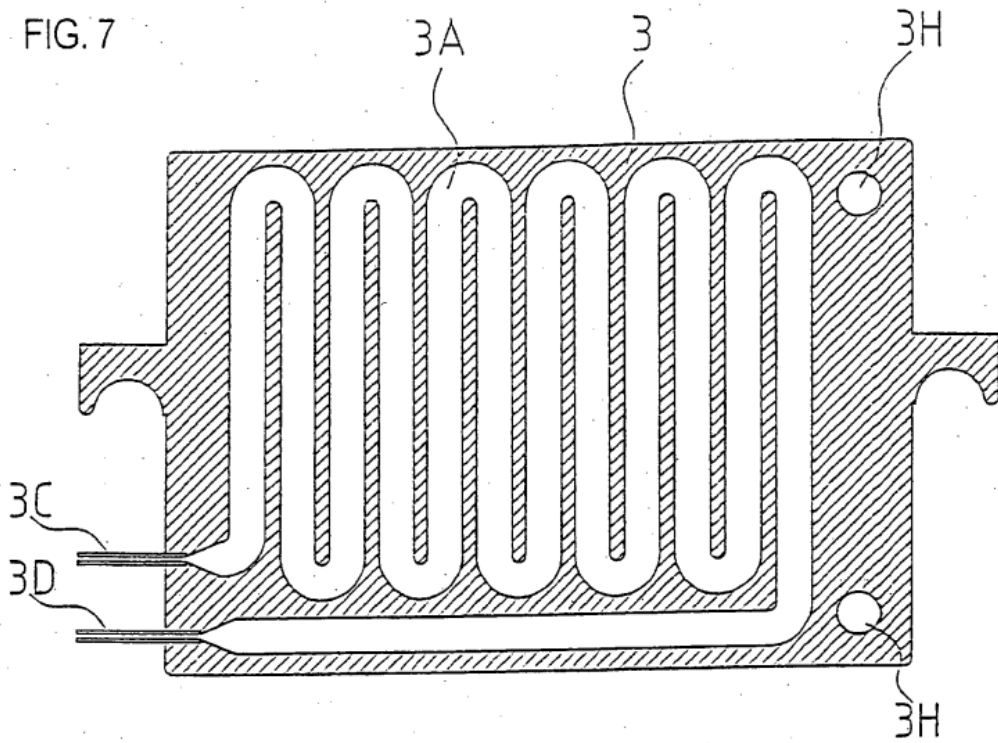


FIG. 8

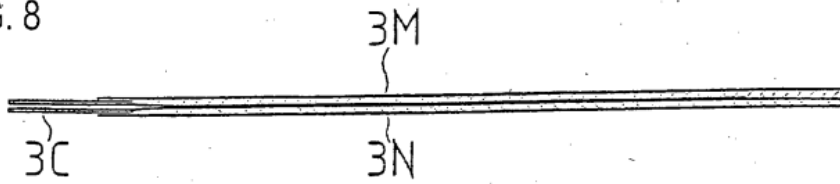


FIG. 9

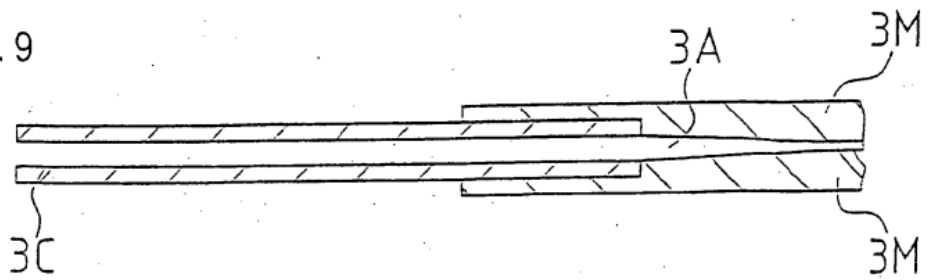


FIG. 10

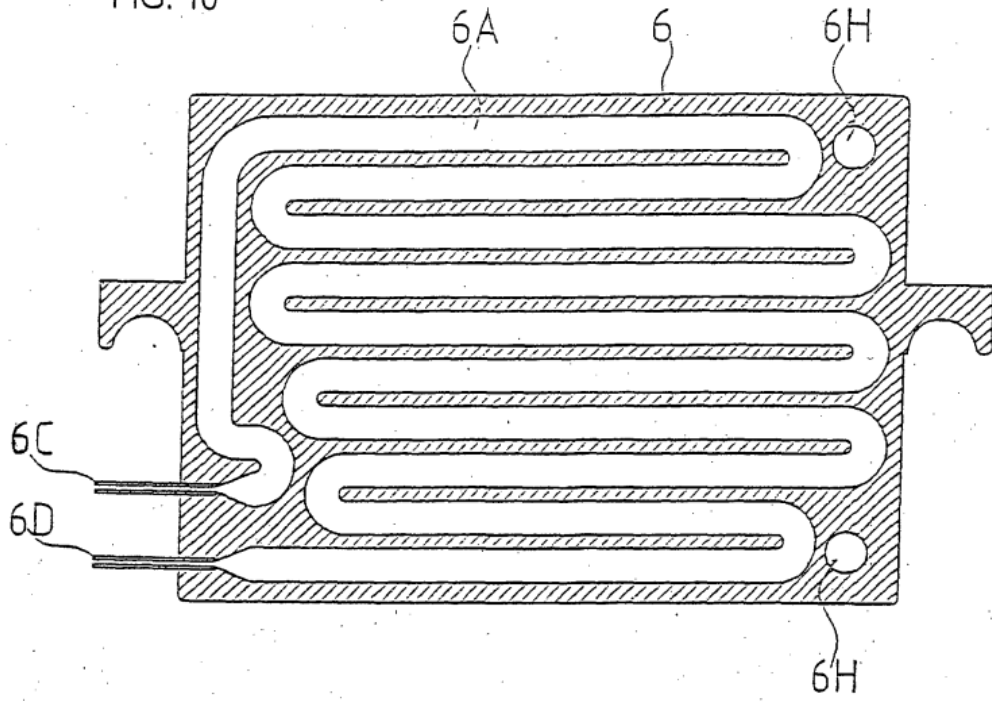


FIG. 11

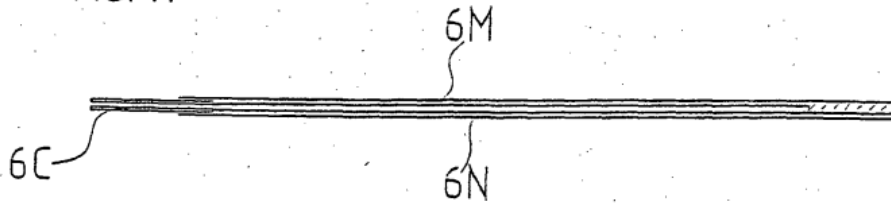


FIG. 12

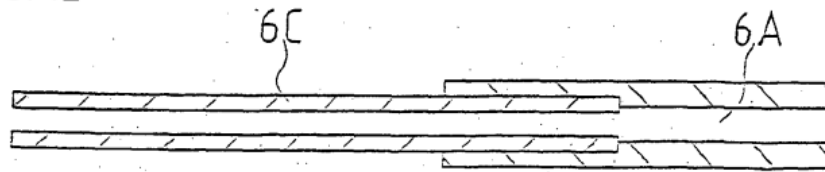


FIG. 13

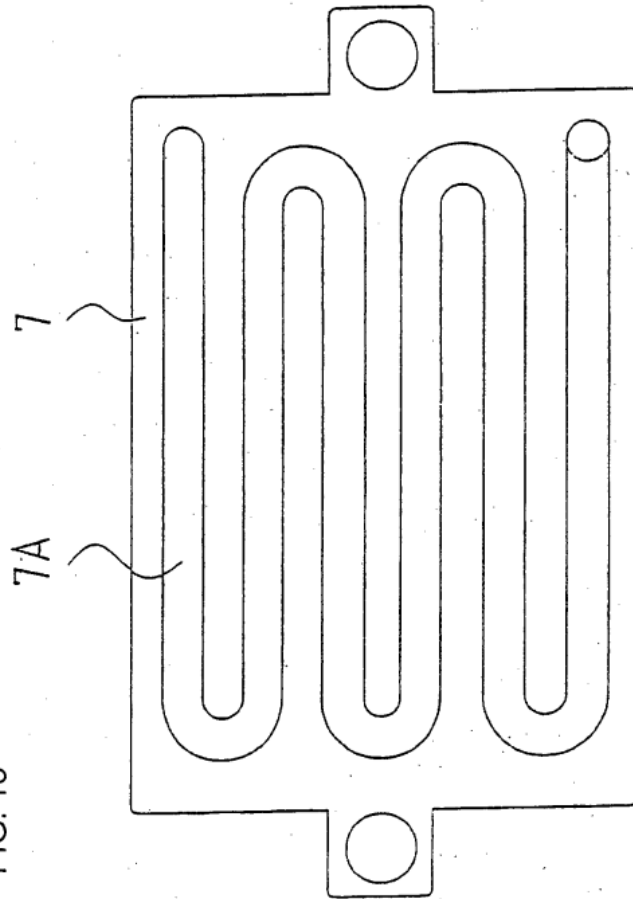


FIG. 14

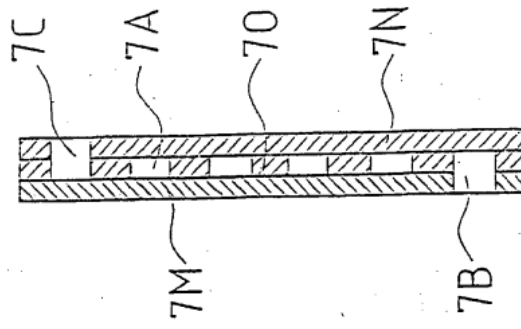


FIG. 15

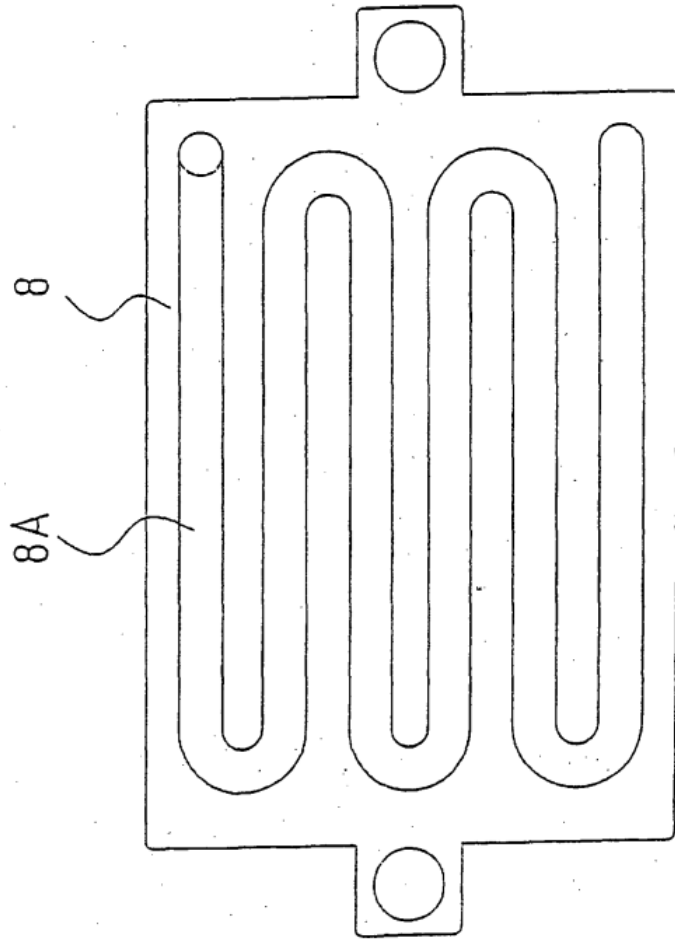


FIG. 16

