

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 379**

51 Int. Cl.:

B01J 21/18	(2006.01)	B01J 19/00	(2006.01)
B01J 23/40	(2006.01)	C01B 3/40	(2006.01)
B01J 23/46	(2006.01)		
B01J 23/755	(2006.01)		
B01J 35/04	(2006.01)		
B01J 37/02	(2006.01)		
B01J 37/08	(2006.01)		
B01J 37/18	(2006.01)		
D01F 9/16	(2006.01)		
C01B 31/02	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2008 E 08009730 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **22.04.2009 EP 2050494**

54 Título: **Módulo de reactor micro tubular que comprende un material de carbono de panal de abeja micro tubular y procedimiento para la producción del módulo de reactor micro tubular**

30 Prioridad:

18.09.2007 KR 20070094579

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

31.01.2013

73 Titular/es:

**KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH
(100.0%)
102 GAJEONG-RO, YUSEONG-GU
305-343 DAEJEON, KR**

72 Inventor/es:

**JEONG, NAM JO;
HAN, SUNG OK;
KIM, HONG SOO y
KIM, HEE YEON**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 394 379 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

Módulo de reactor micro tubular que comprende un material de carbono de panal de abeja micro tubular y procedimiento para la producción del módulo de reactor micro tubular.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a un módulo de reactor micro tubular que comprende el material de carbono de panal de abeja micro tubular y a un procedimiento para la producción del módulo de reactor micro tubular y, más concretamente, a tratar térmicamente fibras de celulosa, que son recursos forestales, para formar un carburo que tiene una nueva estructura, y usar el carburo como un soporte de catalizador para construir un sistema de reactor micro catalítico que tiene una estructura micro tubular.

Descripción de la técnica anterior

[0002] Recientemente se han realizado activamente estudios sobre el uso de recursos forestales y, concretamente, se ha intentado usar recursos forestales para desarrollar nuevos materiales avanzados en combinación con la nanotecnología (NT), biotecnología (BT) y tecnología medioambiental (ET).

[0003] Entre los ejemplos de uso de recursos forestales, el desarrollo tecnológico y campo de aplicación más destacable es la tecnología de materiales compuestos que usa fibras de celulosa, y el desarrollo de materiales compuestos de alto rendimiento y respetuosos con el medioambiente se ha perseguido activamente en diversos países.

[0004] Recientemente, se han llevado a cabo en países avanzados estudios centrados en la producción de fibras de celulosa de tamaño nanométrico y en el uso de las mismas para sintetizar materiales compuestos que tienen propiedades mecánicas mejoradas. La tecnología que emplea recursos forestales también es aplicable a materiales para energía híbrida, adsorbentes, electrodos y materiales de baterías, además de los materiales compuestos anteriormente descritos.

[0005] Sin embargo, los estudios sobre el uso de recursos forestales todavía están en una etapa temprana incluso en países avanzados, y en Corea ha habido poco o ningún desarrollo de tecnología relacionada con este campo.

[0006] N. H. Phan y col. describen en su artículo "Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibers for water treatment applications", CARBON, Elsevier, Oxford, GB, vol. 44, no. 12, 1. Octubre 2006, páginas 2569 – 2577, el uso de fibras de carbono activado (ACF), en el cual se realiza una carbonización a 950 °C con flujo de nitrógeno y una activación con CO₂ a 950 °C de fibras de celulosa natural (yute, coco). Las fibras de carbono activado muestran volumen de mesoporos y micro túbulos.

[0007] El documento de Junhui He y col.: "Fabrication of metal-nanoparticle / carbon-fiber composites having a microtube-array morphology", Journal of Nanoparticle Research, Kluwer Academic Publishers, Do, vol. 9, no. 5, 8. Noviembre, 2006, páginas 931 – 937, describe la incorporación de iones de Pt en fibra de sisal (SF) y, tras una carbonización a 400 °C, una morfología de matriz de micro tubos de la SF.

[0008] Los documentos GB1016351A y FR1269274A desvelan la carbonización de fibras naturales, en concreto un procedimiento de carbonización lenta en una atmósfera reductora o inerte a una temperatura de hasta 1200 °C.

[0009] El documento de J.-M. Bae y col.: "Microchannel development for autothermal reforming of hydrocarbon fuels", Journal of Power Sources, Elsevier SA, CH, vol. 139, no. 1 – 2, 4. Enero 2005, páginas 91 – 95, describe el desarrollo de estructuras de catalizador con micro canales que son capaces de disminuir la resistencia a la difusión en el procesado de combustible para sistemas de celdas de combustible.

[0010] El documento JP2004188258 A desvela un micro reactor con una estructura de paso precisa como un lugar para la reacción catalítica de pequeñas cantidades que comprende un tubo poroso que porta el catalizador que es una membrana de fibra hueca de material cerámico porosa.

[0011] Las solicitudes de patentes relativas al campo de uso de recursos forestales no han mostrado un claro aumento en cuanto al número de las mismas. Sin embargo, según la tendencia de estudios recientes en EEUU y países europeos, el número de estudios ha aumentado ligeramente desde el año 2005, y se considera que el desarrollo de tecnología relativa al uso de recursos forestales aumentará rápidamente a partir del año 2010, cuando se espera que la demanda de nano/bio-tecnologías y tecnologías energéticas/medioambientales crezca rápidamente.

[0012] Recientemente, se han realizado regularmente estudios en el campo de sistemas de reactores micro catalíticos. Por ejemplo, hay una realización en la cual se forman micro canales en una lámina metálica fina y se recubren con un catalizador, y la lámina fina resultante se aplica en sistemas de reactores para celdas de combustible o en intercambiadores de calor.

[0013] Tales sistemas de reactores micro catalíticos se han usado en diversos campos, incluyendo tecnología de celdas de combustible, sistemas de convertidores de hidrógeno y tecnología de micro intercambiadores de calor, de forma que estos sistemas de reactores se pueden aplicar en los campos de piezas electrónicas y sistemas de energía de pequeño tamaño, y los campos de aplicación y mercados de los mismos son ilimitados.

[0014] Sin embargo, en la tecnología anterior hay problemas porque los procesos necesarios para su terminación, incluyendo un proceso de formación de canales, un proceso de recubrimiento con catalizador, un proceso de calcinación y un proceso de unión de una lámina metálica fina, que tiene los micro canales formados en la misma, a un sistema de reactor, son muy complicados, y porque hay limitaciones en cuanto al tamaño de los canales y a la cantidad de recubrimiento con catalizador, debido a que cada uno de los canales está constituido por un canal corto y, por tanto, no es sencillo lograr la miniaturización y mejora en la eficacia del sistema de reactor.

[0015] Además, todavía no hay ningún informe sobre un soporte de catalizador producido usando recursos forestales tales como fibra celulosa, como se desvela en la presente invención, un sistema de reactor micro catalítico que comprende el soporte de catalizador y tecnologías de aplicaciones relacionadas.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0016] La presente invención se ha realizado para resolver los problemas anteriormente descritos y es un objeto de la presente invención proporcionar un módulo de reactor micro tubular que comprende un material de carbono de panal de abeja micro tubular, que tiene la estructura única de fibra de celulosa carbonizada a alta temperatura.

[0017] Otro objeto adicional de la presente invención es proporcionar un procedimiento para producir un módulo de reactor micro tubular que comprende un material de carbono de panal de abeja micro tubular, que tiene la estructura única de fibra de celulosa carbonizada a alta temperatura.

[0018] Para lograr los objetos anteriores, según un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para producir un módulo de reactor micro tubular para uso en sistemas de reactores micro catalíticos, incluyendo el procedimiento: preparar una solución de catalizador metálico que tiene un catalizador metálico de tamaño nanométrico dispersado en la misma; recubrir con la solución de catalizador metálico la superficie interna del material de carbono de panal de abeja micro tubular producido según dicho procedimiento, estando la superficie interna en contacto con flujo de fluido; secar el material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto y reducir la superficie recubierta de catalizador metálico de tamaño nanométrico del material de carbono en una atmósfera reductora; y montar y sellar la estructura de reactor en torno al material de carbono de panal de abeja micro tubular reducido usando un adhesivo.

[0019] La presente invención se refiere al campo de aplicación de materiales de celulosa que recientemente se han estudiado y usado en diversos campos. La presente invención tiene ventajas porque se puede formar una estructura de canales micro tubulares que tienen una superficie mesoporosa de una forma muy sencilla a partir de fibra de celulosa, que es un biomaterial a partir del cual se pueden obtener carburos con diversas estructuras, y porque la estructura de canales micro tubulares se puede usar como un soporte de catalizador para construir no solo un sistema de combustión catalítica de gran tamaño, sino también un sistema de micro reactor, que es aplicable en el campo de sistema de energía de pequeño tamaño.

[0020] Concretamente, los sistemas de reactores micro catalíticos se han usado recientemente en diversos campos, incluyendo tecnología de celdas de combustible, sistemas de convertidores de hidrógeno y tecnología de micro intercambiadores de calor, para aplicar estos sistemas de reactores en piezas electrónicas y sistemas de energía de pequeño tamaño, y los campos de aplicación y mercados de los mismos son ilimitados.

[0021] Sin embargo, en la tecnología anterior hay problemas porque los procesos necesarios para terminarlos, incluyendo un proceso de formación de canales, un proceso de recubrimiento con catalizador, un proceso de calcinación y un proceso de unión de una lámina metálica fina, que tiene los micro canales formados en la misma, a un sistema de reactor, son muy complicados, y porque hay limitaciones en cuanto al tamaño de los canales y a la cantidad de recubrimiento con catalizador, debido a que cada uno de los canales está constituido por un canal corto y, por tanto, no es sencillo lograr la miniaturización y mejora en la eficacia del sistema de reactor.

[0022] En comparación con esto, el sistema de reactor según la presente invención tiene ventajas porque el carburo de celulosa, que se usa como un material de reactor, es muy sencillo de producir, y porque, debido a que tiene una estructura micro de panal de abeja que tiene un gran número de canales micro tubulares en la misma y mesoporos en la superficie de la misma, se puede cargar con una gran cantidad de un catalizador en comparación

con el material anterior que tiene la misma área, maximizando así la eficacia de reacción.

[0023] Por consiguiente, el sistema de micro reactor catalítico de la presente invención es valioso porque se fabrica usando carburo de celulosa novedoso, que tiene una estructura de micro panal de abeja. Además, el sistema de reactor micro catalítico se puede usar en aplicaciones que incluyen sistemas de convertidores de vapor muy pequeños, que usan combustible de biomasa tal como etanol, sistemas de reactores de celdas de combustible, sistemas de tratamiento de COV y de bajas concentraciones de hidrógeno que trabajan por debajo de 200 °C, micro intercambiadores de calor y sistemas convertidores de gas natural. Por tanto, la presente invención es una invención útil e industrialmente aplicable.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0024] El anterior y otros objetos, características y ventajas de la presente invención se entenderán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada considerada en conjunción con los dibujos adjuntos, en los cuales:

La fig. 1 muestra una vista esquemática global de un sistema de reactor micro catalítico y una vista detallada de un módulo de reactor micro tubular según la presente invención;

La fig. 2 es un diagrama de flujo que muestra la producción de un material de carbono de panal de abeja micro tubular a partir de celulosa y el uso del material de carbono de panal de abeja micro tubular para fabricar un sistema de reactor micro catalítico;

La fig. 3 es una vista detallada que muestra un procedimiento de recubrimiento con una solución de catalizador de la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular según la presente invención usando fuerza capilar y gradiente de presión;

La fig. 4 es una vista detallada de un procedimiento de recubrimiento con un catalizador de la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular usando un procedimiento de deposición en fase vapor;

La fig. 5 es una vista detallada de un procedimiento de construcción de un módulo de reactor micro tubular usando el material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto con catalizador según la presente invención;

La fig. 6 muestra una fotografía real de un calentador muy pequeño para calentar un sistema de micro reactor y muestra un diagrama esquemático de un procedimiento para aplicar el calentador muy pequeño;

La fig. 7 muestra los resultados de las mediciones obtenidas en un ejemplo llevado a cabo usando un calentador muy pequeño para calentar un sistema de reactor micro catalítico;

La fig. 8 muestra imágenes de SEM de henequén y *Setaria viridis*, tratadas térmicamente a alta temperatura en una atmósfera de hidrógeno;

La fig. 9 muestra los resultados de espectroscopía de Raman de carburos que tiene una nueva estructura, obtenidos mediante tratamiento térmico de fibra de celulosa de henequén a diferentes temperaturas en una atmósfera de hidrógeno;

La fig. 10 muestra los resultados del análisis por dispersión de energías de rayos X (EDX) de un material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto con un catalizador de rodio; y

La fig. 11 es una vista general de un módulo de reactor micro tubular fabricado usando un material de carbono de panal de abeja micro tubular según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0025] A continuación, la presente invención se describirá en detalle.

[0026] La presente invención abarca tecnología para producir un carburo que tiene una nueva estructura, que se puede usar ampliamente como un nuevo soporte de catalizador, a partir de fibra de celulosa como recursos forestales. Esta tecnología se puede usar en sistemas de reactores micro catalíticos, que se pueden usar en diversas aplicaciones específicas, incluyendo un sistema de reactor micro catalítico para producir hidrógeno usando biomasa, un sistema de reactor micro catalítico para micro intercambiadores de calor, un sistema de reactor micro catalítico para sistemas de celdas de combustible y un sistema de reactor micro catalítico para el tratamiento y sensibilización de COV.

[0027] Recientemente, se han realizado regularmente estudios sobre sistemas de reactores micro catalíticos en los campos de aplicación relacionados. Por ejemplo, hay un ejemplo en el cual se forma un micro canal en una

lámina metálica fina y se recubre con un catalizador, y la lámina fina resultante se aplica en sistemas de reactores para celdas de combustible o en intercambiadores de calor. Sin embargo, el sistema de reactor micro catalítico fabricado usando fibra de celulosa, tratado en la presente invención, es una tecnología tratada por primera vez en el mundo, y el procedimiento para construir el sistema y un procedimiento de recubrimiento con catalizador son especialmente innovadores. Además, el sistema de reactor micro catalítico está caracterizado porque la cantidad de catalizador cargado en el mismo se puede aumentar mucho en comparación con un sistema de reactor micro catalítico anterior que tenga el mismo tamaño, aumentado mucho, por tanto, la eficacia de reacción.

[0028] El tratamiento térmico se lleva a cabo a alta temperatura en una atmósfera sin oxígeno y se usa hidrógeno como gas atmosférico para disminuir la cantidad de óxidos que permanecen en la fibra de celulosa. La temperatura para la carbonización de la celulosa se controla hasta un máximo de 1500 °C de forma que se eliminan daños en los carburos en una reacción catalítica adecuada para cada uno de los campos de aplicación.

[0029] Además, para recubrir de forma uniforme con un catalizador metálico tal como níquel, o un catalizador de metal noble, tal como rodio, paladio o platino, una estructura de micro panel de abeja que tenga muchos micro túbulos presentes en la misma, la presente invención sugiere el uso adecuado de la fuerza capilar de los micro túbulos y el gradiente de presión entre los extremos superior e inferior de la estructura de micro panel de abeja combinados entre sí. Como otro procedimiento de recubrimiento con catalizador, se sugiere un procedimiento de deposición en fase vapor. Además, se sugiere un nuevo proceso que comprende montar un micro panel de abeja en un reactor, incluyendo el micro panel de abeja unas cuantas docenas de micro canales de 5 – 10 µm de anchura en el mismo y que tienen un diámetro de 200 – 600 µm, y fijar y sellar el micro panel de abeja montado.

[0030] A continuación, se describirán detalladamente la construcción y funcionamiento de realizaciones de la presente invención en referencia a los dibujos adjuntos.

[0031] La fig. 1 muestra una vista esquemática global de un sistema de reactor micro catalítico 10 y una vista detallada de un módulo de reactor micro tubular 1 según la presente invención. Como se muestra en la fig. 1, el sistema de reactor micro catalítico 10 comprende: un módulo de reactor micro tubular 1, que se fabrica montando y sellando una estructura de reactor 15 en torno a un material de carbono de panel de abeja micro tubular 11, obtenido mediante tratamiento térmico de micro fibra de celulosa, usando un adhesivo 14, y que permite que el combustible de reacción suministrado al mismo reaccione catalíticamente; un calentador muy pequeño 2 enrollado en torno al módulo de reactor micro tubular de forma que puede calentar localmente solo el módulo de reactor micro tubular; una línea de tuberías de transporte 4 conectada al módulo de reactor micro tubular de forma que suministra combustible de reacción 6 y gas de purga 61 al módulo de reactor micro tubular; un calentador de evaporación 5 dispuesto en la región que ocupa parte de la línea de tuberías de transporte 4 de forma que vaporiza el combustible de reacción 6 suministrado al módulo de reactor micro tubular 1 cuando el combustible de reacción 6 está en estado líquido; una unidad de control 51 para controlar la temperatura del calentador de evaporación 5; y un reactor de cuarzo 3 para fijar toda la porción de reacción del módulo de reactor micro tubular 1.

[0032] El combustible de reacción 6 puede estar constituido bien por una mezcla de gas, tal como gas de COV, hidrógeno o gas natural, con aire, o combustible líquido tal como etanol o metanol. Si se suministra combustible gaseoso tal como gas de COV o hidrógeno, se debe mezclar con aire para que reaccione. En este caso, el material de carbono de panel de abeja micro tubular 11 se puede aplicar en sistemas de tratamiento de COV a baja temperatura o sistemas de reacción de hidrógeno a baja temperatura, que se pueden usar a temperaturas inferiores a 300 °C, porque, cuando se produce una reacción de combustión por encima de 300 °C, el material de carbono de panel de abeja micro tubular 11, como un soporte de catalizador, se puede oxidar, haciendo difícil mantener la estructura original del mismo. Sin embargo, en una reacción para convertir combustible gaseoso tal como gas natural, el material de carbono de panel de abeja micro tubular 11 se puede usar incluso en una reacción a alta temperatura a temperaturas inferiores a 1000 °C.

[0033] Además, si se usa en una reacción para convertir combustible líquido tal como etanol o metanol, son necesarios medios para vaporizarlo y suministrar el combustible vaporizado al sistema de reactor. Como se muestra en la fig. 1, el calentador de evaporación 5 y la unidad 51 para controlar el calentador 5 se proporcionan con este fin. Los campos en los cuales se puede usar combustible de biomasa tal como etanol o metanol incluyen los campos de sistemas de convertidores de vapor de biomasa y de celdas de combustible.

[0034] Por consiguiente, el material de carbono de panel de abeja micro tubular 11 se produce mediante tratamiento térmico de fibra de celulosa en una atmósfera de hidrógeno como máximo a 1500 °C y, preferiblemente, a 500 – 900 °C, y se puede usar en un amplio intervalo de temperaturas. Sin embargo, se puede usar principalmente en la mayoría de los sistemas de reactores de baja temperatura que se pueden usar a temperaturas inferiores a la temperatura de oxidación del carbono, debido a que, cuando se lleva a cabo una reacción en una atmósfera oxidante, el carbono del material de carbono de panel de abeja micro tubular se puede oxidar o resultar dañado estructuralmente.

[0035] El módulo de reactor micro tubular 1 comprende: el material de carbono de panel de abeja micro tubular 11; la estructura de reactor 15 para fijar el módulo de reactor y conectar el módulo de reactor con la tubería

de transporte de gas; y el adhesivo 14 para rellenar y sellar el espacio entre los dos elementos anteriores.

[0036] El material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 comprende unas cuantas docenas de canales micro tubulares 12 en el cual el diámetro de cada uno de los micro túbulos es de 5 – 10 μm y las superficies de los micro túbulos se recubren con diversos tipos de catalizadores metálicos y de metales nobles.

[0037] La estructura de reactor 15 está hecha principalmente de un material metálico y, preferiblemente, un metal de acero inoxidable. El tamaño de la estructura de reactor 15 puede variar ligeramente dependiendo del tamaño del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11. Generalmente, si el diámetro externo del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 es de 200 – 600 μm , se usa un tubo circular que tiene un diámetro interno de 500 – 900 μm como la estructura de reactor. Además, la estructura de reactor 15 también puede estar hecha de un material cerámico.

[0038] Ejemplos del adhesivo 14 que se usa para el sellado del módulo de reactor micro tubular 1 incluyen adhesivos ópticos para uso a temperaturas inferiores a 300 °C, adhesivos de base epoxi y adhesivos para cerámicos para uso a temperaturas superiores a 300 °C.

[0039] La relación de aspecto del módulo de reactor micro tubular 1, fabricado como se describió anteriormente, puede ser como máximo de 100, debido a que es posible producir material de carbono de panal de abeja micro tubular que tenga una relación de aspecto grande.

[0040] En la fig. 1, el número de referencia 22 indica un cable de plomo, y el número de referencia 62 indica el gas de reacción.

[0041] La fig. 2 es un diagrama de flujo que muestra un proceso de producción del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 a partir de celulosa y el uso del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 para fabricar un sistema de reactor micro catalítico 10. En la fig. 2 se muestran un procedimiento para producir el material de carbono de panal de abeja micro tubular y una etapa de fabricación del sistema de reactor micro catalítico final.

[0042] La etapa descrita en la primera mitad de la fig. 2 es una etapa de producción del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 a partir de fibra de celulosa, que es un recurso forestal. Como se muestra en la fig. 2, el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 se produce lavando y secando fibra de celulosa, colocando la fibra de celulosa secada en un reactor y, entonces, tratando térmicamente la fibra de celulosa en una atmósfera de hidrógeno mientras se mantiene la temperatura del reactor a un máximo de 1500 °C y, preferiblemente, a 500 – 900 °C.

[0043] El procedimiento de producción del módulo de reactor micro tubular 1 usando el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 así producido, que tiene una nueva estructura, comprende recubrir uniformemente con diversos tipos de catalizadores metálicos y de metales nobles la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 a nivel microscópico usando la fuerza capilar de micro túbulos y la diferencia de presión entre los extremos superior e inferior de la estructura de panal de abeja micro tubular, reduciendo y calcinando el catalizador recubierto, y usar el material resultante para montar el módulo de reactor micro tubular 1.

[0044] Además, el procedimiento para producir un sistema de reactor catalítico 10 usando el módulo de reactor micro tubular 1 así producido comprende proporcionar un calentador muy pequeño 2 capaz de calentar localmente solo el módulo de reactor micro tubular 1, una unidad para suministrar combustible de reacción, una unidad de suministro de gas de purga, un calentador para vaporizar combustible líquido y otras unidades suplementarias.

[0045] Especificadamente, el procedimiento que comprende todas las etapas anteriormente descritas incluye las etapas de:

mojar y lavar lo suficiente la fibra de celulosa con agua destilada y secar la fibra de celulosa lavada; colocar la fibra de celulosa secada en un reactor a alta temperatura y eliminar el oxígeno que permanece en el reactor usando una bomba de vacío; tratar térmicamente la fibra de celulosa en el reactor en una atmósfera de hidrógeno mientras se mantiene la temperatura del reactor como máximo a 1500 °C y, preferiblemente, en un intervalo de 500 – 900 °C;

tomar una muestra del material tratado térmicamente;

dispersar en agua destilada uno cualquiera seleccionado del grupo constituido por catalizadores metálicos, tales como níquel, y catalizadores de metales nobles, tales como platino, paladio y rodio, para lograr una concentración de catalizador de 0,01 – 1 mol;

colocar la dispersión de catalizador 8 en una primera micro pipeta 7, situando la micro pipeta 7 en un lado, colocar el material de carbono de panal de abeja micro tubular anteriormente producido 11 en una segunda micro pipeta 7,

5 sellar el espacio entre la segunda micro pipeta 7 y el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 con un adhesivo óptico 71, situar la segunda micro pipeta 7 en el otro lado, formar un gradiente de presión entre ambos extremos del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 usando la fuerza capilar del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 y una bomba de vacío de forma que succione la gota de solución de catalizador 8 formada en la primera micro pipeta 7 y que recubra con catalizador la superficie de los micro túbulos fijados en la segunda micro pipeta 7, y repetir este proceso de formación de gradiente de presión para recubrir con catalizador la superficie de los micro túbulos;

10 secar el material de carbono de panal de abeja micro tubular resultante 11 y, entonces, reducir la superficie recubierta con catalizador del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 en una atmósfera reductora;

15 colocar el material de carbono de panal de abeja micro tubular reducido 11 en media estructura de reactor rellena con un adhesivo para cerámicos, cubrir el material de carbono de panal de abeja micro tubular resultante con otra media estructura de reactor rellena con un adhesivo para cerámicos, y secar el módulo de reactor micro tubular resultante 1;

20 sellar todos los espacios en el módulo de reactor micro tubular secado 1 mediante soldadura láser, si la estructura de reactor 15 está hecha de un metal de acero inoxidable, o sellar todos los espacios con un adhesivo para cerámicos de alta temperatura, si la estructura de reactor 15 está hecha de un material cerámico; y

25 conectar el módulo de reactor micro tubular sellado 1 a cada una de las tuberías de transporte 4 de gas y combustible, y proporcionar un calentador muy pequeño 2 para calentar el módulo de reactor micro tubular 1, diferentes unidades de suministro, y otras unidades suplementarias tales como un calentador de evaporación para combustible líquido, proporcionando así el sistema de reactor micro catalítico final.

30 **[0046]** Como descripción complementaria, para producir el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11, se prepara primero micro fibra de celulosa. Aunque se pueden usar diversas micro fibras de celulosa en la presente invención, aquellas que tengan muchas placas cribosas en los tubos cribosos pueden producir un elevado gradiente de presión en el flujo de fluido y, en algunos casos, pueden interferir con el propio flujo de fluido. Por este motivo, es ventajoso usar plantas que tengan muchos vasos (micro túbulos).

35 **[0047]** En una realización de la presente invención, se usó henequén o *Setaria viridis* para la micro fibra de celulosa.

40 **[0048]** La fig. 3 es una vista detallada que muestra un procedimiento de recubrimiento con una solución de catalizador de la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular usando fuerza capilar y un gradiente de presión según la presente invención, y la fig. 4 es una vista detallada que muestra un procedimiento de recubrimiento con un catalizador de la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular usando un procedimiento de deposición en fase vapor. Como se muestra en la fig. 3, una vez que se ha preparado una solución de catalizador de tamaño nanométrico 8, se puede recubrir la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11. Además del procedimiento usando la solución de catalizador 8, se puede usar como el procedimiento de recubrimiento con catalizador un procedimiento para depositar en fase vapor un precursor de catalizador, como se muestra en la fig. 4.

45 **[0049]** El primer procedimiento mostrado en la fig. 3 es un procedimiento de formación de la solución de catalizador 8 sobre la superficie de los micro túbulos usando la fuerza capilar de la estructura micro tubular y el gradiente de presión formado en ambos extremos de la estructura micro tubular. Este procedimiento de recubrimiento se lleva a cabo según el procedimiento mostrado en la fig. 3. En primer lugar, un extremo del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11, obtenido mediante tratamiento térmico de fibra de celulosa como se muestra en la fig. 2, se coloca en una micro pipeta 7. La micro pipeta 7 generalmente tiene un tamaño de aproximadamente 1000 μm , y se usa un adhesivo óptico 71 para sellar el espacio entre la pipeta 7 y el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11. Después de aplicar el adhesivo óptico 71 al espacio 71, se lleva a cabo el curado con radiación UV. A continuación, la solución de catalizador preparada 8 se coloca en otra micro pipeta 7, que se presuriza entonces con una jeringa para formar una gota en el extremo de la pipeta 7. En este momento, el extremo de la micro pipeta 7 que tiene el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 colocado en el mismo se sitúa cerca de la segunda pipeta 7, en la cual se forma la gota de solución de catalizador 8. A continuación, cuando se conecta una bomba de vacío a la micro pipeta 7 que tiene el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 colocado en la misma, de forma que se forma un gradiente de presión, la solución de catalizador 8 se introduce de forma natural en el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 debido a la fuerza capilar de los micro túbulos y a la diferencia de presión entre los extremos superior e inferior de los micro túbulos y, durante este proceso, el catalizador recubre la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11. En el presente documento, la presión aplicada es inferior a 1 mbar. El motivo por el que la presión es limitada es porque las propiedades del recubrimiento pueden variar dependiendo de la presión, y la estructura micro tubular puede romperse a un presión excesivamente elevada. Después del proceso de recubrimiento, la estructura resultante se seca a temperatura ambiente, y este proceso se repite para recubrir con catalizador la superficie del material de carbono de panal de abeja 11.

[0050] El segundo procedimiento no inventivo es un procedimiento de deposición en fase vapor de partículas de catalizador de tamaño nanométrico 93 sobre la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 usando un precursor de catalizador 96. Este procedimiento se lleva a cabo como se muestra en la fig. 4.

5 **[0051]** Este procedimiento se puede llevar a cabo para fabricar el módulo de reactor micro tubular 1 y, a continuación, usarlo para depositar en fase vapor el catalizador, a diferencia del orden mostrado en la fig. 5, recubrir con catalizador y, a continuación, fabricar el sistema de reactor micro tubular.

10 **[0052]** Es decir, se usa el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 no recubierto con el catalizador y el módulo de reactor micro tubular 1 así fabricado se usa para fabricar el sistema como se muestra en la fig. 4.

15 **[0053]** El sistema de recubrimiento mostrado en la fig. 4 comprende gas 91 para transportar el precursor vaporizado, un reactor de vaporización 93 del precursor 93 que sirve como recipiente del precursor, y un calentador 94 para vaporizar el precursor, el módulo de reactor micro tubular 1, un calentador muy pequeño 2 y un calentador de línea 98.

20 **[0054]** Como gas 91 para transportar el gas vaporizado se usa gas nitrógeno. Además, el reactor de vaporización del precursor 93 está hecho de material de cuarzo y la temperatura del mismo se controla mediante una unidad de control 95. La temperatura se controla en el intervalo de aproximadamente 50 – 100 °C, incluso si varía dependiendo del tipo de precursor.

25 **[0055]** El reactor de vaporización del precursor 93 y la línea de transporte de gas están conectadas y selladas con un conector de unión 97.

30 **[0056]** El calentador de línea 98 sirve para mantener el precursor de catalizador vaporizado 96 a la misma temperatura que la temperatura de vaporización del precursor de forma que el precursor de catalizador vaporizado 96 no se deposite en la línea antes de que llegue al módulo de reactor micro tubular 1. La temperatura del módulo de reactor micro tubular 1 está controlada por un calentador muy pequeño 2 y la potencia eléctrica está controlada de forma que la temperatura se pueda mantener en el intervalo de 70 – 150 °C.

35 **[0057]** La fig. 5 es una vista detallada que muestra un procedimiento de fabricación del módulo de reactor micro tubular 1 usando el material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto con catalizador 11 según la presente invención. A continuación, se describirá el procedimiento.

[0058] En primer lugar, se proporcionan el material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto con catalizador 11 y la estructura de reactor 15.

40 **[0059]** La estructura de reactor 15 se proporciona en mitades, y el motivo de ello es porque, si la estructura de reactor 15 es de forma circular, el adhesivo 14 que se usa para sellar el espacio entre el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 y la estructura de reactor 15 a micro escala es difícil de introducir en la estructura de reactor 15 debido a la tensión superficial. Por este motivo, la estructura de reactor 15 se proporciona en mitades de forma que el adhesivo 14 para sellarlas se pueda aplicar uniformemente en toda la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 y la estructura de reactor 15.

45 **[0060]** El adhesivo 14 se aplica uniformemente en la estructura de reactor preparada 15 usando una jeringa que contiene el adhesivo 14. A continuación el material de carbono de panal de abeja micro tubular preparado 11 se coloca en la mitad de la estructura de reactor 15, a la cual se ha aplicado el adhesivo 14, antes de que se haya curado completamente. Mientras, el adhesivo 14 se aplica uniformemente a la otra mitad de la estructura de reactor 15 y, a continuación, la segunda mitad de la estructura de reactor se combina con la primera mitad de la estructura de reactor que tiene el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 adherido a la misma y, entonces, se somete a un proceso de curado, terminando así un precursor del módulo de reactor micro tubular 1.

50 **[0061]** El proceso de curado tras la aplicación del adhesivo 14 se lleva a cabo secando el adhesivo 14 a una temperatura de 100 – 150 °C (el secado a esta temperatura dio como resultado la mayor adhesión) durante más de 24 horas (si el tiempo de curado es menor que 12 horas, el estado de secado del adhesivo 14 no es completo y, por este motivo, el adhesivo 14 se seca durante más de 24 horas para secarlo suficientemente para garantizar un buen estado de adhesión). Los espacios en el proyecto del módulo del reactor micro tubular 1 están completamente sellados de forma que no se producen fugas de gas.

55 **[0062]** Si la estructura de reactor 15 está hecha de un material de acero inoxidable se sella mediante soldadura láser 72. Entonces, la fabricación del módulo de reactor micro tubular 1 está terminada y el módulo de reactor micro tubular terminado 1 se conecta a una línea de tuberías de transporte de gas 4 y se sella mediante soldadura láser 72. Si la estructura de reactor 15 está hecha de un material cerámico todos los espacios de la misma se sellan con un adhesivo para cerámicos para uso a alta temperatura para terminar el módulo de reactor micro tubular 1, que se conecta entonces a la línea de tuberías de transporte de gas 4.

[0063] Cuando se han terminado el recubrimiento con catalizador y la fabricación del módulo de reactor micro tubular 1 como se ha descrito anteriormente, el calentador muy pequeño 2 para la reacción catalítica se coloca en torno al módulo de reactor micro tubular 1. La fig. 6 muestra una fotografía real del calentador muy pequeño 2 para calentar el sistema de reactor micro catalítico 10 y muestra un procedimiento para implementar el calentador muy pequeño. Como se muestra en la fig. 6, el calentador muy pequeño 2 está constituido por un cable de plomo 22, cuyos extremos están conectados a una porción de calentamiento 21 que está en contacto con el módulo de reactor micro tubular 1, y la porción de calentamiento 21 del calentador muy pequeño 2 está hecha de platino, aleación de níquel + cromo, o kanthal. En la porción de calentamiento 21 se forma una película fina de óxido de forma que no se produce un cortocircuito incluso si se produce un contacto mutuo durante el calentamiento. Como se muestra en la fig. 6, el calentador muy pequeño 2 está fabricado de forma que rodea el módulo de reactor micro tubular 1. Además, tiene una longitud de aproximadamente 1 – 10 mm, aunque esto puede variar ligeramente dependiendo de la relación de aspecto del módulo de reactor micro tubular 1.

[0064] Cuando el calentador muy pequeño 2 para la reacción catalítica está montado en el módulo de reactor micro tubular 1 como se ha descrito anteriormente y se han conectado unidades suplementarias, tales como una línea de tuberías para el combustible de reacción 6, un calentador de evaporación 6 y similares, al módulo de reactor micro tubular 1, la fabricación del sistema de reactor micro catalítico 10 está terminada.

[0065] A continuación, se describirán detalladamente realizaciones preferidas de la presente invención.

Ejemplo 1

[0066] La fig. 7 muestra los resultados de las mediciones obtenidas en un ejemplo usando el calentador muy pequeño 2 para calentar el sistema de reactor micro catalítico. La porción de calentamiento 21 del calentador muy pequeño 2 tenía una longitud de 1,5 mm y una longitud de 2 mm y estaba hecha de una aleación de níquel y cromo. La porción de calentamiento 21 estaba conectada con el cable de plomo 22 para suministrar energía, y se formó una película de óxido sobre la misma de forma que no se produjese un cortocircuito al entrar en contacto entre sí.

[0067] Los resultados de las mediciones de la fig. 7 muestran la temperatura dentro del módulo de reactor micro tubular 1 en función de la potencia suministrada al calentador muy pequeño 2. Para medir la temperatura dentro del módulo de reactor micro tubular 1 se colocó un tubo de acero inoxidable del mismo tamaño que el módulo de reactor micro tubular 1 en el calentador y se situó un termopar de tipo k en el centro del mismo para medir la temperatura. En los resultados de las mediciones, se descubrió que la temperatura dentro del módulo de reactor micro tubular 1 se podría calentar hasta 300 °C en unos pocos segundos con una potencia de 2,5 W, sugiriendo que el calentador muy pequeño es un sistema adecuado para calentar el sistema de reactor micro catalítico 10.

Ejemplo 2

[0068] La fig. 8 muestra imágenes de SEM de la sección transversal y el cuerpo del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11, producido mediante tratamiento térmico de henequén y *Setaria viridis* a alta temperatura en una atmósfera de hidrógeno.

[0069] Los experimentos se realizaron a 900 °C en una atmósfera del 100 % de gas de hidrógeno. La velocidad de calentamiento fue de 35 °C/min y la muestra se mantuvo a 900 °C durante 30 min. El hidrógeno se enfrió comenzando desde el momento en que se elevó la temperatura y se suministró hasta que el experimento terminó.

[0070] En los resultados experimentales, como se muestra en la fig. 8 (a), se podría observar que la muestra original de henequén se carbonizó sin grandes daños en la forma de la misma.

[0071] La fig. 8 (b) muestra la sección transversal de la muestra tratada térmicamente. Se observó que la muestra tratada térmicamente fue muy claramente tratada en comparación con la muestra original y tenía una estructura micro tubular que tenía un diámetro de aproximadamente 5 – 20 µm.

[0072] La fig. 8 (c) muestra la forma de *Setaria viridis* tras el tratamiento térmico. Como se puede observar en la fig. 8 (c), no se observaron daños estructurales, pero había poros muy finos en la superficie. La fig. 8 (d) muestra los resultados de la observación de la sección transversal de la misma. Se observó que el tamaño de la misma no era muy diferente al del henequén, pero el grosor de las membranas entre los micro túbulos era menor que el del henequén. Además, consistían en su mayoría en carbono.

Ejemplo 3

[0073] La fig. 9 muestra los resultados de espectroscopía de Raman de un carburo 11 que tiene una nueva estructura, obtenida mediante tratamiento térmico de fibra de celulosa de henequén a diferentes temperaturas en una atmósfera de hidrógeno. Los picos de la fig. 9 mostraron la mayor intensidad en torno a 1350 cm⁻¹ y 1580 cm⁻¹. Los resultados en estos puntos indican una línea D (línea desordenada) y una línea G (línea de grafito),

respectivamente, que generalmente se encuentran en materiales constituidos por carbono. Se puede observar que la tendencia de los picos variaba ligeramente dependiendo de la temperatura. A 500 °C se observó una tendencia similar a la del carbono amorfo, que se puede observar frecuentemente en el carbón; sin embargo, a medida que se aumentaba la temperatura, los picos mostraron una tendencia a cambiar a los valores de un material de carbono, observados en carbono grafitizado, incluso aunque el pico de la línea D mostró una gran intensidad. A 1500 °C el carburo mostró una característica de la estructura del carbono similar a la estructura cristalina de nanotubos de carbono multipared que contienen un cristal desordenado y, por tanto, se consideró que la superficie de la fibra de celulosa tratada térmicamente se había grafitizado parcialmente.

10 **Ejemplo 4**

15 **[0074]** La fig. 10 muestra los resultados del análisis por dispersión de energías de rayos X (EDX) de un material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto con un catalizador de rodio. Para recubrir con un catalizador el material de carbono de panal de abeja micro tubular, se preparó una solución de catalizador 8 que contenía cloruro de rodio hidrato disuelto en agua destilada con una concentración del 0,05 % en moles. El procedimiento para recubrir con catalizador se llevó a cabo del mismo modo al indicado en la fig. 3. La presión de vacío aplicada para recubrir con catalizador fue de 1 mbar, y el recubrimiento con catalizador se realizó recubriendo con catalizador a esta presión y a temperatura ambiente durante 10 segundos, secando el material recubierto en las mismas condiciones durante 10 segundos y repitiendo los procesos de recubrimiento y secado más de 10 veces. 20 Tras finalizar el proceso de recubrimiento, el material resultante se colocó en un horno reductor, en el cual se redujo a 500 °C en una atmósfera de hidrógeno durante aproximadamente 1 hora.

25 **[0075]** La figura insertada en el diagrama gráfico de la fig. 8 muestra una imagen de SEM del material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 después de recubrirlo con el catalizador. Se puede observar que se formó una capa fina de catalizador de rodio sobre la estructura micro tubular. Estos resultados se confirmaron con los resultados de EDX.

Ejemplo 5

30 **[0076]** La fig. 11 es una vista general del módulo de reactor micro tubular 1 fabricado usando el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 según la presente invención. La estructura de reactor 15 usada aquí estaba hecha de un material de acero inoxidable y tenía un diámetro externo de 1,5 mm y un diámetro interno de 900 µm y una longitud de 2 mm.

35 **[0077]** El material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 situado en el centro estaba hecho de la muestra de *Setaria viridis* tratada térmicamente obtenida en el ejemplo 2. El material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 hecho de *Setaria viridis* tratada térmicamente tenía un diámetro de 600 µm y una longitud de 2 mm. El espacio entre el material de carbono de panal de abeja micro tubular 11 y la estructura de reactor de acero inoxidable se selló con un adhesivo para cerámicos para uso a alta temperatura a 1300 °C. El sellado con el adhesivo se llevó a cabo como se muestra en la fig. 5 y, tras su aplicación, el adhesivo se secó a 100 °C durante 24 40 horas.

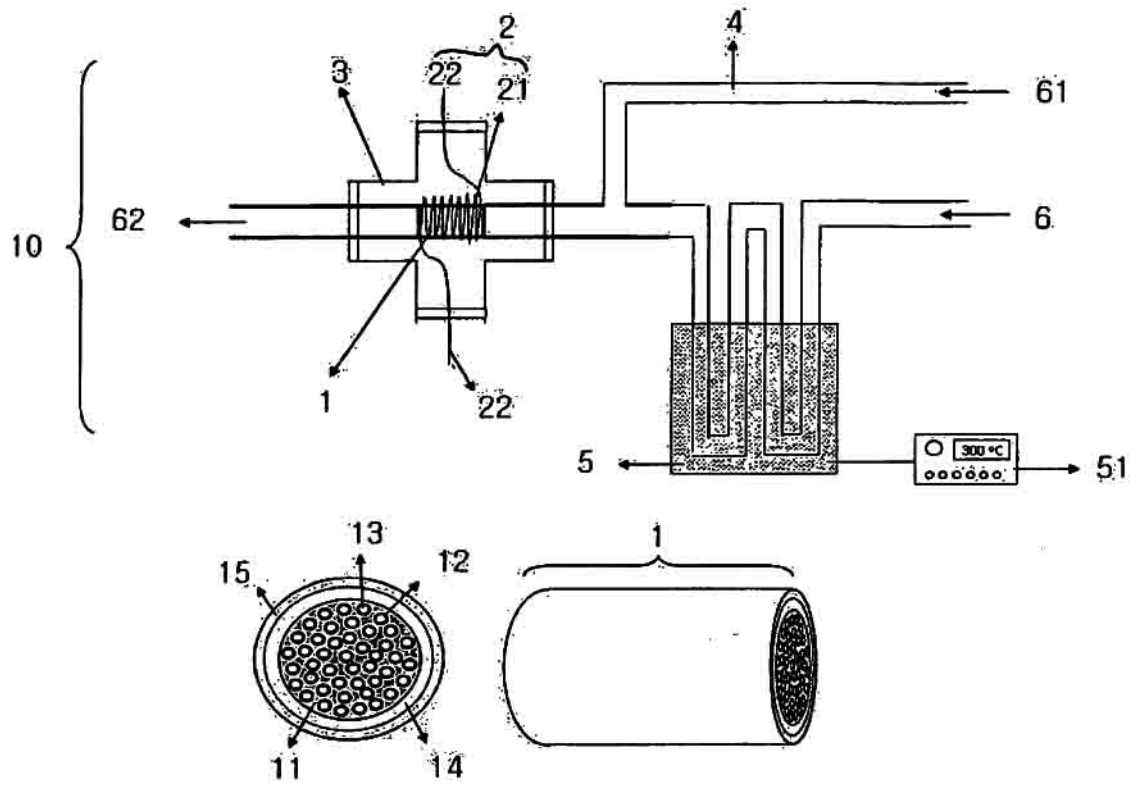
REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir un módulo de reactor micro tubular (1) para usar en sistemas de reactores micro catalíticos, comprendiendo el procedimiento:
- 5 preparar una solución de catalizador metálico (8) que tiene un catalizador metálico de tamaño nanométrico dispersado en la misma;
- recubrir con la solución de catalizador metálico (8) la superficie de un material de carbono de panal de abeja micro tubular (11), estando la superficie en contacto con flujo de fluido;
- 10 secar el material de carbono de panal de abeja micro tubular recubierto (11) y reducir entonces la superficie recubierta con catalizador metálico de tamaño nanométrico del material de carbono en una atmósfera reductora; y montar y sellar una estructura de reactor (15) en torno al material de carbono de panal de abeja micro tubular reducido (11) usando un adhesivo (14)
- en el cual el material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) se produce mediante las etapas siguientes:
- 15 mojar y lavar lo suficiente una micro fibra de celulosa con agua destilada y secar la micro fibra de celulosa lavada a temperatura ambiente;
- colocar la micro fibra de celulosa secada en un sistema de reactor para tratamiento térmico a alta temperatura y eliminar el oxígeno que permanece en el sistema de reactor por medio de una bomba de vacío; y
- 20 tratar térmicamente la micro fibra de celulosa en el sistema de reactor en una atmósfera de hidrógeno mientras se controla la temperatura del sistema de reactor en un intervalo de 500 – 1500 °C.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la etapa de preparar la solución de catalizador metálico (8) que tiene el catalizador metálico de tamaño nanométrico dispersado en la misma se lleva a cabo dispersando en agua destilada uno cualquiera o más seleccionados del grupo constituido por níquel, platino, paladio y rodio, en una concentración del 0,1 – 1 % en moles.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, en el cual recubrir con la solución de catalizador metálico (8) la superficie del material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) se lleva a cabo: colocando la dispersión de catalizador en una primera micro pipeta (7) para formar una gota y situando la primera micro pipeta (7) en un lado;
- 30 colocando el material de carbono de panal de abeja micro tubular anteriormente producido (11) en una segunda micro pipeta (7), sellando el espacio entre la segunda micro pipeta (7) y el material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) con un adhesivo óptico (71) y situando la segunda micro pipeta (7) en otro lado; y formando un gradiente de presión entre ambos extremos del material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) usando la fuerza capilar del material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) y una bomba de vacío de
- 35 forma que succione cuidadosamente la gota de solución de catalizador formada en la primera micro pipeta (7) y que recubra con catalizador la superficie de los micro túbulos fijados en la segunda micro pipeta (7), y repitiendo este proceso de formación de gradiente de presión para recubrir con catalizador la superficie de los micro túbulos.
- 40 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de montar y sellar la estructura de reactor (15) en torno al material de carbono de panal de abeja micro tubular reducido (11) usando el adhesivo (14) se lleva a cabo:
- 45 colocando el material de carbono de panal de abeja micro tubular reducido (11) en media estructura de reactor rellena con un adhesivo para cerámicos;
- cubriendo el material de carbono de panal de abeja micro tubular resultante (11) con otra media estructura de reactor rellena con un adhesivo para cerámicos, y secando el módulo de reactor micro tubular resultante a 100 – 150 °C durante más de 24 horas; y, a continuación, sellando todos los espacios en el módulo de reactor micro tubular
- 50 secado mediante soldadura láser, si la estructura de reactor (15) está hecha de un metal de acero inoxidable, o sellando los espacios con un adhesivo para cerámicos de alta temperatura, si la estructura de reactor (15) está hecha de un material cerámico.
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el cual el sellado del módulo de reactor (1) se lleva a cabo usando un adhesivo de base epoxi a una temperatura inferior a 300 °C o un adhesivo para cerámicos a una temperatura superior a 300 °C.
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual el material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) comprende unas cuantas decenas de micro túbulos en el mismo y mesoporos en su superficie.
- 60 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la micro fibra de celulosa comprende fibras naturales tales como henequén o *Setaria viridis*.
- 65 8. El módulo de reactor micro tubular (1) para uso en sistemas de reactores micro catalíticos, que se produce según el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

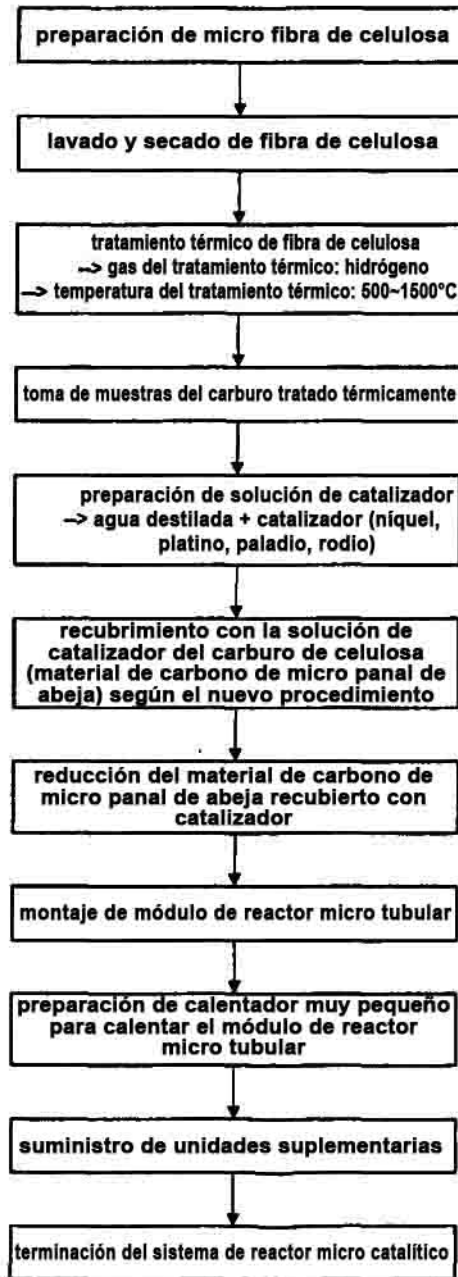
9. El módulo de reactor micro tubular (1) de la reivindicación 8, que comprende

5 una estructura de reactor (15) en torno a un material de carbono de panal de abeja micro tubular (11), estando la estructura de reactor (15) para fijar el módulo de reactor micro tubular (1) y conectar el mismo con una tubería de transporte de gas (4), y

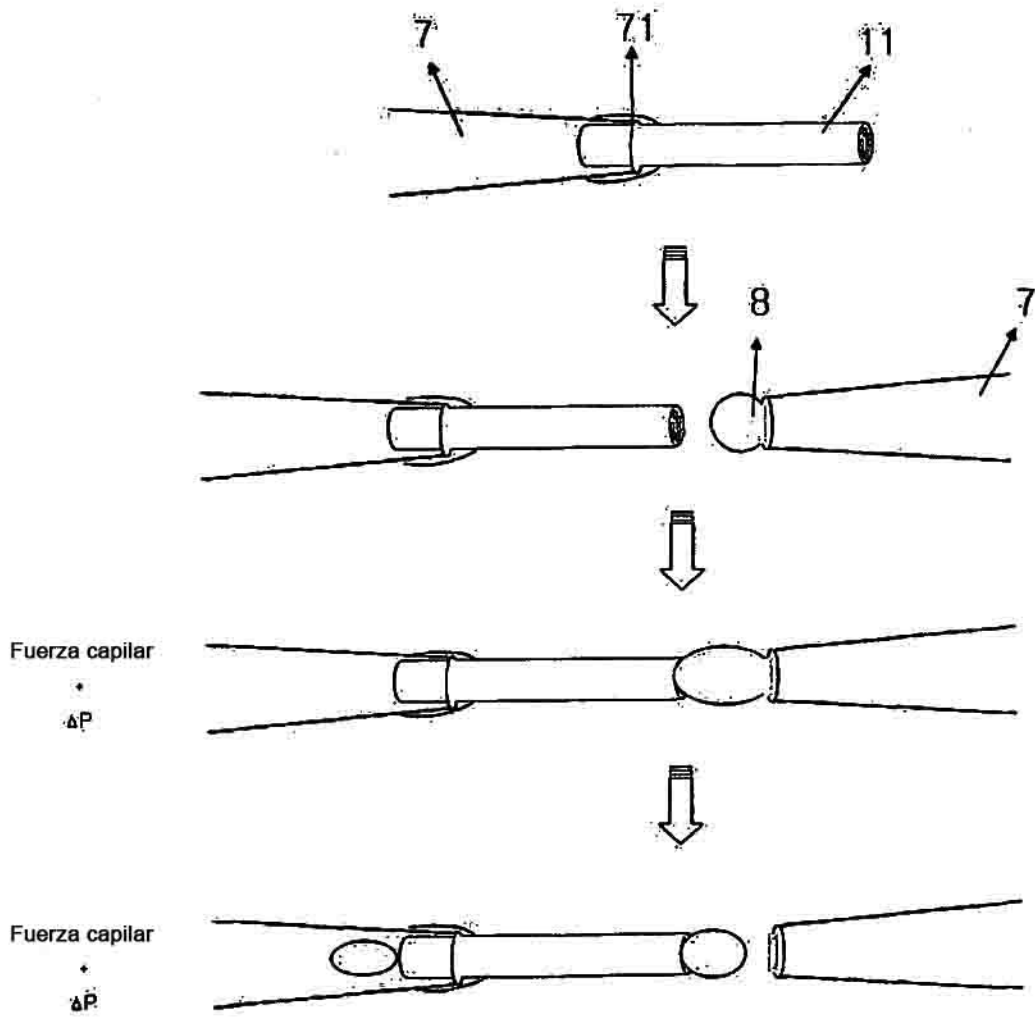
un adhesivo (14) para rellenar y sellar el espacio entre el material de carbono de panal de abeja micro tubular (11) y la estructura de reactor (15).



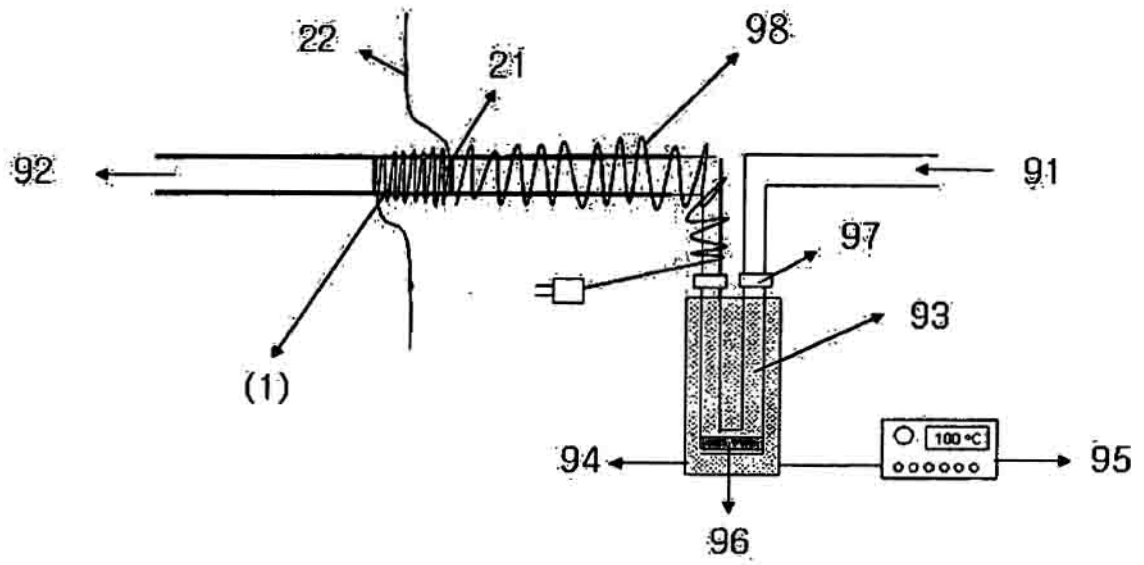
[FIG. 1]



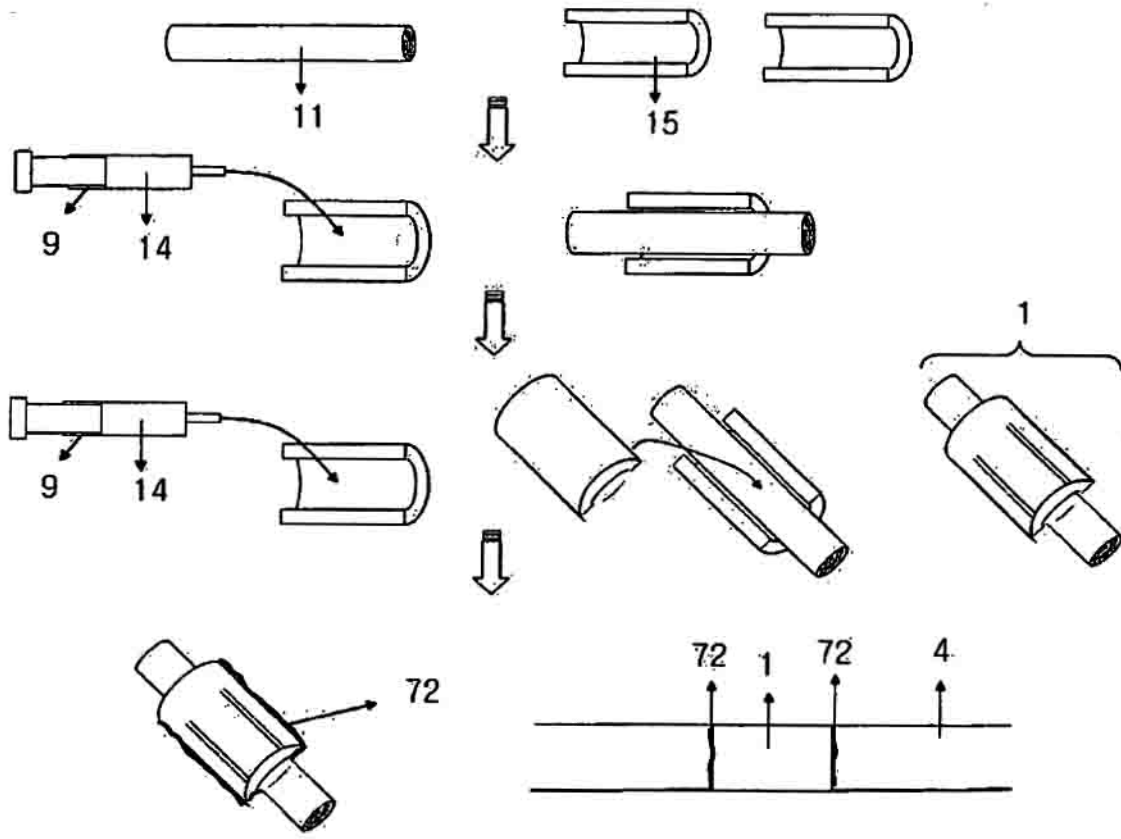
[FIG. 2]



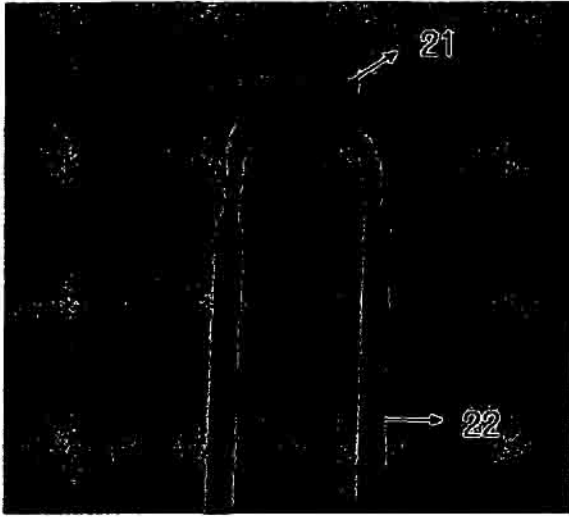
[FIG. 3]



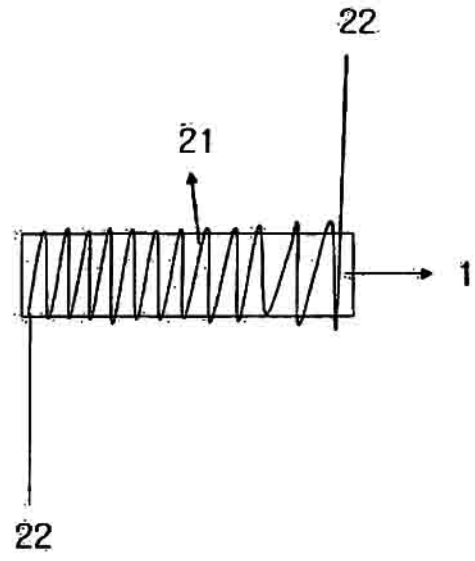
[FIG. 4]

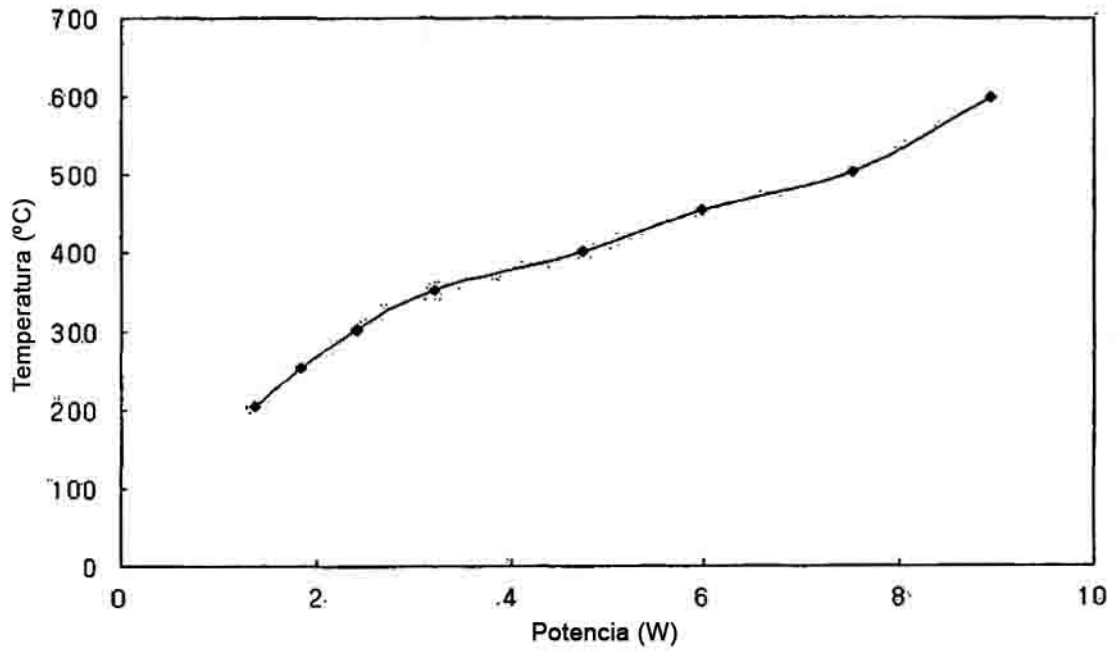


[FIG. 5]

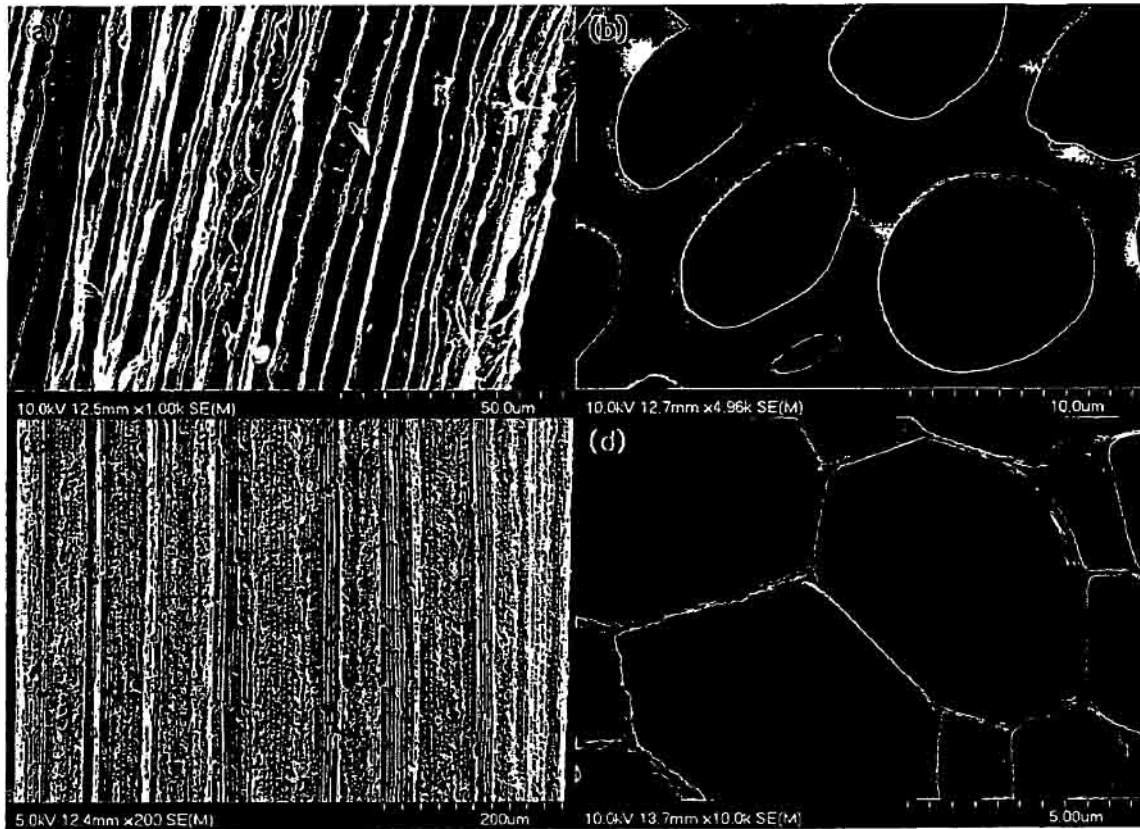


[FIG. 6]

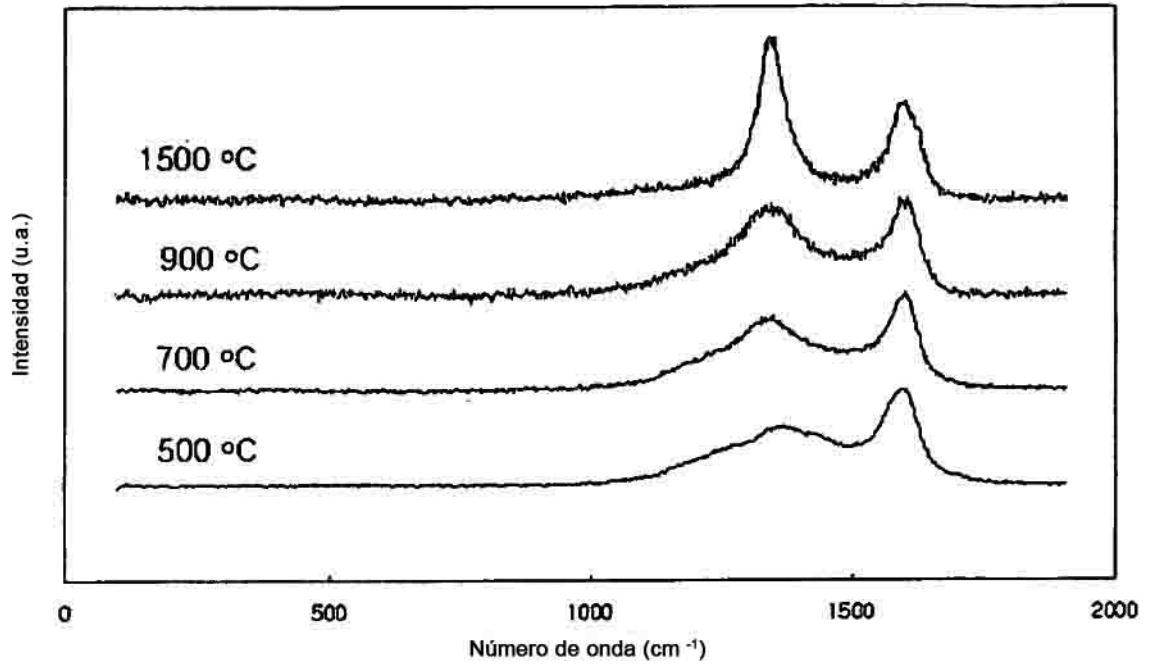




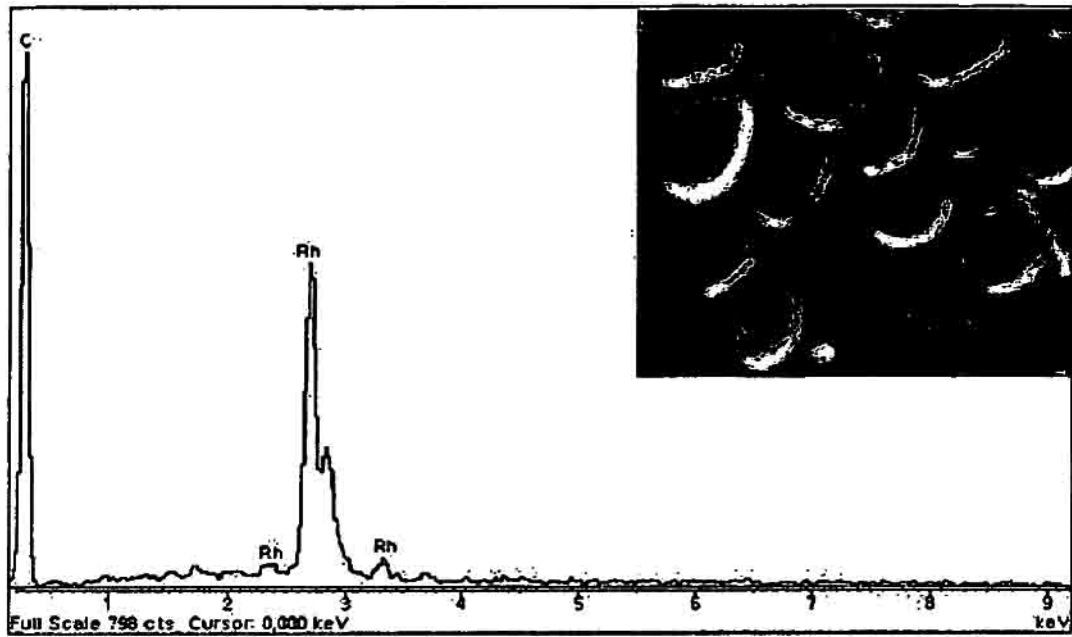
[FIG. 7]



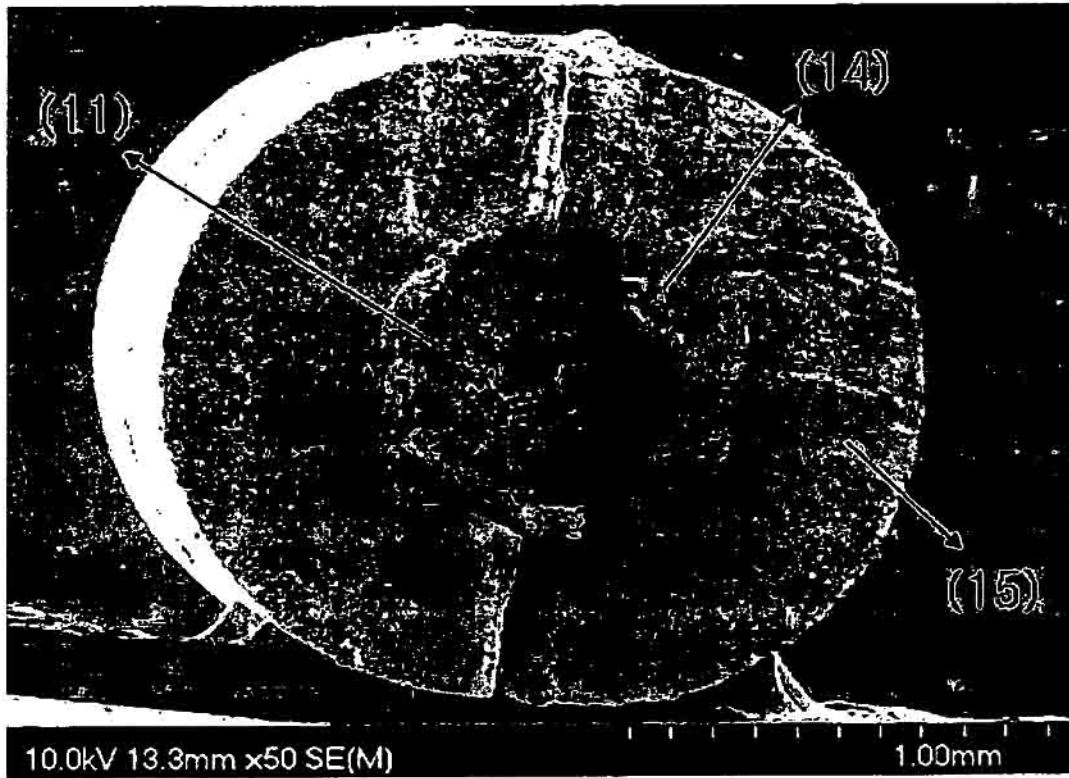
[FIG. 8]



[FIG. 9]



[FIG. 10]



[FIG. 11]