



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 337 147**

51 Int. Cl.:

C12M 3/00 (2006.01)

B01D 46/10 (2006.01)

B01D 53/22 (2006.01)

A61L 9/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04752683 .5**

96 Fecha de presentación : **19.05.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1627041**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.02.2006**

54 Título: **Procedimiento y aparato de separación de gas.**

30 Prioridad: **19.05.2003 US 471624**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.04.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.04.2010

73 Titular/es: **Michael Trachtenberg**
19 Laurel Wood Drive
Lawrenceville, New Jersey 08645, US

72 Inventor/es: **Trachtenberg, Michael**

74 Agente: **Ponti Sales, Adelaida**

ES 2 337 147 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato de separación de gas.

5 1. Campo

Esta invención se refiere a un procedimiento y a un aparato que utiliza una membrana de conversión de fase para facilitar el transporte de masa de una sustancia desde una primera fase a una segunda fase purificando así la sustancia. Más específicamente, la invención se refiere a un procedimiento y un aparato que utiliza una membrana de conversión de fase que comprende un catalizador enzimático para facilitar el transporte selectivo de un componente gaseoso deseado desde una fase gaseosa a una fase en solución aislando así el componente gaseoso deseado.

2. Antecedentes

Las técnicas tradicionales para separar y aislar componentes procedentes de vapor de gas o mixto incluyen aquellos basados en la diferenciación de propiedades físicas o químicas de los componentes del vapor. Por ejemplo, ciertas técnicas de separación química implican el tratamiento de la corriente de fluido con sustancias químicas como aminas, esponjas de hierro, etc. Las técnicas de separación física incluyen la extracción inmiscible líquido-líquido, técnicas criogénicas y técnicas soportivas gas-líquido y gas-sólido (p. ej., adsorción oscilante de presión). Desafortunadamente, tales técnicas no permiten fácilmente la separación de componentes de corriente con propiedades físicas o químicas similares. Otra desventaja es que tales técnicas generalmente no son útiles para aislar gases que están presentes en bajas concentraciones en el flujo mixto.

Las corrientes de gas también se pueden separar mediante tensión superficial utilizando torres de aspersión, torres en cascada y torres de inyección de gas. Pero debido a los efectos de la tensión superficial, el fluido toma una forma esférica y se fusiona. La coalescencia afecta de forma adversa a la relación superficie-volumen y necesita más volumen de contacto total y tiempo de contacto para la separación. Otra desventaja es que las corrientes de fluido pueden formar espuma y producir canalización a medida que se mueven por el reactor, reduciendo la eficacia del reactor.

Otras técnicas de separación tradicionales implican el tramposote de masa selectivo a través de membranas inertes. A. S. Michaels, *New Vistas For Membrane Technology*, 19 CHEMTECH 160-172 (1989); R. E. Babcock *et al.*, *Natural Gas Cleanup A Comparison of Membrane and Amine Treatment Processes*, 8 ENERGY PROG. 135-142 (1988). Las tecnologías más actuales se centran en membranas inertes semi-permeables. R. W. Spillman, *Economics of Gas Separation Membranes*, 85 CHEM. ENGR. PROG. 41-62 (1989).

En reactores de partición, las fases discretas -gas y gas, gas y líquido y líquido y líquido- normalmente están separadas por una membrana de separación. La membrana de separación es generalmente una partición mecánica, como un material polímero o metálico. La membrana de separación tiene comúnmente propiedades como parámetros de difusión de solución con tamaño y forma de poro de modo que actúa como un filtro selectivo. Desafortunadamente, los sistemas de membrana convencionales no logran una separación completa. R. W. Spillman, *Economics of Gas Separation Membranes*, 85 CHEM. ENGR. PROG. 41-62 (1989).

Los reactores de tipo partición también pueden diseñarse para utilizar fibras huecas para efectuar la separación basada en volatilidades de fluido relativas utilizando fibras huecas. Tales fibras huecas pueden ser no porosas o microporosas. Por ejemplo, la patente de Estados Unidos de Jensvold n° 6.153.097 describe un reactor de fibra hueca que tiene un permeador montado internamente en el que el permeado, derivado de la alimentación en el lado del cilindro de un primer grupo de tubos, si no se captura directamente, sirve de alimentación en el lado de la cuba a un segundo grupo de tubos.

En reactores de partición que utilizan fibras huecas, las fibras pueden tener una amplia variedad de orientaciones y relaciones. Por ejemplo, las fibras pueden tener orientaciones paralelas, ortogonales, concéntricas o radiales. Las fibras huecas pueden estar formadas en mallas o placas de fibras, en las que las fibras pueden estar orientadas hacia cualquiera de un número de ángulos y patrones de redes. Los procesos de fibras huecas se aplican generalmente a corrientes de fluido separadas donde todos los componentes son gases. J. Jensvold, *Patente de Estados Unidos de J. Jensvold n° 6.153.097* (publicada el 28 de noviembre de 2000); *patente de Estados Unidos de R. Nichols y col. N° 5.164.081* (publicada el 17 de noviembre de 1992).

Las técnicas tradicionales de separación de gases descritas anteriormente presentan normalmente uno o más de los siguientes problemas: son ineficientes en el uso de la energía, solo son moderadamente específicas, y son lentas (particularmente en la fase de desorción). Solo son efectivas en materias primas relativamente puras, dependen de una altura piezométrica significativa y, en muchos casos, utilizan sustancias tóxicas o dañinas para el medio ambiente.

La necesidad de una materia prima relativamente pura es uno de los problemas más frecuentes y difícil. Por ejemplo, a menudo, ciertos componentes gaseosos de la corriente se pueden desear para ciertos usos finales. La separación eficiente requiere que una utilización de materia prima enriquecida de las técnicas descritas anteriormente que resulta en una restricción geográfica a las fuentes de alimentación disponibles, donde tal componente está presente en concentraciones más elevadas en fuentes de alimentación más puras. Estas localizaciones de fuentes de alimentación

pueden estar lejos de la localización de la utilización final. Consecuentemente, los costes de transporte del componente purificado deseado tras la separación pueden ser extremadamente altos.

Los catalizadores biológicos (p. ej., enzimas) presentan varias ventajas cuando se utilizan en tecnologías de separación, incluyendo una mejora en la eficiencia, la velocidad y la selectividad. Además, son respetuosos con el medioambiente y biodegradables, y pueden utilizarse a temperaturas y presiones moderadas, mejorando la seguridad. Existen informes que describen la utilización de anhídrida carbónica para convertir dióxido de carbono en una solución acuosa a bicarbonato. Pero la utilización de tales procesos enzimáticos para aislar comercialmente de corrientes mixtas resulta impracticable debido a las bajas relaciones superficie-volumen y las pocas áreas de superficie de contacto gas-líquido en los procesos conocidos actualmente.

La utilización previa de enzimas se ha centrado principalmente en la industria de procesamiento alimentario, en aplicaciones de limpieza o detergentes, o en el procesamiento de aguas residuales. Las aplicaciones industriales en el campo de los gases han sido limitadas. Las aplicaciones previas de enzimas para la extracción de gas se encuentran en las patentes de Estados Unidos de Bonaventura y col. N° 4.761.209 y 4.602.987 y en la patente de Estados Unidos de Henley y Chang n° 3.910.780. Bonaventura utiliza membranas impregnadas de anhídrida carbónica para facilitar el transporte de dióxido de carbono a través de una membrana hacia el agua en un aparato de aire recirculado bajo el agua.

La patente de Estados Unidos 6.143.556 describe un procedimiento y aparato para retirar y concentrar un componente gaseoso de una mezcla gaseosa mediante el contacto con una membrana que contiene un absorbente líquido y una enzima inmovilizada.

Aunque tiene algunas ventajas significativas, una variedad de problemas ha limitado la aplicación de enzimas en entornos industriales. Estos incluyen la corta vida útil de la enzima, libre o inmovilizada, la incrustación o bioincrustación, la separación de la enzima de la superficie de inmovilización, la disponibilidad limitada de una cantidad suficiente de enzimas y los gastos de fabricación. Estos problemas han resultado en relativamente pocos esfuerzos para utilizar enzimas en la manipulación de gases. Además, los medios físicos/químico están disponibles comercialmente; se comprenden e implican una tecnología establecida y una inversión significativa.

Por consiguiente, existe la necesidad de procedimientos, aparatos y reactores mejorados que proporcionen una separación o enriquecimiento de fluidos eficiente y que sean respetuosos con el medio ambiente, selectivos, y que puedan aislar componentes presentes en bajas concentraciones en materias primas relativamente impuras.

3. Resumen

Según la presente invención, se proporciona un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 1, y un aparato como se reivindica en la reivindicación 10.

En la invención, la corriente de alimentación puede ser cualquier mezcla de gases como aire, gas de combustión u otra fuente de combustión, o gas natural siempre que el gas deseado destinado a separarse se absorba selectivamente, se convierta químicamente, o de lo contrario se vuelva más soluble en la membrana de conversión de fase que el resto de componentes.

En una realización, la invención puede dirigirse a un procedimiento y un aparato útil para separar un componente gaseoso deseado de una corriente de alimentación mixta exponiendo la corriente mixta a:

- (a) una membrana de partición para efectuar una primera etapa de separación
- (b) una segunda etapa de purificación por medio de una membrana de conversión de fase para aislar el componente gaseoso deseado del resto de componentes haciendo que pase a una fase diferente, por ejemplo, una fase de solución, mientras que el resto de componentes gaseosos no deseados permanecen en fase gaseosa,
- (c) una etapa de desorción, en la que el componente gaseoso deseado es liberado desde la segunda fase en forma purificada, y
- (d) una segunda membrana de partición, tras la que se recoge el gas purificado o se expone a manipulaciones adicionales. Si se utilizan fibras huecas microporosas, su objetivo será separar líquidos de gases.

El término conversión de fase como aquí se utiliza incluye una conversión de un gas en un compuesto ionizado o sal disuelta en un líquido.

Este ciclo puede repetirse una o más veces según la composición y la pureza de la corriente de alimentación, las propiedades físicas y químicas del componente gaseoso deseado, el nivel de pureza requerido del componente gaseoso deseado, el tipo de composición de la membrana de partición, y el tipo y la composición de la membrana de conversión de fase. La primera y la segunda membrana de partición están separadas por un espacio limitado relleno con la membrana de conversión de fase.

ES 2 337 147 T3

El sistema membrana/catalizador aísla el componente gaseoso deseado de la corriente mixta haciendo que reaccione para potenciar su solubilidad en una fase líquida. En otro aspecto de esta realización, el componente aislado en la fase líquida se convierte en fase gaseosa en forma purificada.

5 En otra realización, la invención resulta útil para aislar y purificar dióxido de carbono de una corriente de componente mixto utilizando anhídrido carbónico como catalizador de conversión de fase en una membrana de conversión de fase.

10 En otra realización, la invención es útil para procesar grandes volúmenes de gas para la eliminación de dióxido de carbono, con una eficacia económica que hasta el momento no es posible con los procesos químicos convencionales.

15 En otra realización, la invención resulta útil para enriquecer o eliminar dióxido de carbono de la atmósfera, donde el dióxido de carbono está en una baja concentración, aproximadamente 0,035 por ciento por volumen.

4. Breve descripción de las figuras

20 Esta y otras características, aspectos, y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor gracias a la siguiente descripción, las reivindicaciones adjuntas y las figuras que la acompañan, en las que:

La figura 1 ilustra una disposición X-Y-Z de un reactor que utiliza mallas de fibras huecas tejidas.

25 La figura 2 muestra la organización y la orientación de redes de fibras huecas como pueden utilizarse en una red plana.

La figura 2A muestra una sola malla de fibras tejidas.

30 La figura 2B muestra dichas mallas en una red paralela o X-X'.

La figura 2C muestra la disposición de dichas mallas en una red ortogonal o X-Y.

La figura 3 muestra la variación del rango de alimentación de fibras de extracción.

35 La figura 3A muestra una relación 1:1.

La figura 3B muestra una relación 1:2.

40 La figura 4 muestra una disposición de fibras concéntrica.

La figura 5 muestra un procedimiento para construir una red enrollada en espiral de pasos de alimentación, extracción y membrana de conversión de fase utilizando un manguito de membrana.

45 La figura 5A muestra la fabricación de la red de manguito.

La figura 5B muestra la alineación de los manguitos y los separadores antes del enrollado en espiral.

50 La figura 6 muestra una vista final del enrollado en espiral de una membrana manguito. Esta representación también puede aplicarse al enrollado en espiral de las figuras 5 y 8.

La figura 7 muestra la carcasa de un reactor de enrollado en espiral.

55 La figura 8 muestra una realización con pasos de enrollado en espiral utilizando fibras huecas orientadas a ángulos rectos (radial y circunferencialmente) y una vista esquemática que muestra también los pasos.

La figura 9 muestra la primera etapa del ensamblado del aparato de la figura 8.

La figura 10 muestra un reactor sin membrana listado de forma alterna.

60 La figura 11 muestra un absorbente sin membrana rectilíneo en el que el flujo de fluido descansa sobre una superficie.

65 La figura 12 muestra un absorbente sin membrana rectilíneo en el que el flujo de fluido se alinea a lo largo de una pared para maximizar el área interfacial.

La figura 13 muestra un reactor sin membrana rectilíneo en el que el flujo de fluido no descansa sobre una superficie pero utiliza guías filamentosas o laterales.

ES 2 337 147 T3

La figura 14 muestra un absorbente sin membrana en el que la membrana de conversión de fase se dispensa mediante un tubo hueco concéntrico localizado centralmente mientras que el gas de alimentación o los gases de extracción se liberan en cada lado de la membrana de conversión de fase.

5 La figura 15 muestra un reactor sin membrana en el que la membrana de conversión de fase se dispensa mediante un tubo hueco concéntrico localizado centralmente mientras que el gas de alimentación o los gases de extracción se liberan en cada lado de la membrana de conversión de fase.

10 Se debe comprender que estos dibujos están destinados a mostrar los conceptos de la invención y no se han realizado a escala.

5. Descripción detallada

15 Los gases se definen como materiales que están en fase gaseosa a temperatura y presión ambientales (tomados a 20°C en un atmósfera). La temperatura de funcionamiento de estos sistemas es frecuentemente de 4°C - 140°C, así el vapor de agua pasa a gas a <100°C si se utiliza en vacío. Los gases adecuados incluyen, pero no está limitado a, nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de sulfuro, metano, amoníaco, hidrógeno sulfurado y vapor de agua.

20 La corriente gaseosa mixta puede pretratarse para proporcionar una temperatura o presión óptima, o para eliminar los componentes que rebajarían la eficiencia del reactor. Los ejemplos de pretratamiento incluyen la clasificación mecánica mediante filtros, la clasificación química mediante absorbentes o la depuración de absorbentes, la utilización de intercambiadores de calor, expansión de la compresión de procesos de residuo-calor-recuperación y otras etapas de
25 procesos gaseosos conocidos en la técnica.

5.1 La membrana de partición

30 En una realización de los procedimientos, aparatos y reactores de la invención, la membrana de partición efectúa una primera etapa de purificación del componente gaseoso deseado según sus características físicas, como solubilidad, difusividad, conductividad y propiedades magnéticas.

35 Las membranas de división de la invención pueden ser membranas homogéneas, compuestas, simétricas o asimétricas, como se describe en la patente de Estados Unidos n° 4.874.401.

40 La membrana de partición puede estar hecha a partir de un polímero, un metal, cerámica u otro material conocido en la técnica. La membrana de partición puede ser no porosa, nanoporosa o microporosa. Las membranas de partición adecuadas para la invención se describen en R. E. KESTING, SYNTHETIC POLYMERIC MEMBRANES, 2a ed. (1985); SUN-TAK HWANG & KARL KAMMERMEYER, MEMBRANES IN SEPARATION (1984).

45 Preferiblemente, la membrana de partición presenta un gran ángulo de contacto con la membrana de conversión de fase. Esto previene que la membrana de conversión de fase obstruya los poros de la membrana de partición, si los hay, y permite así una velocidad alta de difusión de gas por la membrana de partición. Preferiblemente, si la membrana de conversión de fase comprende una sustancia hidrófila, como una solución acuosa, la membrana de partición está compuesta preferiblemente de un material hidrófobo. Esta combinación previene que agua u otro material hidrófilo entre en los poros de la membrana de partición. Contrariamente, si la membrana de conversión de fase es hidrófoba, el material de la membrana de partición debe ser un material hidrófilo, asegurando de nuevo que el líquido no entre en los poros de la membrana de partición. 5.1. Fibras huecas utilizadas en membranas de partición.

50 En una realización, la membrana de partición comprende fibras huecas como las descritas en la patente de Estados Unidos de J. Jensvold n° 6.153.097 (publicada el 28 de noviembre de 2000).

55 Las fibras huecas útiles en membranas de partición de la invención pueden construirse de cualquier material poroso o material polimérico semipermeable, preferiblemente, polímeros olefínicos, como poli-4-metilpenteno, polietileno y polipropileno; olitetrafluoroetileno, ésteres celulósicos, éteres de celulosa y celulosa regenerada; policarbonatos, incluyendo versiones substitutas de anillos de policarbonatos basados en bisfenol; poliestirenos, polisulfonas, poliimididas y polietersulfona. En realizaciones preferidas, las paredes de paso están hechas de material poroso hidrófilo, material poroso hidrófobo, material poroso cerámico, material poroso metálico sintetizado, nanotubos de carbono, polipropileno poroso, poliperfluoroetileno poroso, polímeros de hidrocarburo poroso, poliamidas porosas y policarbonatos porosos, preferiblemente, las paredes de paso están hechas de polipropileno de la marca Celgard. Celgard es un material de polipropileno. El material X30-240 preferido tiene una porosidad del 40% y poros de 30 nm. También hay otras variantes. Otros fabricantes producen productos relacionados utilizando el mismo u otros polímeros.

65 En una realización preferida, el diámetro externo de las fibras huecas va desde aproximadamente 100 a aproximadamente 500 micrómetros, preferiblemente de aproximadamente 100 micrómetros a aproximadamente 300 micrómetros. Preferiblemente, el diámetro del cilindro es de 10 a 300 micrómetros, más preferiblemente 150-250 micrómetros.

Como aquí se utiliza, fibra hueca significa en volumen cerrado y no está limitado a la geometría cilíndrica tradicional. Por tanto, es posible utilizar membranas planas que estén dispuestas de forma análoga a sobres cerrados de modo que estén achatadas por los polos en cualquier relación deseada del primero al segundo eje. La patente de Estados Unidos de Nichols y col. N° 5.164.081 muestra la fabricación de manguitos mediante la inserción de un separador entre las capas plegadas y el sellado alrededor de los ejes. El sellado se puede conseguir con calor para sellar las caras o mediante la utilización de un adhesivo, preferiblemente un epoxi. Como aquí se ha practicado, a diferencia de Nichols, se ha introducido uno o más tubos perforados selectivamente dentro de los manguitos para permitir el suministro de un fluido dentro del centro del manguito, un espacio similar al diámetro de una fibra hueca. Al utilizar tales tubos, se suministra un fluido a un extremo del manguito, en un ejemplo actúa como el gas de alimentación mientras que un tubo en el extremo opuesto del manguito captura el gas que no ha sido extraído selectivamente por la superficie del manguito, siendo ahora el gas retenido.

En otro aspecto, la superficie de la fibra hueca puede revestirse parcialmente con un material conductor que retiene su porosidad pero que puede llevar una carga. En una realización preferida, el material conductor se deposita en la superficie de la membrana mediante deposición de vapor. En otra realización, el propio material de membrana es eléctricamente conductor, ejemplos del mismo incluyen poliacetileno y poli para fenileno vinileno (PPV) y otros descritos por T. A. Skotheim en *Handbook of Conducting Polymers*, 1986.

En incluso otro aspecto, la superficie de la fibra hueca puede modificar para que acepte enlaces covalentes o de otros tipos con materiales que pueden actuar como puente para otros materiales, por ejemplo, una enzima. S. Nishiyama, A. Goto, K. Saito, K. Sugita, M. Tamada, T. Sugo, T. Funami, Y. Goda, y S. Fujimoto describen tal proceso en su publicación "Concentration of 17-Estradiol Using an Immunoaffinity Porous Hollow-Fiber Membrane" *Anal. Chem.*, 74 (19), 4933-4936, 2002. Un grupo epoxi que contiene monómero, metacrilato de glicidilo se polimerizó por injerto en una membrana de fibra hueca porosa. La enzima, como un ligando, se unió al grupo epoxi en la carcasa de la membrana.

Como ejemplo adicional, la superficie modificada activada puede revestirse de gel de sílice, por ejemplo, la capa fina de gel descrita en Eva M. Wong *et al.*, *Preparation of Quaternary Ammonium Organosilane Functionalized Mesoporous Thin Films*, 18 *LANGMUIR*, 972-974 (2002). A su vez tiene una serie deseada de propiedades como un diámetro de poro seleccionado y una funcionalización de grupo de poros, por ejemplo, con grupos ácidos o básicos. 5.1. 1.1 Corrección de membranas de partición de fibras huecas a partir de fibras huecas.

Las membranas de partición de fibras huecas son muy conocidas en la técnica, véase, por ejemplo, la patente de Estados Unidos n° 4.961.760. En una realización preferida, las fibras huecas tienen una porosidad y composición controladas, preferiblemente tienen una superficie hidrófoba y tales tamaños de poros que la tensión de la superficie previene el flujo de la membrana de conversión de fase a través de los poros.

En una realización, las membranas de partición de fibras huecas tienen una región discriminatoria en la que la separación del fluido mixto está basada en las diferencias de solubilidad y difusividad de los fluidos. W.J. Koros & G.K. Fleming, *Membrane-based gas separation*, 83 *JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE* 1-80 (1993).

En otra realización, las membranas de partición de fibra hueca son microporosas, en las que la separación está basada en volatilidades de gas relativas.

En una realización preferida, las membranas son fibras huecas asimétricas como se describe en la patente de Estados Unidos n° 4.955.993.

En una realización preferida, la membrana de partición es una matriz o red de fibras huecas, en la que una pluralidad de fibras huecas está unidas a un material ligante o tejidas en hojas o mallas, como las descritas en la patente de Estados Unidos de J. Jenvold n° 6.153.097 (publicada el 28 de noviembre de 2000). Tales hojas o mallas son referidas aquí como hojas de membrana de partición de fibra hueca (o simplemente hojas de fibra hueca). Como se explica más detalladamente a continuación, cuando está superpuestas, las hojas de membrana de partición de fibra hueca se separan entre sí tejiéndolas una encima de la otra con un material ligante.

Preferiblemente, las fibras huecas que conforman la hoja están dispuestas de forma organizada substancialmente no aleatoria. Preferiblemente, las fibras huecas están dispuestas en la hoja en forma de envoltura paralela, donde las fibras son substancialmente paralelas entre sí, estando cada extremo de las fibras huecas en cada extremo de la hoja. En una realización alternativa, las fibras huecas en la hoja de fibras huecas están envueltas en forma de envoltura desviada, donde las fibras huecas están envueltas siguiendo un patrón entrecruzado en un ángulo establecido, manteniendo así las fibras huecas en su lugar en una hoja. En hojas de fibra hueca preferidas, el grosor de la hoja es tan grueso como el de una fibra hueca.

La hoja puede tener cualquier forma geométrica apropiada, como circular, cuadrada o rectangular. Preferiblemente, la hoja es cuadrada o rectangular y está dispuesta de tal forma que los extremos de las fibras huecas se ubican en cada lado de la hoja.

5.2 La membrana de conversión de fase

La membrana de conversión de fase absorbe selectivamente el componente gaseoso deseado y lo convierte en una segunda fase.

En la invención, la membrana de conversión de fase es agua o una solución acuosa.

Las membranas de conversión de fase adecuadas para utilizarse en la invención se describen en R. E. KBSTTNG, SYNTHETIC POLYMERIC MEMBRANES, 2ª ed. (1985); SUN-TAK HWANG & KART KAMMERMEYER, MEMBRANES IN SEPARATION (1984).

Durante el uso, la membrana de conversión de fase puede agitarse o tener un flujo introducido por un agitador, bomba u otro medio convencional. El flujo u otro medio se aplica para mantener una concentración u otro gradiente y producir así un movimiento vectorial del componente gaseoso deseado en una segunda fase.

Preferiblemente, el grosor de la membrana de conversión de fase va desde aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 600 micrómetros, más preferiblemente, de aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 200 micrómetros.

En la invención, la membrana de conversión de fase convierte químicamente el gas a una especie iónica soluble en un medio acuoso por medio de un catalizador de conversión de fase, preferiblemente una enzima.

Preferiblemente, la membrana de conversión de fase es un fosfato, un tampón de bicarbonato-glicina o bicarbonato-piperazina cuya resistencia iónica se ha ajustado para compensar el cambio de pH que se produciría en caso de ausencia del tampón. El fluido del tampón contiene un catalizador de conversión de fase que comprende una enzima, y más preferiblemente, anhídrido carbónico.

Preferiblemente, la solución acuosa comprende un carbonato de metal o bicarbonato de metal o un material zwitteriónico como un aminoácido, en una relación de pH que facilita la conversión enzimática de un gas, como dióxido de carbono, a especies solubles como bicarbonato. En otro aspecto de esta realización, el bicarbonato solubilizado se vuelve a convertir en dióxido de carbono purificado en la cara del permeado o en un segundo cuerpo reactor.

Un sistema carbonato-bicarbonato se forma espontáneamente en presencia de agua, un catalizador y dióxido de carbono. La concentración total de carbonato es una función de la concentración de dióxido de carbono del gas alimentado, mientras que la relación de dióxido de carbono/carbonato de hidrógeno/carbonato es una función de la solución de pH. Reacciones de este tipo han sido examinadas por G. ASTARITA *ET AL.*, GAS TREATING WITH CHEMICAL SOLVENTS (1983).

Una membrana de conversión de fase líquida se fabrica como una solución en masa que incluye sales y tampones apropiados. En el caso de un catalizador homogéneo, el catalizador, preferiblemente una enzima, se añade a la solución en masa a la concentración preferida.

En el caso de la presencia de membranas de separación de fase, el fluido en masa es suministrado al espacio grueso multimicrómetro entre las membranas de separación de fase para formar una membrana líquida fina, contenida.

5.3 Catalizadores de conversión de fase

En una realización, la membrana de conversión de fase comprende un catalizador de conversión de fase que facilita la adsorción, o convierte químicamente el componente gaseoso deseado en una fase condensada. Preferiblemente, el catalizador de conversión de fase convierte el componente gaseoso deseado en una especie absorbible o soluble en la membrana de conversión de fase. Cualquier catalizador que facilite la adsorción, adsorción o disolución en una segunda o condensada fase se puede utilizar como catalizador de conversión de fase. Como se ha indicado, el catalizador de conversión de fase convierte el gas en una especie iónica que es soluble en un medio acuoso.

Los ejemplos de catalizadores de conversión de fase adecuados para utilizarse en la invención se presentan en la tabla I a continuación. También se presenta en la tabla I, correspondientes a cada catalizador, ejemplos no limitativos de un componente gaseoso deseado para el que es adecuado el catalizador, siendo las especies químicas resultantes solubles o retenibles en la segunda fase, y ejemplos no limitativos de sustancias adecuadas para la segunda fase.

ES 2 337 147 T3

TABLA I

Catalizadores de conversión de fase

5	Catalizador de conversión de fase
	Anhidrasa carbónica
10	Oxidasa carbónica
	Glucosa asidaza
	Aldehído oxidasa
15	Hidroxilamina oxidasa
	Oxidasa sulfito
20	Sulfuro férrico ión oxidoreductasa
	Catecol oxidasa (dimerizante)
	Lacasa
25	L-ascorbato oxidasa
	Superóxido dismutasa
30	B galactosidasa
	Ureasa

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 337 147 T3

	Ácido láctico oxigenasa
5	Inositol oxigenasa
	Lisina oxigenasa
	Pirocatecasa
10	3-hidroxiantranilato oxigenasa
	Triptofano oxigenasa
15	Homogentisato oxigenasa
	Formiato desoxigenasa/NADH
	Formiato desoxigenasa (citocromo)/ferritocitocromo b ₁
20	Monóxido de carbono- azul de metileno oxidoreductasa/azul de metileno
	Monóxido de carbono deshidrogenasa/viológeno de metilo
25	Nitratoreductasa (NADH)/NADH
	Nitratoreductasa NAD(P)H/(NAD(P)H)
	Nitratoreductasa NADPH/(NADPH)
30	Enzima formadora de superóxido/NADPH
	Nitritoreductasa (citocromo)/ferritocitocromo c
35	Ferredoxina-nitrat hidroxilamina reductasa / ferredoxina piocianina; flavinas de azul de metileno
	Óxido nítrico reductasa/piocianina
40	Nitrito reductasa/ piocoanina; flavinas
	Nitrito reductasa/viológeno bencílico
45	Sulfito reductasa (NADPH)/NADP
	Sulfito reductasa (ferredoxina)/ferredoxina
	Sulfito reductasa/viológeno de metilo
50	Adenil sulfata reductasa/ferrocitocromo
	Pseudomonas citocromo c oxidasa/ferrocitocromo
55	Nitrito reductasa/ferrocitocromo
	Metano monoxigenasa/NAD(P)H
	Nitrogenasa/ferredoxina + ATP
60	Carbamoil fosfato sintetasa/ATP

65

ES 2 337 147 T3

5.4 Desorción del componente gaseoso deseado desde la segunda fase en forma purificada

En una etapa de desorción, el componente aislado se elimina de la segunda fase volviendo a convertirlo en un gas, ahora de forma altamente purificada. La desorción del componente deseado de la segunda fase depende de las relaciones de varias propiedades físicas de la segunda fase y el componente. La desorción se puede facilitar, por ejemplo, mediante cambios en la presión, la temperatura, el pH u otros medios físicos o químicos que el componente extraído disocia del reactante químico, disociado desde un quelante o chaperona o ahora es menos soluble en el líquido o puede moverse hasta un estado de energía inferior.

5.5 Aparatos y reactores de la invención que utilizan hojas de membrana de partición dispuestas de una estructura apilada que tienen una membrana de conversión de fase entre las hojas de membrana de partición

En una realización, la invención está dirigida a un reactor de membrana de partición de hoja apilada, en el que las membranas de partición (p. ej., hojas de membrana de partición de fibra hueca) pueden estar dispuestas de forma apilada con una membrana de conversión de fase intercalada entre las hojas de membrana de partición. Así, en su forma más simple, el reactor comprende dos hojas de membrana de partición que tienen una membrana de conversión de fase entre ellas. Un separador de dimensiones conocidas proporciona la separación entre las hojas que define el espacio para contener la membrana de conversión de fase. Ese espacio puede ser de cualquier dimensión, siendo la única limitación que no debe permitir que la membrana de partición de alimentación y la membrana de partición de extracción estén en contacto entre sí en la disposición apilada, que el control se ejerce para la resistencia del fluido, y que el volumen total no sea tan elevado como para constituir una carga significativa. El objeto es conseguir el mínimo tiempo residente del componente gaseoso deseado en el reactor, pero que sea suficiente para maximizar el intercambio del componente gaseoso deseado por la membrana de conversión de fase. El grosor típico de la membrana de conversión de fase va desde aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 600 micrómetros, preferiblemente de aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 200 micrómetros.

En el diseño del reactor de la membrana de partición de hoja apilada, una o más hojas de membrana de partición servirán de entrada de gas, y la introducción por el lado del cilindro de la corriente gaseosa mixta y una o más de las hojas servirá de hoja de barrido para explorar el gas purificado. Pero se pueden utilizar múltiples hojas de membrana de partición y no es necesario que haya una relación 1:1 entre las hojas utilizadas como alimentación y las hojas utilizadas como barrido.

La relación del área de superficie total de cada hoja y la membrana de conversión de fase es una función de las velocidades relativas de absorción y desorción.

En una realización, la membrana de conversión de fase es estática. Si la membrana de conversión de fase es estática, el caudal de flujo de fluido es igual a cero, y la absorción del componente gaseoso deseado se basa en la difusión. El aumento del flujo de la membrana de conversión de fase tiene como resultado mejoras en la permeancia, en algunos casos, de más de 10 pliegues. En otra realización, la membrana de conversión de fase fluye entre las hojas para promover la distribución uniforme durante la operación. La membrana de conversión de fase puede estar dirigida entre las hojas de membrana de partición en cualquier dirección del plano de las hojas o perpendicular a las hojas. Por ejemplo, si la hoja de membrana de partición es una hoja de membrana de partición de fibra hueca, la dirección de flujo de la membrana de conversión de fase puede ser paralela a la hoja de fibras huecas u ortogonal a las mismas o en cualquier ángulo entre ellas. Así, el flujo de la membrana de conversión de fase puede ser en la dirección Z o las direcciones X' o Y' o cualquier ángulo intermedio. Si la membrana de conversión de fase fluye en la dirección Z, su eje será preferiblemente de aproximadamente 0° a aproximadamente 90°, aunque un ángulo preferido es de aproximadamente 67° relativo al eje Z.

En otra realización preferida, la membrana de conversión de fase fluye a una velocidad suficiente para proporcionar una mezcla turbulenta en las capas límite y la interfaz donde la membrana de conversión de fase entra en contacto con la corriente de gas. La velocidad preferida de la membrana de conversión de fase se toma en relación con la concentración alimentación-gas o presión parcial.

El concepto clave de reactores y aparatos de la invención es proporcionar un contacto y una mezcla efectivos de las corrientes de gas con la membrana de conversión de fase, preferiblemente, con control del grosor de la membrana de conversión de fase y, a continuación, si se desea, proporcionar un gas de barrido para transferir la corriente gaseosa mixta desde la membrana de partición de alimentación a la membrana de conversión de fase y después desde la membrana de conversión de fase hasta la membrana de partición de barrido.

Las direcciones de flujo de corrientes de gas no son críticas pero están dirigidas por una compensación entre la geometría preferida y la eficiencia de extracción. Las consideraciones económicas y de fabricación tendrán un papel importante en la decisión de compensación. Por ejemplo, se puede utilizar una corriente cruzada tanto en la membrana de partición de alimentación como en la membrana de partición de barrido, y la membrana de conversión de fase puede confundirse para que fluya por la cubierta muchas veces.

La separación también se puede mejorar ajustando las condiciones de la concentración del catalizador, el efecto salino, la selección del tampón, el control del pH, la temperatura y el grosor de la membrana.

Preferiblemente, cuando las hojas de membrana de partición son hojas de membrana de partición de fibra hueca, las hojas se apilan de tal modo que la dirección de las fibras huecas en una hoja se mueve en ángulos rectos a las fibras huecas en la hoja adyacente. Sin embargo, se aceptan otros ángulos, por ejemplo, el ángulo relativo puede ir desde aproximadamente 0° (indicado como X-X) a aproximadamente 90° (indicado como X-Y).

En los reactores de membrana de partición de manguito apilado, cuando hay dos hojas de membrana de partición de fibra hueca, se pueden construir las siguientes disposiciones de hoja: X-X'-X'' para la membrana de alimentación, barrido y conversión de fase, respectivamente, todas organizadas paralelas entre sí. otras geometrías incluyen X-Y-X', X-Y-Y' y X-Y-Z. Los expertos en la materia pueden configurar otras relaciones.

Una ventaja principal en estos diseños diferentes, pero más obviamente cuando se utilizan reactores de membrana de partición de hoja apilada, y especialmente cuando las hojas de membrana de partición de fibra hueca están dispuestas en un diseño X-Y-Z, es que cada parámetro de sistema puede alterarse de forma relativamente independiente a cualquier otro parámetro de sistema. Ejemplos de parámetros controlables independientemente incluyen el área de superficie de membrana de alimentación, la velocidad del flujo de gas de alimentación, la velocidad de flujo de membrana de conversión de líquido, el grosor de la membrana de conversión de líquido, el diámetro interior de fibra de alimentación o división, el pH o la temperatura local, la superficie de distribución del catalizador.

Descripción de las figuras

La figura 1 muestra un reactor de membrana de partición de pila apilada que ejemplifica la invención para la purificación de una corriente de componente gaseoso mixto. La envoltura 1300 contiene el ensamblado en el que entra el gas de alimentación a través del puerto de entrada 1370 y hacia dentro de la cámara de alimentación 1360 para permitir que el gas de alimentación acceda al lado del diámetro de la hoja de membrana de partición de fibra hueca 30b. La hoja de alimentación de membrana de partición de fibra hueca 30B incluye una red de fibras huecas 10B. La red de fibras huecas 10B está envuelta a modo de haz utilizando la fibra 10C. El gas de alimentación pasa por los diámetros de la membrana de partición 30B a lo largo de la que se extrae el gas en cuestión dentro de la membrana de conversión de líquido que cubre los separadores 1310. Los componentes no extraídos del gas de alimentación, ahora denominados gas retenido, pasa por dentro de las fibras de alimentación huecas 10B y por fuera del lado del cilindro hacia dentro de la cámara de retención 1320 para pasar fuera de la cubierta 1300 donde son recogidos mediante la salida de retenido 1330.

Preferiblemente, las hojas de membrana de partición de fibra hueca están construidas a partir de membranas de polipropileno microporosas hidrófobas, 300 micrómetros OD y 240 micrómetros ID, por ejemplo, redes de fibras huecas Celgard X30-240, disponibles en el mercado.

El componente deseado del gas de alimentación, o permeado, pasa a través del lado de la cuba de las fibras de alimentación huecas 10B y hacia dentro de la membrana de conversión de fase. El separador 1310 circundante de la membrana de conversión de fase 2000 entra en la carcasa 1300 mediante la entrada de la membrana de conversión 1380 y sale por la salida de la membrana de conversión de fase 1390. El permeado parcialmente purificado pasa a través de la membrana de conversión de fase 2000, experimentando así una purificación adicional.

El gas permeado que pasa por la membrana de conversión de fase 2000 pasa a continuación por el lado de recubrimiento de la hoja de división de la membrana de partición de fibra hueca 30A. La hoja de división de membrana de partición de fibra hueca 30A incluye una red de división de fibras huecas 10A. Para facilitar el paso del gas deseado dentro de las fibras de división huecas 10A, un gas de extracción entra dentro de la cámara de extracción 1340 por medio de la entrada de extracción 1345. La cámara de extracción 1340 pasa a continuación por el gas de extracción dentro de la red de fibras de división huecas 10A. Este gas de extracción sirve para extraer el gas permeado dentro de las fibras de extracción huecas 10A hacia dentro del cámara de permeado 1400 para salir por el puerto de permeado 1350.

En la figura 2A, la hoja de membrana de partición de fibra hueca 30 tiene una red substancialmente plana de fibras huecas 10 envueltas a modo de haz utilizando la fibra 10C. En otra realización, las fibras huecas 10 están organizadas en una red enrollada en espiral, como se muestra en las figuras. 6, 7 y 9.

En referencia a la figura 2, el gas de alimentación entra en el lado del cilindro de la hoja de alimentación 30B por el extremo de la fibra de alimentación 61 con un componente seleccionado del gas de alimentación pasando por el lado de la cubierta de la hoja de alimentación 30B. El gas de retención pobre, los componentes no deseados de la corriente de componente gaseoso mixto, sale de la hoja de alimentación 30B en el extremo de fibra de alimentación 62. El gas de extracción entra en la hoja de extracción 30A a través del extremo de fibra de extracción 63 y sale como permeado por el extremo de fibra de extracción 64. En otra realización, se puede utilizar un vacío en lugar de o, además de, el gas de extracción para facilitar el movimiento del permeado.

La membrana de conversión de fase 2000 es una estructura de tipo hoja posicionada entre los lados opuestos de la cubierta de la hoja de extracción 30A y la hoja de alimentación 30B. La membrana de conversión de fase 2000 es una membrana de tipo acuoso que puede fluir en una dirección de corriente paralela 51 (nota: la punta grande de la flecha en las figuras indica la dirección), dirección contracorriente 52, dirección de corriente cruzada 53 o una dirección ortogonal 54 relativa al flujo de la corriente del componente gaseoso mixto 61.

ES 2 337 147 T3

Las fibras de extracción huecas 10A y las fibras de alimentación huecas 10B pueden tener una orientación relativa en un rango desde aproximadamente 0° a aproximadamente 90°. El espacio entre las fibras de extracción huecas 10A y las fibras de alimentación huecas 10B puede tener un rango desde aproximadamente cero (en el que las fibras 10C utilizadas para anudar las fibras huecas 10 sirven de separador) hasta aproximadamente 1 mm. Preferiblemente, el espacio es uniforme. La separación establece el grosor de la membrana de conversión de fase 2000 y es imprescindible para una separación uniforme entre las fibras huecas 10. La separación se pueden obtener con cualquier material adecuado. Alguien con conocimientos en la técnica puede determinar fácilmente el material de separación apropiado basándose en la composición química de la membrana de conversión de fase 2000. Por ejemplo, un material separador adecuado puede incluir, pero no está limitado a, capas y tejidos adhesivos. Preferiblemente, el material separador es celulosa cuando hay proteínas u otros componentes orgánicos en la membrana de conversión de fase. En otro aspecto, la membrana de separación de fase puede estar hecha de un polímero conductor sensible al voltaje o revestida de un conductor como un metal o una resina de intercambio iónico que puede permitir que especies concretas de iones penetren, pero que rechace las especies no ionizadas o que se podrían utilizar para alterar el pH local.

La figura 2B muestra una hoja de extracción 30A y una hoja de alimentación 30B en disposición paralela 35, en la que las fibras de extracción huecas 10A de la hoja de extracción 30A son paralelas a las fibras de alimentación huecas 10B de la hoja de extracción 30B. Alternativamente, en la figura 2C la hoja de extracción 30A y la hoja de alimentación 30B pueden ensamblarse en una disposición ortogonal 37, en la que las fibras de extracción huecas 10A son ortogonales de forma relativa a las fibras de alimentación huecas 10B.

En la figura 2, el flujo de la membrana de conversión de fase 2000 se muestra en orientaciones en los planos X, Y o Z con ángulos 0° y 90° mediante 51, 52, 53 y 54. Se contempla que pueden aceptarse otros ángulos. Cuando el flujo está fuera del plano de las fibras, es decir, en dirección 54 de la orientación del flujo de la membrana de conversión de fase, va de >0° a 90°, preferiblemente el ángulo para el eje Z es de aproximadamente 67°. Preferiblemente, la membrana de conversión de fase tiene la velocidad de flujo de un rango de 0, es decir, una separación basada en difusión, hasta 1200 ml/min. Preferiblemente, la velocidad de flujo de la membrana de conversión de fase tiene una velocidad de aproximadamente 150 ml/min.

Como se muestra en la figura 2 y en referencia a las figuras 1, 2, 3, 4, 8, 9 tanto el diseño paralelo como el ortogonal permiten la introducción de un número primo de fibras huecas para la alimentación 30B y la extracción 30A para compensar estas diferencias aumentando el área de superficie de forma concordante. Además, es posible utilizar fibras huecas de diferente diámetro para acomodar diferentes velocidades de flujo.

El diseño ortogonal ofrece otra mejora más. La membrana de conversión de fase 2000 que fluye en ángulos rectos hasta las fibras huecas se extrae de la alimentación 30B y lo entrega a la extracción 30A en una distancia muy corta y, si el fluido no se ha cargado completamente, no permite que se derrame a las fibras huecas adyacentes. Así, si las fibras huecas de alimentación 30B son relativamente largas y las fibras huecas de extracción 30A son relativamente cortas, aunque mayores en número o en área de superficie disponible, el sistema actúa como si cada longitud unitaria a lo largo de la fibra de alimentación 30B se esté extrayendo, como si estuviera controlada por las velocidades de flujo relativas y las áreas de superficie relativas. Así, a diferencia de la situación tradicional con flujo paralelo a la corriente o contracorriente, este sistema sobrepasa fácilmente la extracción de concentración principal lograda con estas otras aproximaciones.

La figura 3A describe una fibra de alimentación hueca 10B con una relación de fibra de extracción hueca 10A de 1:1. La figura 3B muestra una fibra de alimentación hueca 10B con una relación de fibra de extracción hueca 10A de 1:2. Preferiblemente, la relación de las fibras de alimentación huecas 10B con las fibras de extracción huecas 10A puede estar en un rango de aproximadamente 1:5 a aproximadamente 5:1, según la velocidad relativa de la absorción relativa a la desorción. El separador 115 mantiene las fibras de extracción huecas 10A y las fibras de alimentación huecas 10B apartadas en una distancia uniforme.

La figura 4 muestra una envoltura 200 que contiene una hoja de membrana de partición de fibra hueca 30 que comprende una red concéntrica de fibras huecas 210 y 220. La envoltura 200 sirve de cámara para la corriente de componente gaseoso mixto, o gas de alimentación. El gas de alimentación entra por el puerto 240 y pasa por el lado de la cuba de la fibra hueca exterior 210. La membrana de conversión de fase 2000 se contiene en el lado del diámetro en la fibra hueca exterior 210 y el lado del recubrimiento en la fibra hueca interna 220. El componente de gas deseado, o permeado, pasa por la membrana de conversión de fase 2000 y hacia dentro de la fibra hueca interna 220. El permeado es extraído por el lado del cilindro de la fibra hueca interna 220. Preferiblemente, un gas de extracción o vacío se utiliza para mover el permeado hacia fuera de la fibra hueca interna 220. El retenido sale de la envoltura 200 por el puerto 250.

Las figuras 5A y 5B muestran un procedimiento para ensamblar bolsas de reactor de membrana 320 en un cuerpo reactor enrollado en espiral. En referencia a la figura 5A, una hoja de alimentación plana o una hoja de extracción plana está plegada y sellada para formar la bolsa reactor de membrana 320. La bolsa 320 está sellada alrededor de un puerto de entrada de fibra hueca parcialmente perforado 310 y un puerto de salida de fibra hueca parcialmente perforado 340. Preferiblemente, la hoja de alimentación y la hoja de extracción se mantienen separadas por medio de un separador 330. Preferiblemente, las perforaciones están limitadas a la porción del puerto de entrada de fibra hueca 310 y al puerto de salida de fibra hueca 340 incluido en la bolsa 320.

ES 2 337 147 T3

La figura 5B muestra un ensamblado de dos bolsas 315, 319 dispuestas alrededor de un material separador 317. Preferiblemente, el material separador 317 comprende una malla principal central. El gas de alimentación entra en el ensamblado mediante el puerto 360 y sale como retenido por el puerto 365. El gas de extracción entra por el puerto 350 y sale como permeado por el puerto 355. El puerto de entrada de tubo hueco 370 y el puerto de salida de tubo hueco 375 permiten la entrega y la recuperación de la membrana de conversión de fase 2000. Las fibras huecas se entregan a los dos extremos de la bolsa y están orientadas preferiblemente en direcciones opuestas. Así, una fibra hueca de gran cilindro sirve de conducto para la alimentación, mientras que en el extremo opuesto la otra fibra hueca de gran cilindro sirve de conducto para el retenido. La bolsa 320 puede mantenerse apartada mediante la membrana de conversión de fase 330.

Las bolsas 315, 319 pueden disponerse y girarse para que formen una red enrollada en espiral, análoga a la red de fibra hueca mostrada en la figura 1. Además, es posible utilizar mallas de fibra hueca de forma similar pero provistas en los grupos de tubos que ahora salen por las hojas de tubos para permitir el acceso independiente a las fibras de alimentación y extracción y a la membrana de conversión de fase como se muestra en la figura 8. La bolsa de reactor de gas de alimentación 320 es adyacente al espacio de membrana de conversión de fase 317.

La figura 6 proporciona un extremo en vista superior del manguito de la membrana enrollada en espiral para la alimentación/retenido 315, mientras que la extracción/permeado 319 se separan mediante un separador 317 como sea necesario. En esta realización, la membrana de conversión de fase 2000 es suministrada mediante un tubo perforado central 395 de modo que fluye radialmente para ser capturado en el margen lateral donde sale por un puerto en el tapón final. Se puede utilizar una estructura similar para fibras huecas excepto en que hay dos hojas tubo 18, 19, como se muestra en la figura 8, en cada extremo para permitir el acceso independiente a las fibras de alimentación y extracción 12, 15. Como se ilustra en la figura 6, también es posible tener el flujo de la membrana de conversión de fase en la dirección axial desde un puerto en la cubierta superior hasta un puerto en la cubierta inferior.

La figura 7 muestra cubiertas 367 y tapones finales 362, 364 para alojar el cuerpo reactor enrollado en espiral mostrado en las figuras 5A, 5B y 6. En referencia a la figura 7, la cubierta 367 comprende un tubo rebordeado 361 y cada extremo de la cubierta está tapado con tapones finales planos 362, 264 o alternativamente 363, 365. Cada tapón final plano está sellado con una junta tórica 366 y perforado para aceptar conectores férula 368 para permitir la entrada y la salida del puerto de alimentación 360, el puerto de retenido 365, el puerto de extracción 350, el permeado 355, el puerto de suministro de membrana de conversión de fase 370 y el puerto de recuperación de membrana de conversión de fase 375. En una realización, la membrana de conversión de fase es suministrada mediante uno de los puertos indicados 368 en el tapón final superior 557. El tubo 16 de la figura 8 sale mediante uno de los puertos indicados 368 en el tapón final inferior 559.

En estos diseños, la membrana de conversión de fase fluye en forma de espiral si se utilizan membranas de tipo bolsa o si radialmente se utilizan fibras huecas. En la realización de fibras huecas, la membrana de conversión de fase puede recogerse en la periferia del cámara, 12 en la figura 8. En otra realización, una tubería perforada de gran cilindro suministra la membrana de conversión de fase 2000 a través del puerto 369 del tapón final plano superior 558, y sale por el puerto 369 del tapón final plano inferior 556. Según esta realización, la membrana de conversión de fase 2000 se mueve axialmente de forma relativa a la carcasa 367.

La figura 8 muestra otra realización que proporciona una cuba 13 con una cámara 12, una entrada de alimentación 14 y una salida de retenido 15. La figura 8B muestra una vista interior de la cuba 13 que tiene fibras de alimentación huecas verticales 19 y un tubo de entrada de membrana de conversión de fase poroso 16 atravesado por fibras de extracción huecas horizontales 18. Las fibras de extracción huecas horizontales 18 y las fibras de alimentación huecas verticales 19 están dentro de la cuba 13. La membrana de partición 20 acepta fibras de alimentación huecas 19 que se mueven radialmente. Las fibras de extracción huecas horizontales 18 se mueven en la dirección ortogonal y salen de la cuba 13 por la cámara 12.

En la operación, el gas de alimentación entra en la cuba 13 por la entrada de alimentación 14 y es alimentado a las fibras de alimentación 19 a través de la hoja de tubo superior 20A. Las fibras de alimentación axiales 19 se reúnen en un haz y se sellan en el puerto de entrada 14 y los extremos opuestos están unidos en forma de haz y sellados dentro de la salida del retenido 15. El gas retenido baja por la fibra de alimentación 19 hacia dentro de la hoja tubo inferior 20B y hacia fuera por la salida del retenido 15. El gas deseado parcialmente purificado pasa por el lado de cuba de las fibras de alimentación 19 dentro de los poros del tubo de entrada de membrana de conversión de fase 16. La membrana de conversión de fase 2000 también purifica el gas permeado parcialmente purificado estando el permeado resultante extraído a través de y hacia fuera de las fibras de extracción huecas 18.

Las fibras de extracción horizontales 18 pasan hacia fuera a través de la cámara 12. Una segunda cámara localizada en el lado opuesto del revestimiento 13 permite la entrada de fibras de extracción horizontales 18 donde las fibras de extracción se recogen en un haz y se sellan en una línea de suministro de fluido. El haz y el sellado de fibras huecas es conocido en la técnica y se describe en la patente de Estados Unidos nº 6.253.097, publicada por Jenvols y col.

La figura 9 ilustra la primera etapa del ensamblado de un reactor de fibra hueca mostrado en la figura 8B. Las fibras de alimentación 10B se mueven axialmente mientras que las fibras de extracción 10A se mueven circunferencialmente. Estas mallas están separadas por un separador 115 en el que fluye la membrana de conversión de fase. Estas mallas se enrollan alrededor de un tubo perforado de distribución de membrana de conversión de fase central 16.

ES 2 337 147 T3

La figura 10 muestra una realización ilustrativa que no está dentro de la realización como se reivindica, en la que el gas y la fase de membrana de conversión de fase asociados a la membrana de conversión de fase se mantienen separados por medio de la tensión superficial. La superficie superior e inferior 420 se listan alternativamente con material hidrófilo y hidrófobo como describe Zhao y col. 291 SCIENCE 1023-1026 (2001),

Preferiblemente, las superficies superior e inferior 420, están separadas a una distancia de menos de aproximadamente 2 mm. Cuando la membrana de conversión de fase 430 se añade en el espacio entre las superficies superior e inferior 420, forma una serie de líneas estriadas a lo largo de las bandas hidrófilas existentes 410. Si la presión transversal no es suficiente para destruir la membrana de conversión de fase, separa eficazmente las zonas vacías adyacentes 440, 450, que pueden recibir gases como el gas de alimentación y el gas de extracción o suministrar permeado. El gas suministrado en la alimentación se partirá en la membrana de conversión de fase mediante procesos de absorción física y química. De forma similar, un gas o sus equivalente químicos se partirán en la fase de extracción en base a tales fuerzas motrices como presión parcial, temperatura y otras fuerzas físicas. También es posible llenar el espacio entre dos películas de membrana de conversión de fase adyacentes con un fluido hidrófobo dentro del cual los gases, compuestos o especies iónicas se partirán. Es posible causar que la membrana de conversión de fase fluya mediante presión, o gradientes de temperatura, como describe S. Troian y col. 15 PATTERNED SURFACES, PHYS. FLUIDS 1295 (2003), o medios electroquímicos. Además, es posible impartir una velocidad suficiente a las corrientes de gas para proporcionar una modesta turbulencia en la interfaz de membrana de conversión de fase de gas, facilitando así la absorción.

En otra realización, es posible utilizar el material de listado hidrófilo para conducir electricidad por el mismo impartiendo polaridad a la membrana de conversión de fase. También es posible delimitar los límites hidrófilos y hidrófobos por medio de conductores eléctricos perforados que se mueven perpendiculares a las superficies límite. Por tanto, esto permite que una corriente cruce la película de membrana de conversión de fase desde una interfaz de gas a la otra. En estas realizaciones, como era el caso de las realizaciones delimitadas por la fase de membrana descritas anteriormente, el funcionamiento operacional es que un material se selecciona del suministro de alimentación y entra selectivamente en la membrana de conversión de fase, por medio de absorción física, absorción química o absorción química facilitada y después sale de la cara opuesta de la membrana de conversión de fase dentro del gas de extracción o fase de recogida, que puede ser un vacío como el permeado. Por tanto, la membrana de conversión de fase actúa para extraer selectivamente un material de una mezcla suministrada al lado de alimentación y enriquecerlo en el lado de permeado o extracción.

Se pueden organizar incluso otros diseños sin membrana dentro de un reactor completo donde se produce separación y enriquecimiento en un solo alojamiento o diseños absorbente-extractor donde la separación y el enriquecimiento se producen en dos alojamientos diferentes. Cada una de estas aproximaciones se puede incorporar en diseños rectilíneos o cilíndricos como se describe a continuación.

La figura 11 muestra un absorbente sin membrana rectilíneo fuera del ámbito de la invención como se reivindica. La cuba 700 contiene conjuntos de cámaras de alimentación 730 y cámaras de retenidos 735 para proporcionar y recibir, respectivamente, el gas de alimentación 750. También contiene grupos de cámaras de alimentación de fluido pobre 725 y cámaras de recogida 720. La membrana de conversión de fase 740 está soportada en una superficie fina 710 que puede ser eléctricamente conductora. Tales soportes pueden tener una naturaleza hidrófila o hidrófoba. La membrana de conversión de fase enriquecida desde el absorbente es transportada mediante tubos a una banda diseñada de forma similar donde el fluido de extracción extrae el material separado que tiene una corriente altamente enriquecida. El componente de banda parece idéntico y funciona de forma similar excepto en que el gas de extracción puede ser vapor de agua y puede ser ayudado mediante la utilización de un vacío suave. La membrana de conversión de fase también puede ser guiada por una serie de filamentos en el lugar de la superficie de soporte 740. En este diseño, tanto el gas como el líquido son bombeados, aunque es probable que el aparato esté dispuesto de tal forma que la gravedad actúe sobre el líquido permitiendo que caiga uniformemente. Esta realización se muestra en la figura 12.

La figura 12 ilustra un absorbente fuera de la invención como se reivindica y contenido en una cuba 1500 donde la membrana de conversión de fase 1540 dispensada desde el cámara 1520 cae a lo largo de la pared 1570 para ser recogida por la cámara 1560. La pared 1570 puede ser eléctricamente conductora. También puede ser filamentosa en vez de sólida. El gas de extracción o alimentación (en el modo separación) 1530 se proporciona mediante la cámara 1550 y es recogido como retenido (o permeado) en la cámara 1510. Este diseño tiene la ventaja de proporcionar una interfaz de contacto gas-líquido máxima, utiliza la gravedad como vehículo de distribución y permite una extracción más rápida del gas seleccionado de la corriente gaseosa mixta 1530.

La figura 13 ilustra un reactor sin membrana rectilíneo fuera de la invención como se reivindica y en el que la superficie de soporte fina de la figura 11 se reemplaza por una serie de filamentos (ubicados dentro de la película de membrana de conversión de fase 840) o, en otra realización, no tiene soporte físico, es decir, el flujo plano, no es soportado y es recogido antes de que se convierta en gotas o cree áreas de densidad finales. Esto es particularmente beneficioso cuando se utiliza facilitación química, si el tiempo de reacción es muy corto, permitiendo así un tiempo de contacto solo suficiente para producir la reacción deseada y para cargar el volumen de fluido a la concentración máxima deseada. En estas dos realizaciones, los gases de alimentación 850 y extracción 870 se suministran en ambas superficies para ayudar a soportar la membrana de conversión de fase 840. En los lados laterales del marco 800 hay canales para ayudar a guiar la membrana de conversión de fase que fluye. Las distintas regiones están separadas por una película 812. 830 es la alimentación de gas enriquecido, 850 la corriente de gas enriquecido, 895 la captura del

retenido, 825 la alimentación de membrana de conversión de fase pobre, 840 el fluido de membrana de conversión de fase, 820 la captación de la membrana de conversión de fase, 860 el suministro de extracción, 870 la corriente de extracción, 880 la captación del permeado y 800 el marco exterior. En este diseño, tanto el gas como el líquido son bombeados, aunque es probable que el aparato esté dispuesto de tal forma que la gravedad actúe sobre el líquido permitiendo que caiga uniformemente.

La figura 14 ilustra un absorbente sin membrana fuera de la invención como se reivindica ubicado en un marco 900 en el que la membrana de conversión de fase 955 se dispensa mediante un tubo hueco concéntrico giratorio, ubicado centralmente, y está soportada en una película fina 950. La parte principal consiste en dos tubos concéntricos 910, 920, cada uno con orificios 940, 960 que alcanzan la superficie sin mezclarse con los fluidos derivados de cualquier otro tubo concéntrico. En el perímetro del alojamiento se encuentran dos cámaras cilíndricamente orientadas 930, 970. Una es para el suministro de gas, alimentación o extracción, bajo presión. La otra es para la recogida de la membrana de conversión de fase emitida por la parte central del tubo hueco giratorio. La porción de separación del dispositivo conjunto sería similar. En este diseño, a diferencia de la figura 11, la fuerza centrífuga dirige la distribución de fluido. La distribución de gas también se suministra mediante una bomba. La descripción se refiere aquí a redes circulares planas. Los gases pueden fluir en la dirección opuesta para proporcionar una disposición paralela a la corriente.

La figura 15 muestra un reactor sin membrana fuera de la invención como se reivindica en el que la membrana de conversión de fase se dispensa mediante un tubo hueco concéntrico localizado centralmente y está soportada sobre filamentos finos o no está soportada. En este diseño, a diferencia de la figura 12, la fuerza centrífuga dirige la distribución de fluido. La distribución de gas puede suministrarse mediante una bomba o centrífugamente. Esta realización utiliza un cuerpo 100 que contiene tres tubos principales concéntricos 1010, 1020, 1030 para la alimentación, membrana de conversión de fase y extracción o retenido, membrana de conversión de fase y permeado o cualquier otra combinación u orden. Cada tubo tiene orificios rectilíneos que alcanzan la superficie sin mezclarse con los fluidos derivados de cualquier otro tubo concéntrico 1070, 1080, 1090. En el perímetro hay tres cámaras apiladas 1040, 1050, 1060. En un modo contracorriente, la parte más superior 1040 suministra gas de alimentación que es capturado finalmente mediante los orificios 1070 llegando hasta el tubo principal del área más exterior y grande, convirtiéndose así en el tubo de retenido 1010. El tubo medio 1020 suministra la membrana de conversión de fase 2000 que se distribuye hacia el perímetro del revestimiento por medio de la rotación del tubo central. La membrana de conversión de fase se recoge a continuación en la cámara perimétrica 1050- la tercera cámara perimétrica 1060 proporciona el fluido de extracción que, a su vez, es recogido en la parte central de los tubos concéntricos 1030 mediante orificios de penetración no comunicadores 1090. El orden de los tubos concéntricos y los fluidos suministrados puede alterarse como sea necesario y como se conoce en la técnica- en estos diseños, es posible que todos los fluidos salgan de los tres tubos huecos concéntricos en la parte central de este aparato. También es posible suministrar uno o más gases.

En otra realización, el reactor está configurado de tal modo que la extracción y el enriquecido se producen en la misma carcasa. La figura 11 muestra un diseño rectilíneo en la figura 11. en este caso, tres corrientes de fluido están en movimiento; alimentación, membrana de conversión de fase y extracción.

En otra realización, las fibras huecas emanan del tubo central o la cámara y la membrana de conversión de fase recibe así un soporte parcial. Debe indicarse que en lugar de cámaras para la recogida del fluido, especialmente la membrana de conversión de fase, se puede utilizar un tubo de Pitot u otra técnica aplicable.

En las realizaciones que no tienen ningún soporte físico para la membrana de separación de fase, las presiones de la transmembrana deben ser aproximadamente iguales para evitar roturas.

5.6 Acoplamiento de reactores

Además, se puede optimizar la química acuática a las necesidades específicas del protocolo de extracción. Así, es posible acoplar reactores de este tipo simplemente conectando las fibras huecas de alimentación mientras que las fibras huecas de extracción en cada módulo optimizado funcionan independientemente.

Finalmente, la única ventaja de este diseño es el desacoplamiento entre el número de fibras huecas, las áreas de superficie específicas, las velocidades de flujo para la membrana de alimentación, extracción y conversión de fase, la eficiencia de extracción local y las longitudes de las fibras.

También es posible concatenar tales diseños de modo que el retenido, el permeado o la membrana de conversión de fase contenida que han pasado por un reactor puedan transmitirse a un segundo sin propiedades operativas diferentes. Por ejemplo, si se desea limpiar gas sintetizado y eliminar dióxido de carbono y metano para obtener una corriente muy enriquecida en hidrógeno, podemos proceder como se indica a continuación: la corriente de alimentación de gas pasa primero por un reactor ortogonal X-Y-Z utilizando fibras huecas microporosas hidrófobas capaces de eliminar dióxido de carbono por medio de una membrana de conversión de fase contenida de sal, tampón y enzima (anhidrasa carbónica), después el retenido pasa por un segundo reactor que contiene fibras huecas microporosas hidrófilas y utiliza un solvente orgánico para retirar el metano. Se puede utilizar un diseño Kelvin en el que la membrana de conversión de fase de transferencia es capturada en poros en un soporte de polímero de 50 nm de diámetro o menos, estando el diámetro exacto determinado por la presión de vapor de la membrana de conversión de fase según la temperatura y presión operativas y las velocidades de flujo respectivas. El producto de este procesamiento conjunto es una corriente de hidrógeno casi puro.

ES 2 337 147 T3

Los ejemplos de procedimientos y resultados descritos en la sección ejemplos que sigue proporcionan una descripción más detallada de la invención para los técnicos especializados.

5 6. Ejemplos

Los procedimientos, aparatos y reactores arriba descritos se han utilizado para la extracción selectiva de gases, como dióxido de carbono, a partir de una variedad de corrientes de gas mixto, incluyendo aire, dióxido de carbono en oxígeno, gas respiratorio, gas de combustión, gas de vertedero y gas natural.

10 En una realización preferida, los procedimientos, aparatos y reactores de la invención pueden extraer dióxido de carbono de una variedad de corrientes de gas de alimentación. Por ejemplo, para una corriente de alimentación con 5% de dióxido de carbono, el permeado, libre de argón y vapor de agua libre de gas tiene un 95% de dióxido de carbono. De forma similar, para una alimentación del 10% el permeado es 96% y para una alimentación del 20% el permeado es 97% dióxido de carbono.

Estas diversas características y opciones proporcionan una nueva clase de reactor de membrana que, como se ha demostrado, presenta una permeancia sorprendentemente alta y también muestra una selectividad muy alta.

20 6.1 Ejemplo I

Un reactor según la invención se construyó con membranas de partición de fibra hueca de mallas de fibras huecas Celgard X30-240 con una relación de 1:1 de fibras huecas en la hoja de extracción con las fibras huecas en la hoja de alimentación. Las fibras huecas microporosas tienen un OD de 300 micrómetros y un ID de 240 micrómetros. La porosidad era del 40% y los poros tenían forma oval de 40 nm y 100 nm, respectivamente. Cada cm de anchura de la membrana de partición de fibra hueca contiene 20 fibras huecas.

30 Las membranas de partición de fibras huecas se separaron mediante material celulósico, una estopilla de algodón estructurada conocida como malla abierta disponible con diversos grosores, de 60 micrómetros a 200 micrómetros. Las membranas de partición de fibras huecas tienen una longitud operacional de 10 cm en cada dirección X y Y. Las membranas de partición de fibras huecas se dispusieron en un patrón X-Y y la membrana de conversión de fase se suministró en la dirección Z.

35 Las membranas de partición de fibras huecas se construyeron en capas sobre una junta de caucho, capas alternas de separador celulósico, membranas de partición de fibra huecas en la dirección X, separador celulósico, membranas de partición en la dirección Y, etc., culminando en otra junta de caucho.

40 Cada capa fue revestida en el borde con un epoxi de tal modo que las fibras huecas se extendían más allá del extremo de la carcasa. Tras el curado del epoxi, las fibras huecas que se extendían se cortaron con un borde afilado para dejar patente el lado del cilindro.

Otra junta de caucho permitió el montaje de un cámara en cada uno de los cuatro lados para permitir el acceso completo a los cilindros de cada una de las membranas de partición de fibras huecas en las direcciones X e Y.

45 Las membranas de partición de fibras huecas van desde una alimentación y una extracción hasta 10 múltiplos de las mismas. El área de superficie de cada membrana de partición de fibra hueca de alimentación y extracción era de 0,019 m². La sección transversal total de cada uno de los cilindros de grupo de tubos de fibras huecas era de 4,52E-8 m² para cada hoja. El volumen incorporado en el lado de extracción de la membrana de conversión de fase era de aproximadamente 100 ml.

50 El fluido de la membrana de conversión de fase fluía a una velocidad de entre 0 ml/min a 150 ml/min y el tiempo de residencia del fluido era de 40 segundos. La velocidad del flujo de gas de alimentación era de 400 a 1200 ml/min, La velocidad de flujo de gas lateral era de 400 a 1200 ml/min. La composición del gas de alimentación era aire libre de dióxido de carbono, seco al que se añadieron cantidades conocidas de dióxido de carbono, el aire y el dióxido de carbono se suministraron a un recipiente de mezcla mediante un controlador de flujo de masa computeriza de la marca Environics certificable de NIST.

60 La composición del gas de extracción iba de argón a vapor de agua, este último facilitado por un vacío suave aplicado en el puerto del permeado donde la presión de vacío era de 6 kPa abs. El gas que salió en las corrientes de retenido o permeado se midió por medio de un espectrómetro de gas residual analizador de masa de la marca ABB Extrel calibrado regularmente.

65 En un grupo de experimentos, utilizando un 1% de dióxido de carbono, la permeancia para una membrana de conversión de fase gruesa de 200 micrómetros fue de 3,80E-9 mol/m² s Pa cuando la membrana de conversión de fase era agua, 2,96E-9 mol/m² s Pa cuando se utilizaba un tampón de fosfato de 0, 2M en un pH 7.0 y 1,28E-8 ml/m² s Pa cuando era anhídrida carbónica, se añadió 133 micromolar al tampón 1 M NaHCO₃. La selectividad frente el nitrógeno era 200:1 y 100:1 frente al oxígeno para una membrana de conversión de fase que contenía anhídrida carbónica. Los

ES 2 337 147 T3

valores de permeancia comparable para una alimentación de dióxido de carbono del 10% era de $9,10E-9$ mol/m² s Pa. La selectividad vs nitrógeno era de 147:1 y 85:1 vs. Oxígeno. Para una alimentación de dióxido de carbono del 15% el valor de permeancia era de $8,69E-9$ mol/m² s Pa. La selectividad vs nitrógeno era de 131:1 y 78:1 vs. oxígeno.

5 6.2 Ejemplo 2

Este ejemplo es similar al ejemplo 1 excepto en que la relación de fibras huecas en la hoja de alimentación con las fibras huecas en la hoja de extracción era 1:2 en un ejemplo y 1:4 en otro. La separación de la membrana de partición de fibra hueca era de 0 micrómetros (sin material celulósico) a 600 micrómetros. El efecto de aumentar la relación de membrana de partición de fibra hueca fue imperceptible en términos de permeancia y selectividad. El efecto de aumentar el grosor del separador fue la disminución de la permeancia sin cambios en la selectividad.

15 Referencias citadas en la descripción

Esta lista de referencias citadas por el solicitante está prevista únicamente para ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto el máximo cuidado en su realización, no se pueden excluir errores u omisiones y la OEP declina cualquier responsabilidad al respecto.

20 Documentos de patente citados en la descripción

- US 6153097 A, Jensvold [0006] [0007] [0032] [0043]
- US 6143556 A [0012]
- US 5164081 A, R. Nichols [0007] [0035]
- US 4874401 A [0029]
- US 4761209 A, Bonaventura [0011]
- US 4961760 A [0039]
- US 4602987 A [0011]
- US 4955993 A [0042]
- US 3910780 A, Henley and Chang [0011]
- US 6253097 B Jensvold [0093]

Documentos no procedentes de patentes citados en la descripción

- A. S. **Michaels**. New Vistas For Membrane Technology. *CHEMTECH*, 1989, vol. 19, 160-172 [0004]
- R. E. **Babcock et al.** Natural Gas Cleanup: A Comparison of Membrane and Amine Treatment Processes. *ENERGY PROG.*, 1988, vol. 8, 135-142 [0004]
- R. W. **Spillman**. Economics of Gas Separation Membranes. *CHEM. ENGR. PROG.*, 1989, vol. 85, 41-62 [0004]
- R. E. **KESTING**. SYNTHETIC POLYMERIC MEMBRANES. 1985 [0030]
- SUN-TAK **HWANG**; KARL **KAMMERMEYER**. MEMBRANES IN SEPARATION, 1984 [0030]
- T. A. **Skotheim**. Handbook of Conducting Polymers. 1986 [0036]
- S. **Nishiyama**; A. **Goto**; K. **Saito**; K. **Sugita**; M. **Tamada**; T. **Sugo**; T. **Funami**; Y. **Goda**; S. **Fujimoto**. Concentration of 17-Estradiol Using an Immunoaffinity Porous Hollow-Fiber Membrane. *Anal. Chem.*, 2002, vol. 74 (19), 4933-4936 [0037]
- Eva M. **Wong et al.** Preparation of Quaternary Ammonium Organosilane Functionalized Mesoporous Thin Films. *LANGMUIR*, 2002, vol. 18, 972-974 [0038]
- W.J. **Koros**; G.K. **Fleming**. Membrane-based gas separation. *JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE*, 1993, vol. 83, 1-80 [0040]
- R. E. **KBSTTNG**. SYNTHETIC POLYMERIC MEMBRANES, 1985 [0049]
- SUN-TAK **HWANG**; KART **KAMMERMEYER**. MEMBRANES IN SEPARATION, 1984 [0049]
- G. **ASTARITA et al.** GAS TREATING WITH CHEMICAL SOLVENTS, 1993 [0055]
- S. **Troian et al.** PATTERNED SURFACES, *PHYS. FLUIDS*, 2003, vol. 15, 1295 [0095]

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para aislar un componente gaseoso de una corriente gaseosa mixta comprendiendo las etapas de:

5 proporcionar una hoja de alimentación de membrana de partición (30B), una hoja de barrido de membrana de partición (30A) y una membrana de fluido de conversión de fase (2000) comprendiendo un medio acuoso que contiene un catalizador enzimático, con la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) apilada sobre la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) y un espacio definido entre la hoja de alimentación de la membrana de partición (30B) y la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) y cuyo espacio incluye la membrana de fluido de conversión de fase (2000);

15 poner en contacto la corriente gaseosa mixta con la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) para separar dicho componente gaseoso de la corriente gaseosa mixta para producir un permeado que incluye el componente gaseoso;

20 convertir el permeado en una especie iónica soluble en el medio acuoso mediante conversión química utilizando dicha membrana fluida de conversión de fase (2000) y su catalizador para efectuar una segunda etapa de purificación y aislamiento del permeado de la corriente de gas mixto; y

25 liberar el componente gaseoso de la segunda etapa mediante una reconversión química y una desorción química, en la cual componente gaseoso se purifica.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) y la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) comprende uno de: un material poroso hidrófilo, un material poroso hidrófobo, un material poroso cerámico, un material poroso metálico sinterizado, nanotubos de carbono, polipropileno poroso, poliperfluoroetileno poroso, polímeros de hidrocarburo poroso, una poliamida porosa o un policarbonato poroso.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) y la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) comprenden una pluralidad de fibras huecas tejidas entre sí.

4. Procedimiento de la reivindicación 3, en el que las fibras huecas tienen un diámetro exterior del orden de aproximadamente 100 micrones a aproximadamente 400 micrones.

35 5. Procedimiento de la reivindicación 3, en el que las fibras huecas tienen un diámetro de cilindro del orden de aproximadamente 10 micrones a aproximadamente 300 micrones.

40 6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la enzima incluye anhidrasa carbónica.

7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la membrana de conversión de fase (2000) incluye agua.

8. Procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo además poner en contacto el componente gaseoso purificado con una segunda membrana de partición (30A).

45 9. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la hoja de alimentación de la membrana de partición (30B) incluye una pluralidad de fibras de alimentación huecas (10B) y la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) incluye una pluralidad de fibras de barrido huecas (10A), y en el que las fibras de alimentación huecas (10B) están orientadas en un ángulo de aproximadamente 90 grados relativo a una orientación de las fibras de barrido huecas (10A).

50 10. Aparato de separación de gas para aislar un componente gaseoso de una corriente gaseosa mixta y comprendiendo una hoja de alimentación de membrana de partición (30B), una hoja de barrido de membrana de partición (30A) y una membrana fluida de conversión de fase (2000) comprendiendo un medio acuoso que contiene un catalizador enzimático, con la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) apilada sobre la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) para definir un espacio entre la hoja de alimentación de la membrana de partición (30B) y la hoja de barrido de la membrana de partición (30A) y cuyo espacio incluye la membrana de fluido de conversión de fase (2000); estando la hoja de alimentación de membrana de partición (30B) dispuesta para entrar en contacto con dicha corriente gaseosa mixta y para separar el dicho componente gaseoso de la corriente gaseosa mixta para producir un permeado que incluye el componente gaseoso; estando la dicha membrana fluida de conversión de fase (2000) y su catalizador dispuestos para convertir el permeado en una especie iónica soluble en el medio acuoso para efectuar una segunda etapa de purificación y aislamiento del permeado de la corriente de gas mixto, y estando el aparato dispuesto para liberar el componente gaseoso de la segunda etapa mediante una reconversión química y una desorción química, en la cual componente gaseoso se purifica.

65

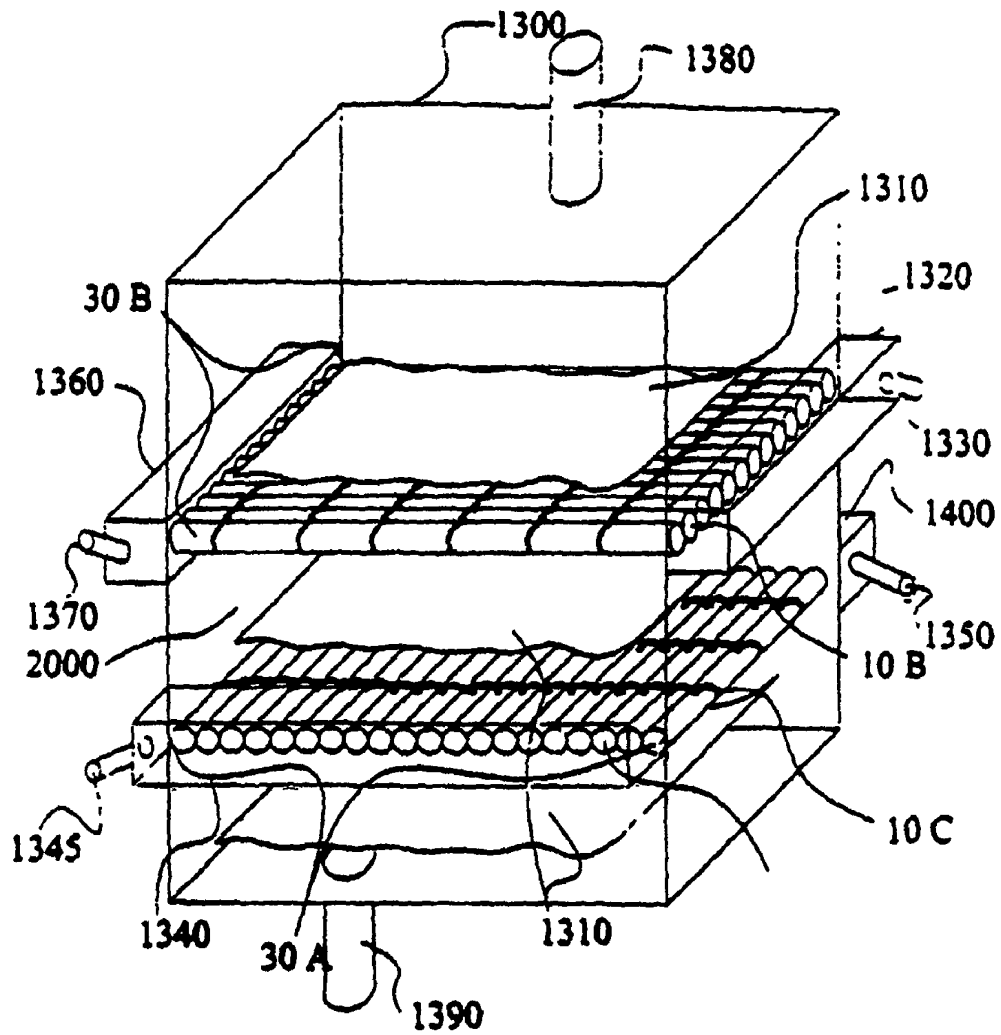


Fig. 1

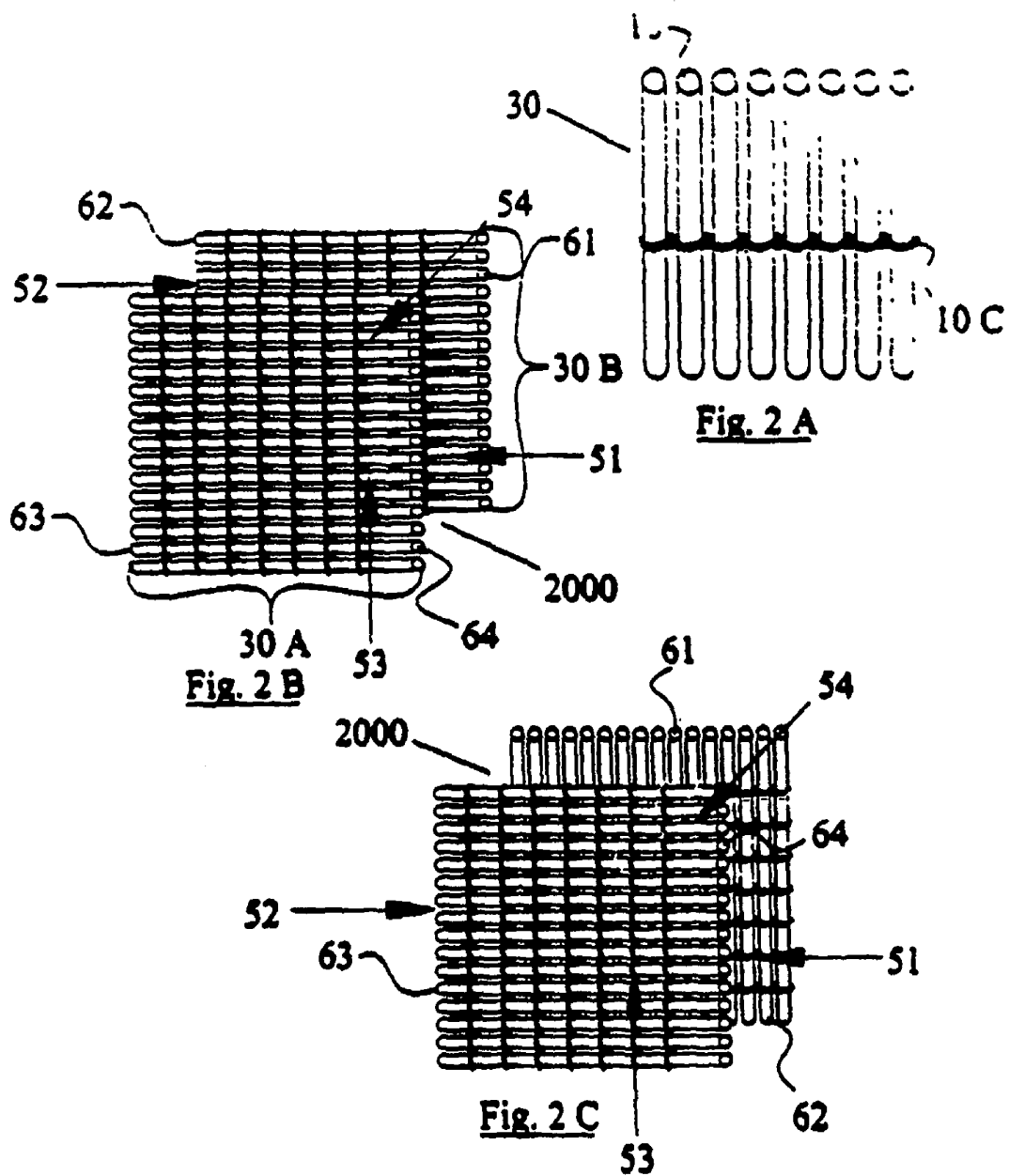


Fig. 2

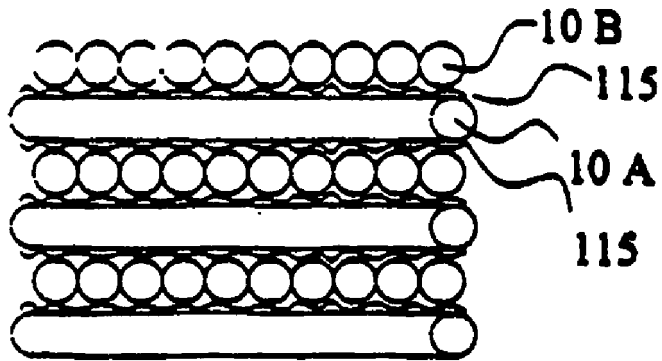


Fig. 3 A

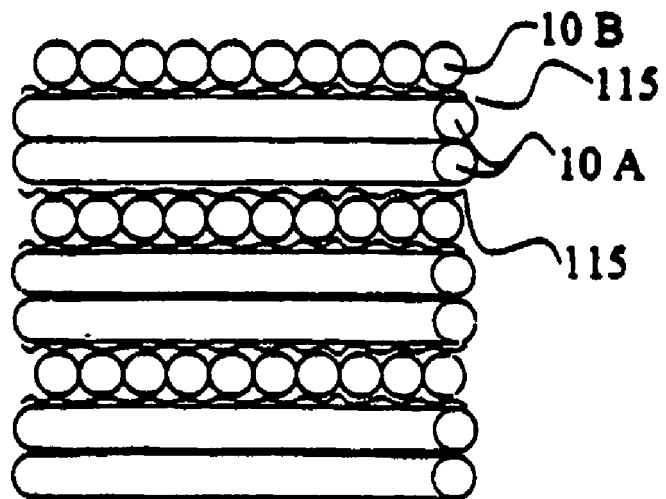


Fig. 3 B

Fig. 3

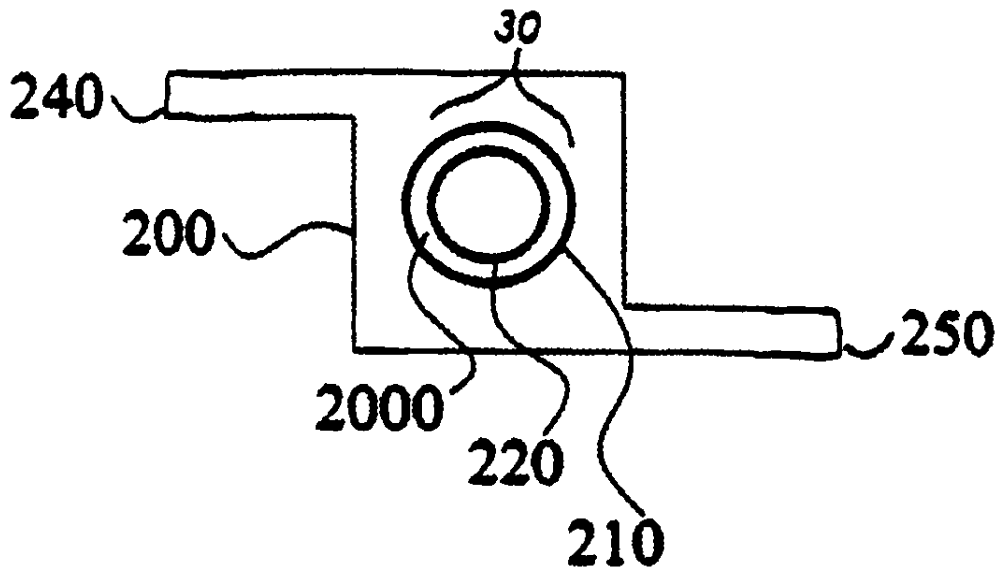


Fig. 4

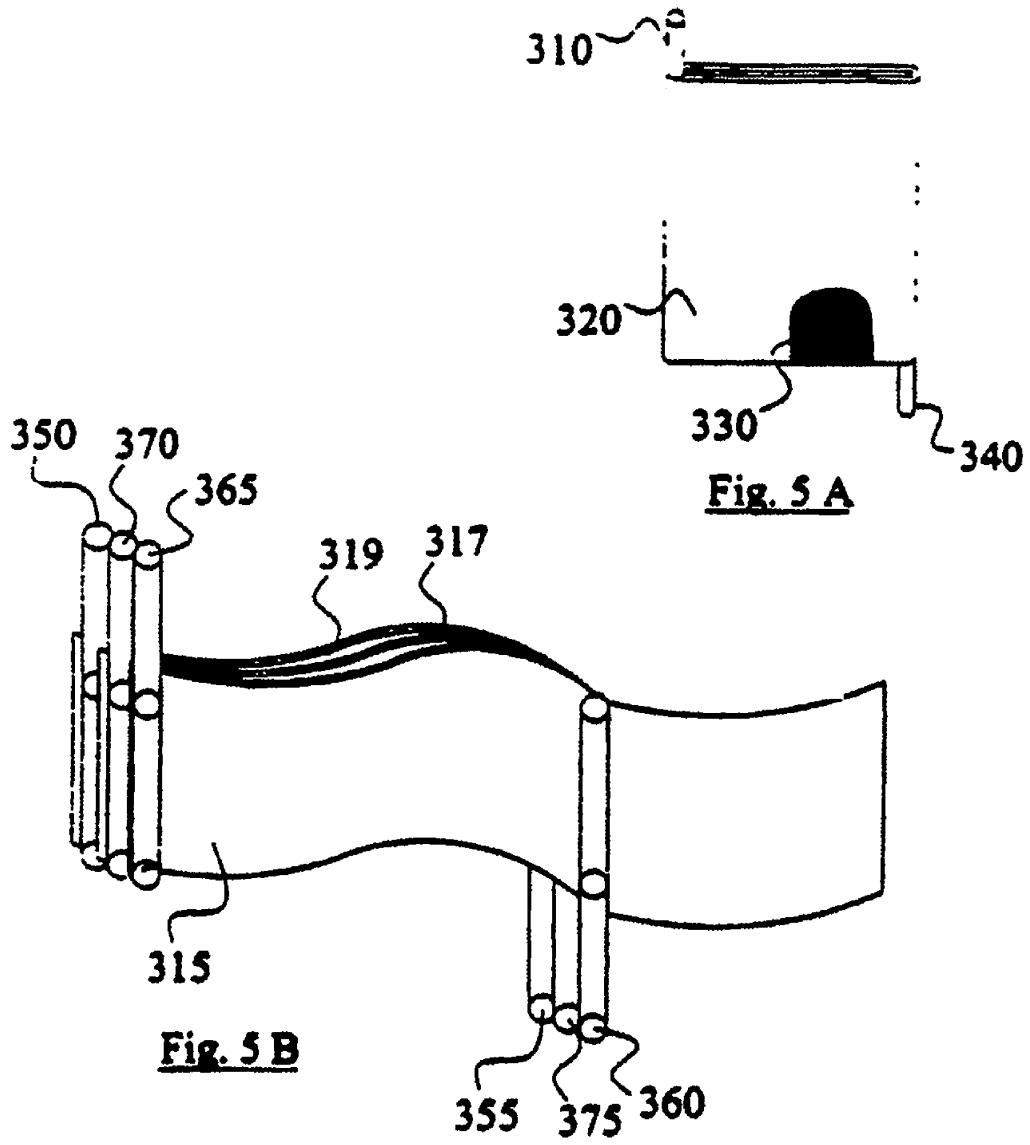
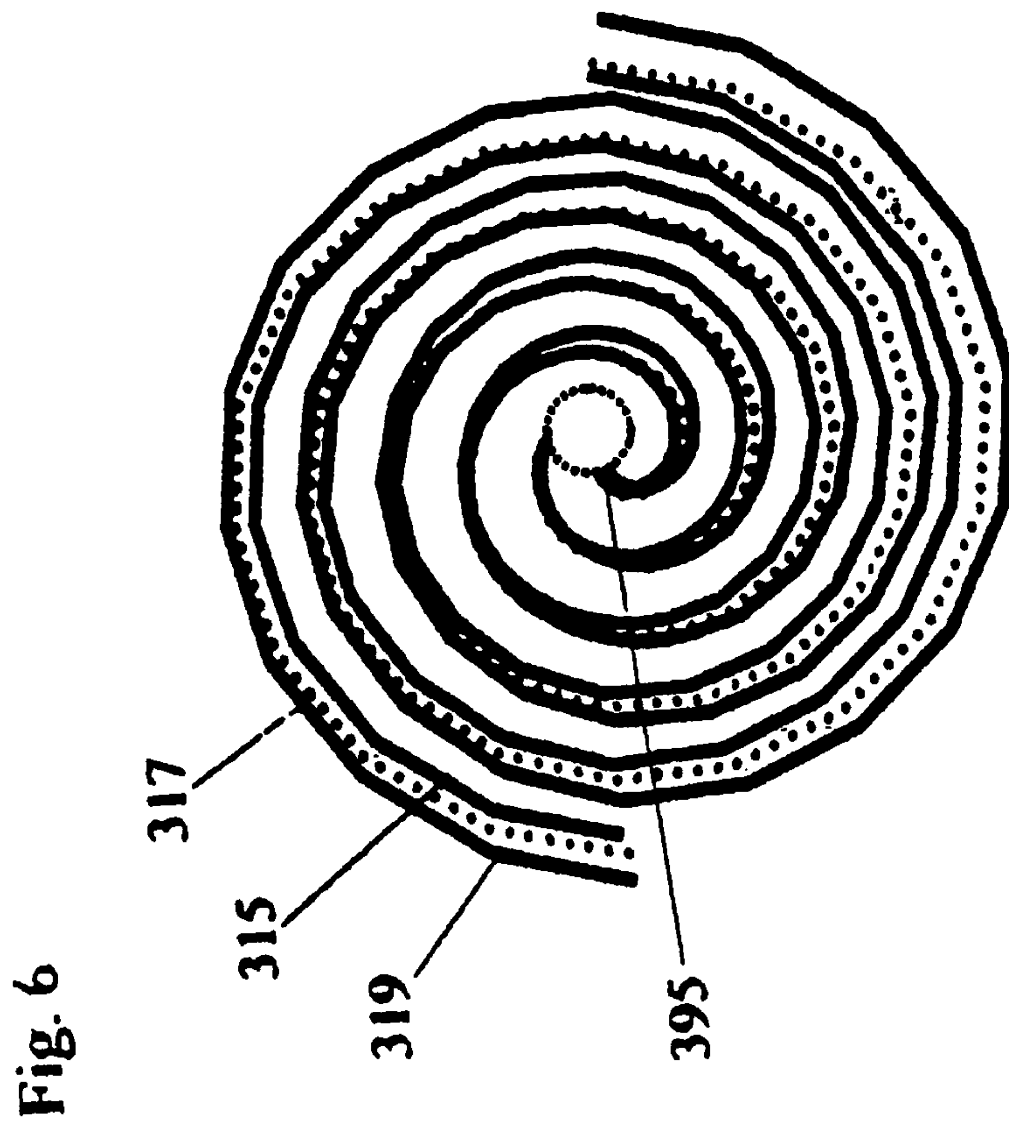


Fig. 5



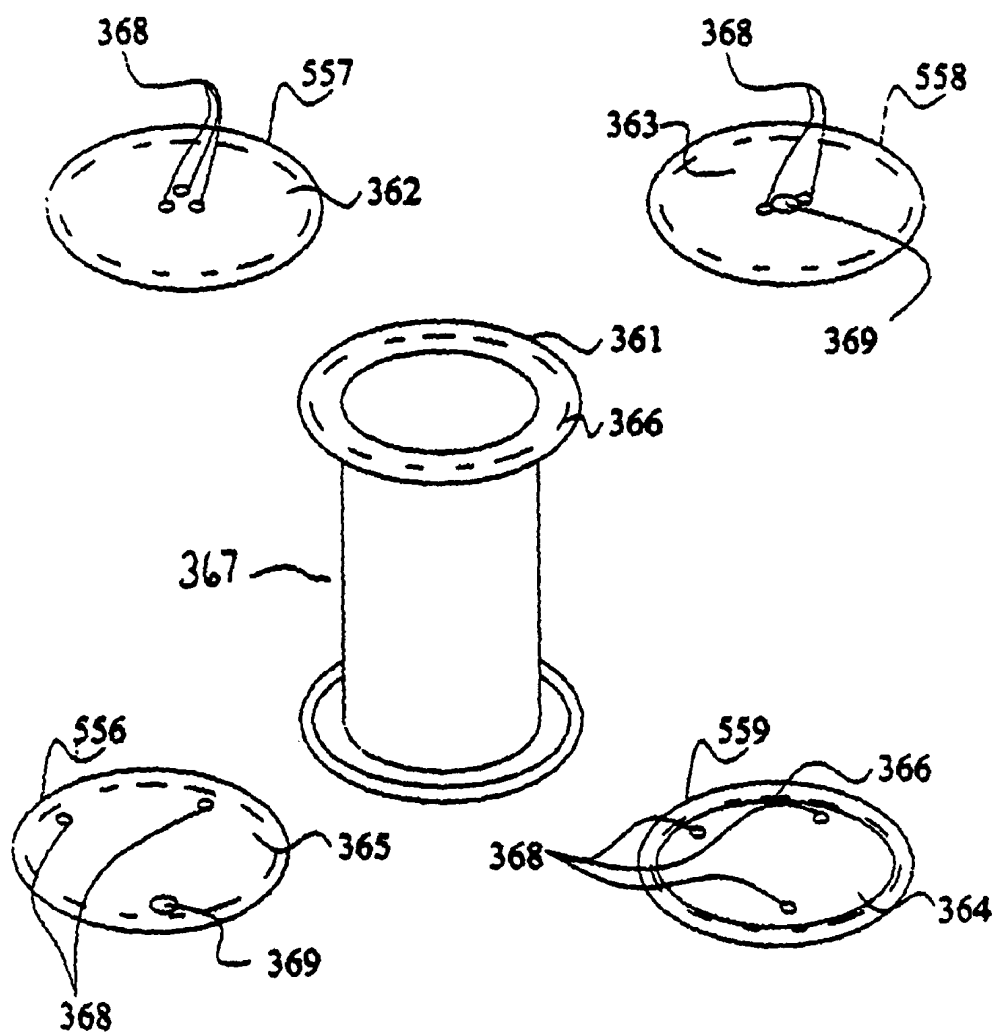


Fig. 7

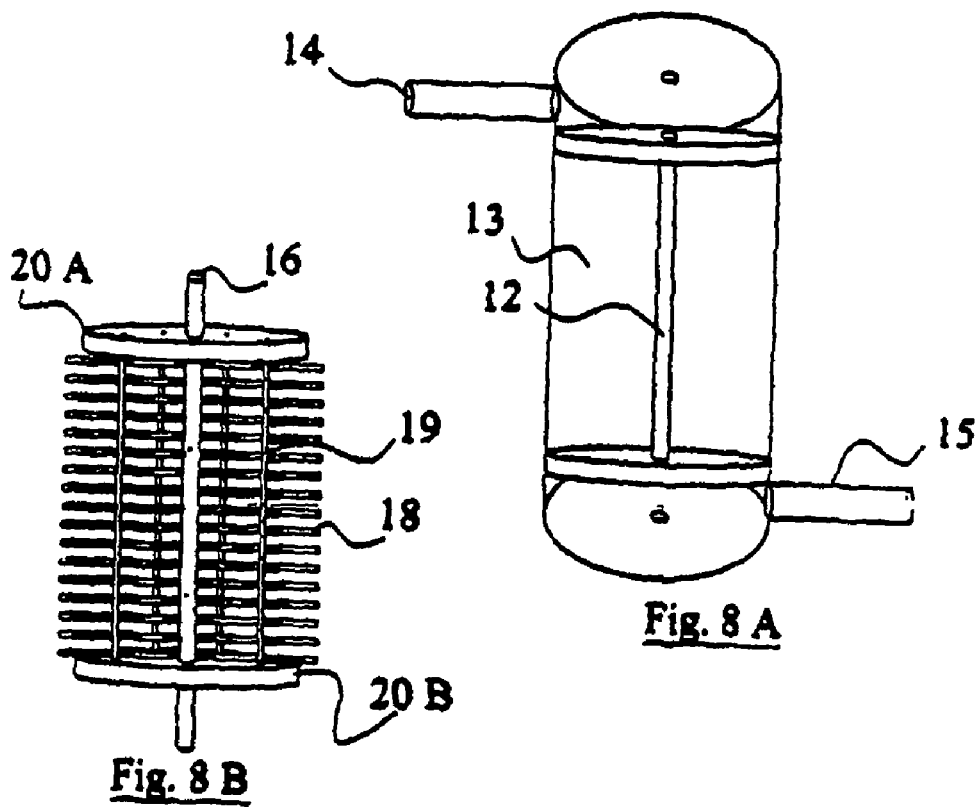


Fig. 8

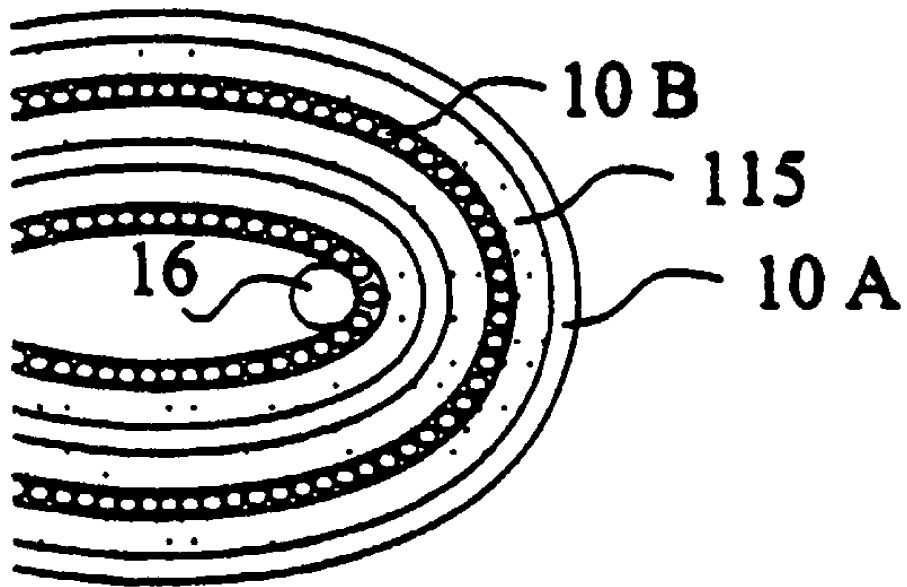


Fig. 9

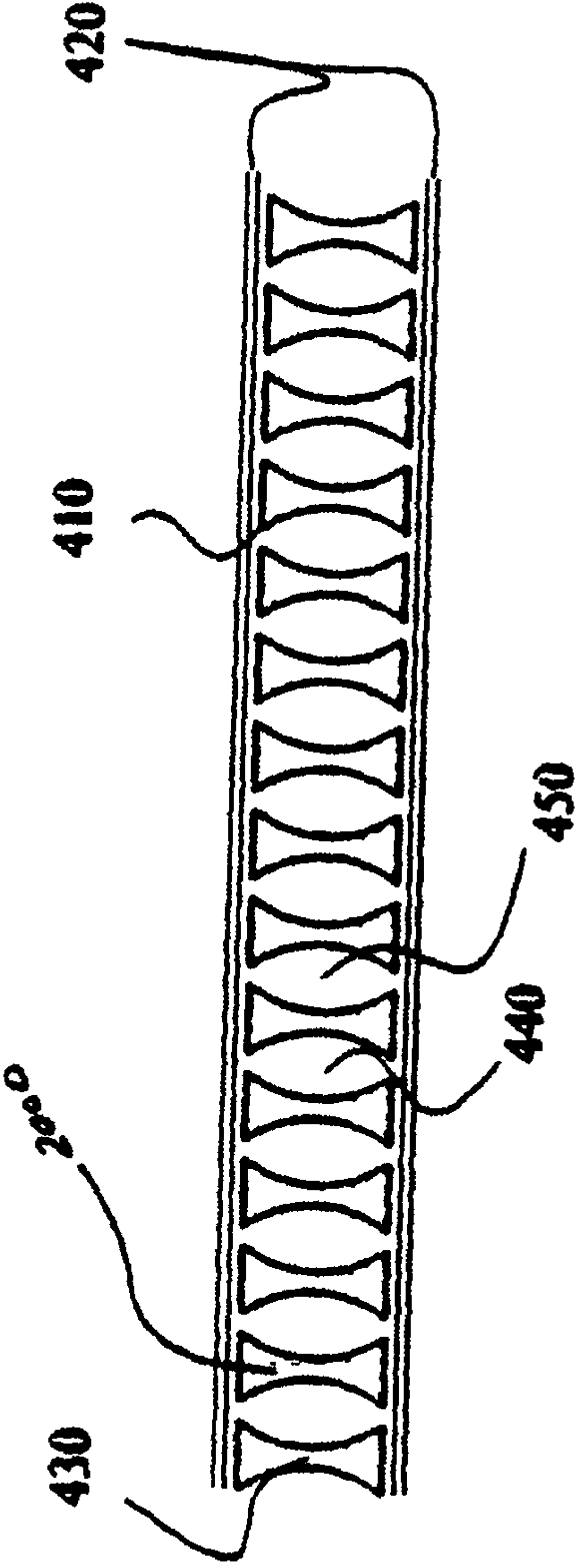


Fig. 10

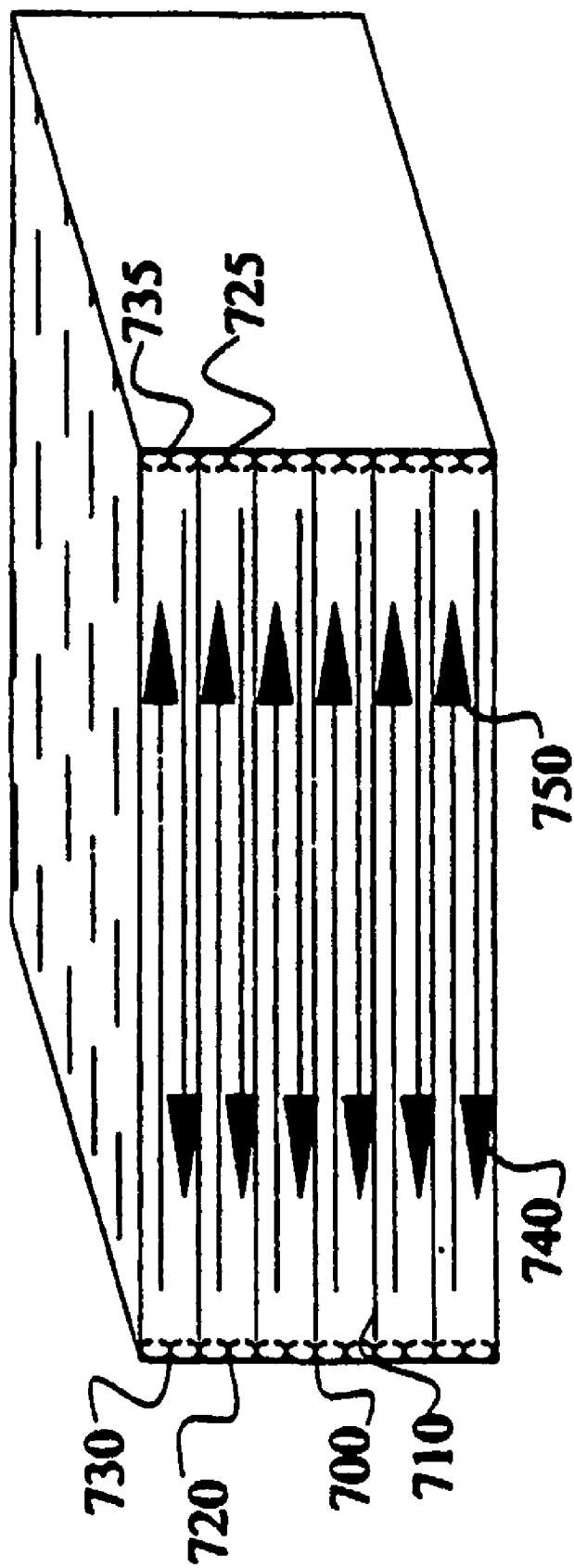


Fig. 11

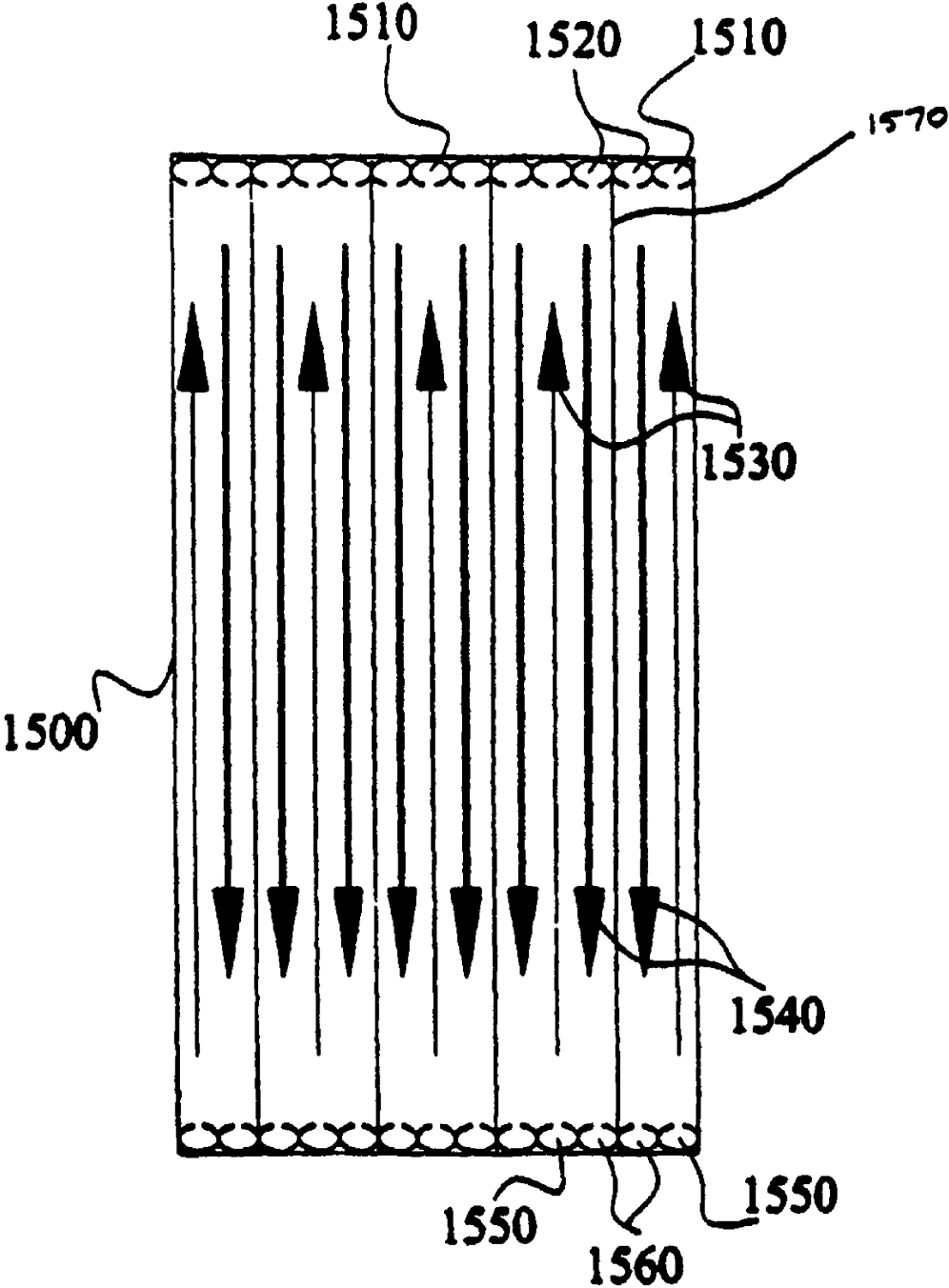


Fig. 12

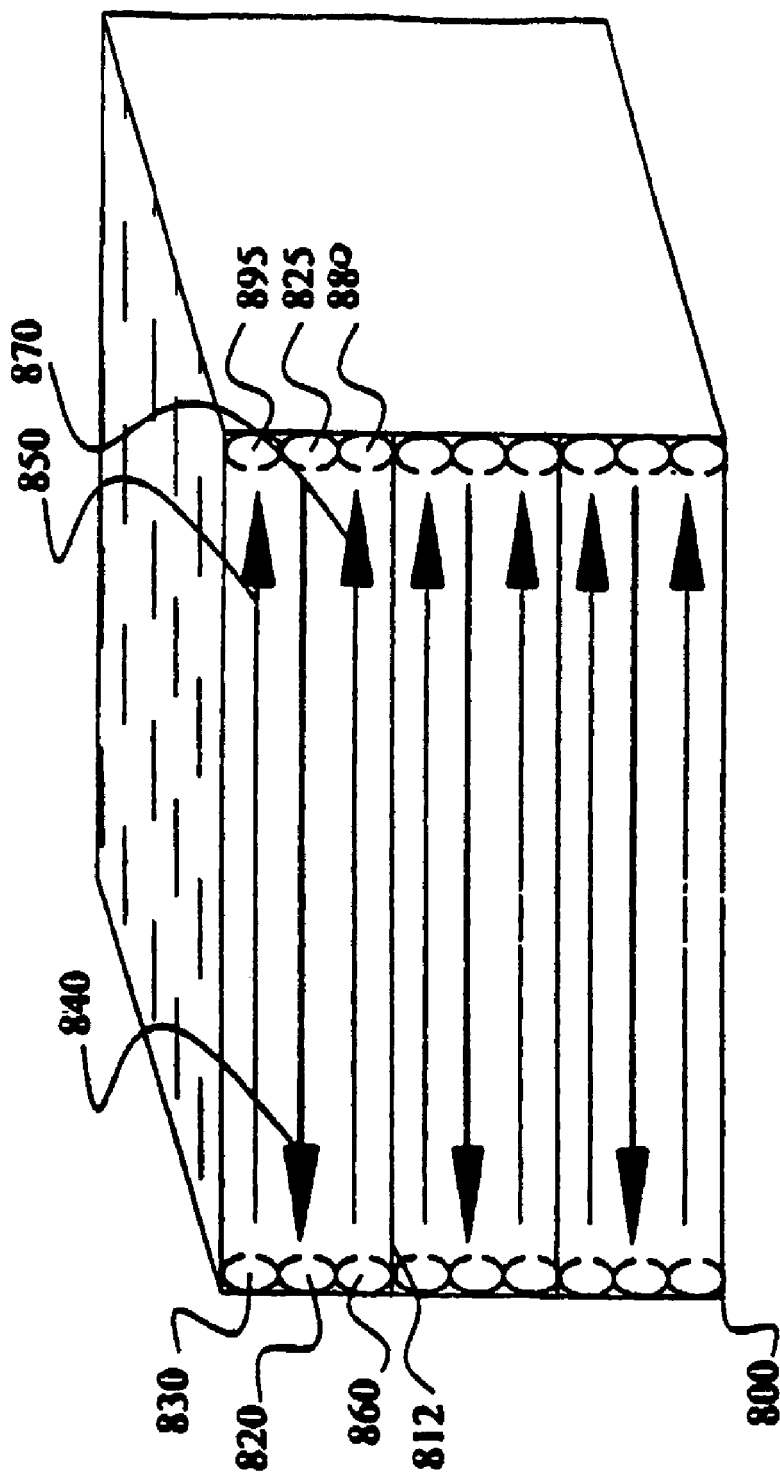


Fig. 13

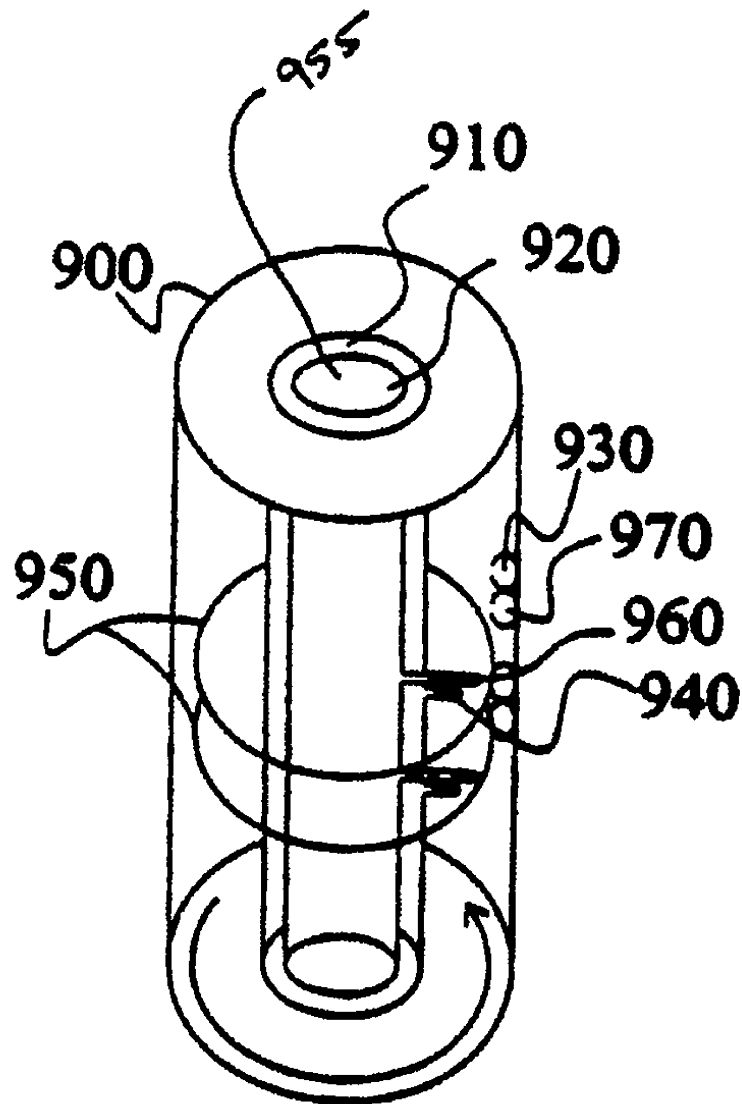


Fig. 14

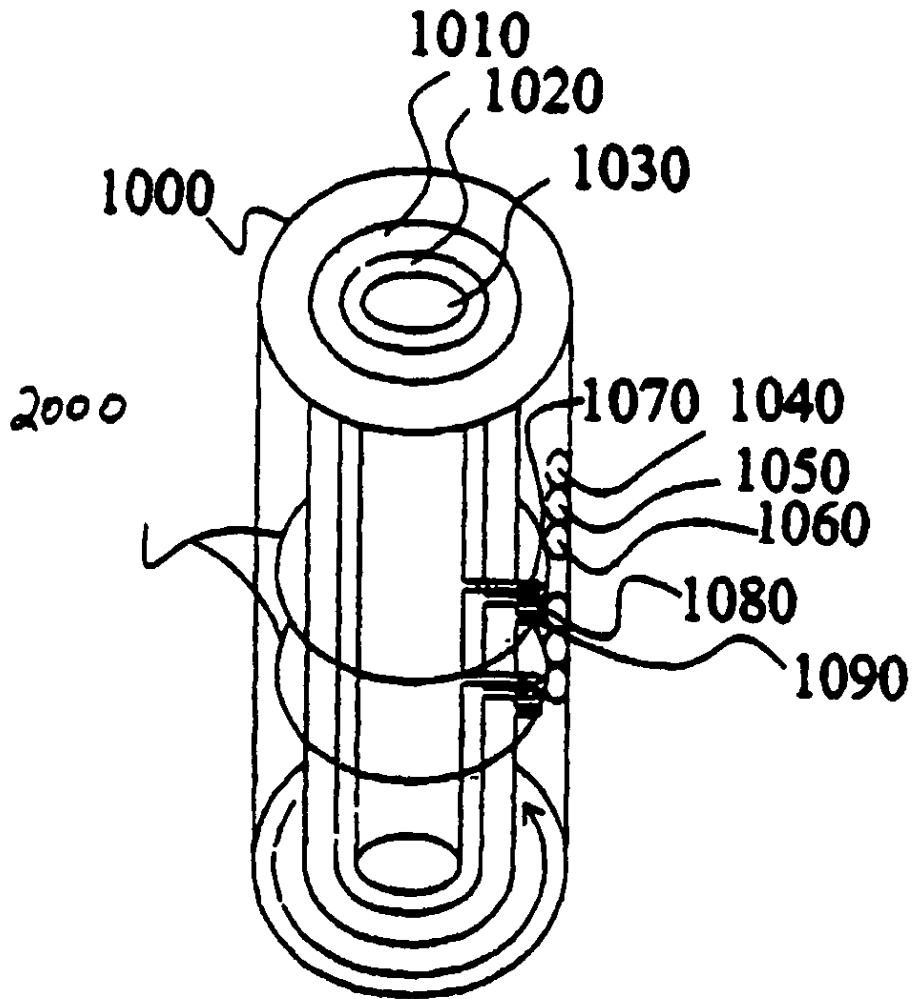


Fig. 15