



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 266 865**

(51) Int. Cl.:
H01J 37/32 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03765091 .8**

(86) Fecha de presentación : **22.07.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1523755**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **20.04.2005**

(54) Título: **Reactor de plasma para llevar a cabo reacciones de gases y procedimiento de transformación de gases asistido por plasma.**

(30) Prioridad: **23.07.2002 DE 102 33 538**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2007

(73) Titular/es: **Iplas GmbH
Langbaurchstrasse 10
53842 Troisdorf, DE**

(72) Inventor/es: **Spitzl, Ralf;
Behr, Arno;
Wolff, Christian y
Oberreuther, Thorsten**

(74) Agente: **Cañadell Isern, Roberto**

ES 2 266 865 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

Reactor de plasma para llevar a cabo reacciones de gases y procedimiento de transformación de gases asistido por plasma.

La invención se refiere a un dispositivo para llevar a cabo reacciones de gases mediante un reactor de plasma, particularmente de gran volumen, circulado por una corriente de gas, equipado con una cámara de plasma, particularmente de forma cilíndrica. La invención se refiere asimismo a un procedimiento para llevar a cabo reacciones de gases, según el cual se pasa una corriente de gases o sustancias gasificables a través de un plasma excitado, particularmente por microondas.

Un dispositivo consistente particularmente en un reactor cilíndrico de plasma, al cual se introducen microondas a través de aberturas de acoplamiento, puede ser atravesado por gases, de manera que pueden producirse reacciones por excitación intensa de los gases mediante el plasma, particularmente reacciones de síntesis de sustancias y reacciones de purificación de gases.

Los dispositivos conocidos para generación de un plasma de microondas consisten en una cámara de plasma, un resonador que alimenta las microondas con un generador de microondas para la generación del plasma y en aberturas de acoplamiento, por ejemplo, ranuras, antenas o similares dispuestas regularmente en la pared metálica entre el resonador y la cámara de plasma para el acoplamiento de la microonda en la cámara de plasma.

Los reactores de plasma conocidos para llevar a cabo reacciones de gases utilizan plasmajets térmicos que precisan potencias elevadas de varios 10 KW y que calientan los gases de proceso a varios 1000 o incluso 10000 K. En estos reactores el aporte de potencia tiene lugar sobre pequeños volúmenes de plasma de algunos cm^3 con densidades de potencia de unos 1000 - 10000 W/cm^3 .

Según la DE 19 600 223 el resonador de sección cuadrada envuelve la pared metálica equipada con aberturas de acoplamiento de la cámara de plasma cilíndrica tubular.

Si bien las disposiciones según, por ejemplo, en el documento DE 19 600 223 generan plasmas en equilibrio térmico o atérmicos en cámaras de plasma con un volumen de algunos 1000 cm^3 y densidades de potencia de algunos W/cm^3 con una frecuencia de excitación de microondas de 2,45 GHz, no permiten el paso de grandes caudales ni las velocidades de gas correspondientes. La eficacia de estos plasmas atérmicos, es decir, la potencia utilizada/rendimiento de transformación de la sustancia es notablemente mejor, ya que no se desperdicia tanta energía para calentar el gas neutro, por regla general inservible.

Como frecuencia de excitación de microondas también son particularmente adecuadas las frecuencias comerciales utilizadas de 915 MHz o bien 440 MHz con fuentes de plasma correspondientemente escaladas.

Los resonadores conocidos y utilizables según la invención también pueden envolver totalmente una pared cilíndrica de la cámara de plasma dotada de aberturas de acoplamiento o envolverla parcialmente como segmentos de una camisa con el mismo eje longitudinal, o pueden estar dispuestos en el interior de la cámara de plasma, por ejemplo, en su eje. A través de

la geometría del resonador y de la cámara de plasma básicamente tubular cilíndrica y de la disposición regular de las aberturas de acoplamiento situadas entre ambas se forman en el interior de la cámara de plasma determinadas configuraciones de ondas con una eficacia óptima del plasma, es decir, los denominados modos. El generador de microondas también puede complementarse con o sustituirse por excitación química, electromagnética o bien de alta frecuencia.

Los gases son excitados por el plasma en la cámara de plasma, originándose fenómenos luminosos, entre otros. Una desventaja de los reactores conocidos es que una velocidad de corriente del gas baja es suficiente para alterar el plasma, expulsarlo de la cámara y dejar que se rompa, de modo que el plasma se apaga. Con los reactores conocidos no pueden alcanzarse grandes caudales de paso de gas ni velocidades altas de corriente de gas.

Mediante arco voltaico con electrodos de descarga también pueden llevarse a cabo reacciones y síntesis gaseosas conocidas, pero las temperaturas son excesivamente altas para numerosas finalidades, los electrodos interfieren la corriente de gas y el elevado consumo de energía es un inconveniente.

En WO98/19965 se da a conocer un dispositivo según el concepto principal de las reivindicaciones 1 y 8.

Un objetivo de la invención es conseguir un plasma bien distribuido, estable y particularmente atérmico con la consiguiente activación óptima del gas, particularmente en el caso de caudales de paso elevados, hacer aprovechables fuentes de plasma de gran volumen, para velocidades de gas elevadas de algunos m/s a algunos 10 m/s, particularmente las excitadas con microondas, es decir, sin electrodos, y garantizar un funcionamiento estable de larga duración, particularmente a presiones de algunos 100 mbar a algunos 10 bar.

Para el cumplimiento de este objetivo se propone un reactor de plasma circulado por gas para reacciones de gases que tiene elementos conformadores de flujo para la conducción de la corriente de gas según la reivindicación 1, así como un procedimiento para llevar a cabo reacciones de gases con caudales volumétricos elevados con este dispositivo según la reivindicación 8.

Como gases de reacción entran particularmente en consideración los gases de difícil activación y, por tanto, poco reactivos como, por ejemplo, dióxido de carbono, agua y también nitrógeno, metano y gas natural.

Según la invención se prevé crear en el dispositivo al menos una zona de calma en la corriente de gas, particularmente en el centro, mediante los elementos de conformación de flujo. Dentro de una zona de calma de este tipo puede generarse el plasma de un modo especialmente estable.

El plasma permanece estable, incluso a velocidades absolutas de corriente de gas elevadas, ya que la velocidad de la corriente de gas se reduce en la zona de calma, de modo que se impide la rotura del plasma aunque los caudales de gas sean elevados.

Mediante los elementos conformadores de flujo se consigue particularmente que:

1) el contacto entre el plasma y la pared del reactor (recipiente construido, por ejemplo, de un tubo de vidrio de cuarzo o de cerámica) sea pequeño y, por otra parte 2) se genere una zona de calma (normalmente

en el centro de la fuente de plasma o bien en el centro del recipiente).

El punto 1) conduce a una duración larga del dispositivo según la invención, debido a la pequeña carga térmica del recipiente y el punto 2) conduce a un aporte estable de potencia en el plasma.

La invención se refiere a fuentes de plasma de gran volumen, es decir, fuentes de plasma en las que el volumen de la cámara de plasma es superior al volumen de una λ (una longitud de onda) del guía de microondas alimentador (en general un guíaondas) o bien/o a fuentes de plasma cuyas longitudes (en el sentido de la corriente) son superiores/iguales a una longitud de onda.

En el volumen de la cámara de plasma no se incluye el sector remoto de la fuente de plasma, en el cual el plasma es desalojado por la corriente de gas, sino únicamente el sector en el que todavía se alimenta potencia de microondas al plasma.

La invención no se refiere en particular a los conocidos plasmajets/fuentes de chorro de plasma, los cuales presentan un volumen de plasma pequeño. Asimismo, la invención tampoco se refiere a las conocidas fuentes de plasma de baja presión.

El dispositivo presenta según la invención una cámara de plasma preferiblemente cilíndrica tubular circular por gas a modo de reactor de plasma con aberturas de acoplamiento para la alimentación de la potencia de microondas, según el caso a través de un resonador alimentador de microondas, así como elementos conformadores de flujo para la corriente de gas. El resonador alimentador puede envolver totalmente o al menos parcialmente la cámara de plasma como camisa o camisa parcial en forma de anillo guía o de resonador coaxial, pudiendo la propia cámara de plasma hacer de resonador y formar modos.

A este respecto puede estar previsto accionar el plasma por impulsos, por ejemplo, con frecuencias de impulso de 1 Hz a 50 KHz. La impulsión puede producirse por orientación pulsante del generador de microondas o por acoplamiento pulsante en el reactor de plasma, particularmente el resonador. De este modo puede mejorarse el rendimiento de transformación de la sustancia y aumentarse el aporte de energía.

La generación de un plasma mediante microondas tiene la ventaja de permitir producir un plasma atómico, es decir, un plasma que presenta una elevada proporción de energía para activar los electrones, pero que muestra un calentamiento térmico bajo. Esto tiene como consecuencia una mayor eficacia energética en comparación con otras generaciones de plasma, por ejemplo, mediante arco voltaico. La energía necesaria es del orden de 10 a 100 veces inferior a la que precisa la generación de plasmas térmicos.

En las caras frontales del reactor de plasma pueden preverse conexiones para la alimentación de gas y en la cara opuesta conexiones para la salida de gas, en donde los elementos o dispositivos conformadores de flujo distribuyen los gases y originan particularmente una corriente de gas rotatoria, en cuyo núcleo central la velocidad de rotación es mínima de modo que la zona en calma se origina en el centro de la rotación.

Una realización de la invención se refiere a una disposición según la cual la corriente de gas alimentada a la cámara de plasma se pone en rotación mediante elementos conformadores de flujo inmediatamente delante de la cámara.

Otra realización posee elementos conformadores

de flujo que cambian la dirección de la corriente de gas inmediatamente detrás de la cámara de plasma y producen, de ese modo, una rotación de la corriente de gas en la fuente de plasma.

La cámara de plasma de forma preferiblemente cilíndrica y la disposición de las aberturas de acoplamiento así como, particularmente, la distribución de la corriente de gas con al menos una zona de corriente en calma producen un plasma bien distribuido y estable y la correspondiente activación óptima del gas.

El procedimiento tiene la ventaja de que también pueden generarse plasmas grandes, particularmente a la frecuencia de microondas de 2,45 GHz. Así, el volumen de la cámara de plasma puede estar preferiblemente en el intervalo de 0,5 a 5 litros. De este modo se obtienen zonas de excitación de plasma de aproximadamente 1 a 2 litros de volumen, en las cuales se genera preferiblemente un apaciguamiento de la corriente de gas.

Puede aprovecharse una disposición preferida de los elementos conformadores de flujo simétrica respecto al eje del reactor para generar de un modo particularmente eficaz un apaciguamiento de la corriente de gas, en particular mediante la mencionada rotación preferida de la corriente de gas. La distribución y rotación preferida de los gases en toda la cámara de plasma del reactor y del tubo de reacción mediante los elementos conformadores de flujo permiten un elevado caudal de paso de sustancia o de gas y un elevado rendimiento de transformación de las sustancias reactivas.

La alimentación de la potencia de microondas a través de las aberturas de acoplamiento se realiza preferiblemente a través de resonadores de anillo o resonadores coaxiales que pueden envolver la cámara de plasma en forma de camisa o de camisa parcial.

Como elementos conformadores de flujo sirven, entre otros, chapas de choque, toberas, diafragmas, rejillas, conos, elementos de impacto, tubos de torbellino, ciclones, turbinas o diafragmas perforados, de modo independiente o combinados entre sí.

Se ha previsto preferiblemente que los elementos conformadores de flujo estén dispuestos de modo regulable para poder ajustar la corriente de gas en caso necesario y, p. ej., apaciguar la corriente de gas en mayor o menor grado.

En particular los diafragmas anulares o toberas anulares regulables dispuestas simétricamente a la corriente de gas y al eje y/o las toberas circularmente dispuestas de alimentación tangencial producen la rotación en el reactor y en el tubo del reactor o bien en el tubo de reacción complementaria. Estos elementos conformadores de flujo son particularmente eficaces a la entrada del gas y a la salida del gas del reactor y en la parte delantera del tubo de reacción.

Los elementos conformadores de flujo hacen posible una alimentación de gas ordenada, por ejemplo, rotatoria y una velocidad de gas inesperadamente alta, es decir, caudales de paso elevados, sin que el plasma sea expulsado totalmente del reactor, puesto que la zona de calma de la corriente estabiliza el plasma.

La excitación de los gases mediante el plasma puede realizarse en el reactor, mientras que la subsiguiente reacción de los gases tiene lugar en el tubo de reacción. Por tanto, se puede alimentar una parte del gas o uno de varios componentes de la reacción o gases inertes a la corriente de gas preferiblemente a la salida del reactor. Asimismo es posible alimentar

materias auxiliares a la entrada de gas o en el tubo de reacción.

El dispositivo con los elementos conformadores permite manejar los gases en el intervalo de la presión atmosférica a 0,1 - 10 bar, especialmente a 0,3 - 1,5 bar. En reactores de, p. ej., 2,45 GHz con, p. ej., 100 mm de diámetro se alcanzan corrientes de gas de 0,1 m³/h a 300 m³/h, particularmente de, p. ej., 10 a 100 m³/h. Las velocidades de gas correspondientes son de 1 a 15 m/s. Los reactores de hasta 1000 mm de diámetro proporcionan caudales de paso considerablemente mayores de hasta algunos 1000 m³/h.

Cuando hay un tubo de reacción acoplado, éste tiene preferiblemente la misma dirección axial, pero puede tener un diámetro diferente.

El plasma activa tan intensamente los gases, que puede ser conveniente o necesario refrigerar éstos. Para ello pueden utilizarse elementos de refrigeración como cámaras o camisas de refrigeración en las paredes del tubo de reacción y, según el caso, a la entrada y a la salida de gas del reactor.

Se puede conseguir una refrigeración eficaz particularmente también mediante corriente de gases enfriados o mediante alimentación de gases fríos como, por ejemplo, argón o por síntesis de parte de los componentes de la reacción al principio del tubo de reacción o dentro de él. Mediante enfriamiento orientado es posible la formación selectiva de productos. Los gases fríos se alimentan preferiblemente mediante toberas anulares, separaciones ranuradas o tubos de inyección de acción tangencial, pudiendo actuar todos ellos asimismo como elementos conformadores de flujo. Mediante estos elementos de refrigeración y la adición, según el caso, de gases fríos pueden regularse los intervalos de temperatura correspondientes a los grados de transformación y los rendimientos más altos para la correspondiente reacción o transformación. Los intervalos de temperatura preferidos son de 100 a 1000 grados Celsius. Pueden conseguirse grados de transformación de hasta el 100% y rendimientos en el intervalo de 10% a 100%.

En el reactor puede haber un recipiente permeable a microondas de, p. ej., vidrio de cuarzo, cerámica o similares dispuesto paralelamente a la pared del cilindro. La pared del recipiente puede estar dentro del tubo de reacción o ser parte del tubo de reacción.

En el tubo de reacción pueden introducirse, especialmente desde la parte trasera y en dirección axial, aparatos de medida o tubos de toma de muestras y/o un tubo de alimentación deslizante para otros gases o refrigerantes (ver Fig. 1). En el tubo de reacción puede utilizarse todo tipo de catalizadores para acelerar las correspondientes reacciones, en particular sobre pisos, preferiblemente dispuestos en un cesto deslizante o en forma de granulado, retículas o similares.

El procedimiento para llevar a cabo reacciones de gases mediante transformación asistida por plasma puede tener lugar en particular con el dispositivo descrito. Los elementos conformadores de flujo producen una distribución del gas que conduce a un apaciguamiento en la corriente de gas, de modo que el plasma puede arder de forma estable especialmente en la zona calmada de la corriente de gas. Se prefiere particularmente una rotación de la corriente de gas, con la cual puede aumentarse extraordinariamente la velocidad de la corriente y el caudal de paso, así como la integridad de la transformación. Mediante refrigeración del dispositivo y mediante alimentación de materias

de partida refrigeradas, gases fríos o materias auxiliares aumenta el caudal de paso y, dependiendo de la reacción que se lleva a cabo, el grado de transformación.

La activación o bien excitación de los componentes de la reacción tiene lugar en el reactor de plasma. Una activación de los gases alimentados por encima de la fuente de plasma tiene lugar a la entrada del tubo de reacción, con la condición de que el plasma sea evacuado junto con la corriente de gas, lo cual es posible siempre y cuando el plasma se mantenga estable dentro del reactor. La transformación propiamente dicha tiene lugar en su mayor parte dentro del tubo de reacción.

Con frecuencia es conveniente introducir sólo una parte de los gases a través del reactor de plasma, o sólo uno de varios componentes de la reacción, e introducir otros componentes, gases auxiliares o incluso sustancias líquidas como, por ejemplo, agua por la parte delantera del tubo de reacción. La temperatura de la reacción se controla especialmente mediante alimentación de gases fríos de todo tipo al tubo de reacción y mediante refrigeración del tubo de reacción y, de este modo, se aumenta el caudal de paso y el grado de transformación.

Se pueden incorporar catalizadores apropiados de tipo y forma conocidos para la correspondiente reacción, p. ej., sobre soportes, disponerlos sobre pisos en el tubo de reacción o utilizarlos convenientemente en un cesto deslizante para catalizadores. Los catalizadores sensibles pueden introducirse por la parte posterior del tubo de reacción, por ejemplo, impulsados directamente por una corriente de gases fríos o gases auxiliares. Los polvos finamente dispersos y, consiguientemente, también los catalizadores finamente dispersos, las suspensiones o los gases con actividad catalítica pueden introducirse directamente a través del reactor de plasma.

La presión puede encontrarse especialmente en el intervalo de la presión normal con plasmas estacionarios o pulsantes en el dispositivo, por ejemplo, entre 0,1 y 10 bar. Son posibles velocidades de gas de, por ejemplo, 0,1 a 10 m/s para, por ejemplo, un diámetro de tubo de reacción de 100 mm, es decir para un diámetro muy pequeño y un aparato pequeño. Se alcanzan caudales volumétricos de gas de 1 a 300 m³/h. En el caso de diámetros de tubo de 300 a 1000 mm son posibles caudales de paso correspondientemente elevados de 100 hasta algunos 1000 m³.

Debido a la excitación elevada del plasma las temperaturas de las reacciones de gas correspondientes son más bajas que las de reacciones equivalentes realizadas, por ejemplo, en arco voltaico o mediante excitación térmica. Por tanto, se generan predominantemente en particular los denominados plasmas atérmicos en un intervalo de temperatura de preferiblemente 200 a 2000 grados Celsius. En consecuencia, la solitación del material del dispositivo, entre otros, acero inoxidable o vidrio de cuarzo, es baja, este no sufre ningún deterioro ni corrosión y tiene una vida útil larga. Los catalizadores también tienen una vida prolongada.

Se puede llevar a cabo la purificación de gases de escape o de gases residuales, por ejemplo, procedentes de procesos industriales y también síntesis de sustancias a partir de gases o líquidos gasificables en fase gaseosa, particularmente a partir de gases difícilmente activables como CO₂, N₂, SF₆, CF₄, C₂F₆ o H₂O. Las

impurezas en forma de gas o de vapor pueden destruirse en una corriente de escape de gases mediante un agente reductor o un agente oxidante adecuado.

Con frecuencia se alcanzan rendimientos y grados de transformación elevados de hasta 100%.

Para la fabricación de gas de síntesis pueden utilizarse vapor de agua e hidrocarburos. La fabricación de gas de síntesis también puede hacerse a partir de hidrocarburos líquidos o gaseosos y dióxido de carbono a temperaturas de gas neutro inferiores a 1000°C con o sin la utilización de catalizadores.

Para la fabricación de hidrógeno puede transformarse, por ejemplo, gas natural mediante plasmas de argón o plasmas de hidrógeno.

Son ejemplos de síntesis de sustancias a partir de gases la fabricación de amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno en relación molar 1:3, así como las reacciones de pirolisis, por ejemplo, la descomposición de metano u otros hidrocarburos para dar hidrógeno y negro de humo altamente activo de partícula fina, el cual tiene múltiples aplicaciones, entre otras, la de toner para máquinas copiadoras. Una reacción importante es la de fabricación de gas de síntesis, es decir, de CO y H₂, partiendo de metano o de hidrocarburos de bajo peso molecular. En esta fabricación puede haber desviaciones del 20% respecto a las cantidades molares teóricas. La reacción de vapor de agua seco con metano transcurre en relación molar 1:1 y proporciona teóricamente 3 moles de H₂ por mol de CO, por lo que se utiliza predominantemente para la fabricación de hidrógeno. La reacción de CO₂ con hidrocarburos produce cantidades molares iguales de CO y de H₂, referidas a metano, y sirve para la fabricación de productos derivados del gas de síntesis. Un exceso de metano o bien la adición o la realimentación de hidrógeno evita reacciones secundarias y permite alcanzar transformaciones de hasta el 98% con una selectividad muy alta. El hidrógeno o el gas de síntesis realimentado pueden añadirse, por ejemplo, a través de la tobera anular 11 de la Fig. 1.

Es posible utilizar catalizadores en el tubo de reacción. Esto es particularmente válido para catalizadores heterogéneos sobre soportes adecuados como, por ejemplo, óxido de aluminio o carburo de silicio. Como catalizadores también son apropiados monolitos revestidos y zeolitas con o sin dopaje.

Como componentes activos del catalizador entran en consideración, por ejemplo, todos los óxidos metálicos como los de hierro, cobre, cinc o níquel, así como óxidos mixtos de varios metales. Además de los óxidos se pueden utilizar también metales puros. Estos son, por ejemplo, paladio, platino, rodio así como cobre, hierro, cobalto, titanio, níquel así como cinc.

La incorporación del catalizador al tubo de reacción se hace preferiblemente sobre pisos deslizables.

Pueden formarse hidrocarburos de cadena larga y/o hidrocarburos aromáticos de alta calidad utilizando olefinas en estado gaseoso por alimentación con y sin reacción con dióxido de carbono con y sin catalizadores.

Reacciones posibles con catalizadores son la formación de hidrocarburos de cadena larga con y sin incorporación de oxígeno de forma similar a la síntesis Fischer-Tropsch, moléculas aromáticas, la síntesis de amoníaco así como el aumento de rendimiento evitan simultáneamente la formación de negro de humo en la producción de gas de síntesis. El procedimiento sirve también para la fabricación de amoníaco o hi-

dracina a partir de mezclas de hidrógeno y nitrógeno con y sin utilización de catalizadores.

La purificación de gases de escape produce la oxidación total de múltiples gases de escape, liberándolos de componentes indeseados, nocivos o tóxicos como el monóxido de carbono, dioxina, furanos, HFC, HF, HC y otros compuestos hidrocarburos. El dispositivo permite la alimentación a través de las conducciones de gas de, por ejemplo, aire u oxígeno o bien de gases reductores como amoníaco, hidrógeno o sus mezclas con un gas de escape. Mediante selección de las temperaturas adecuadas y de aditivos adecuados, así como catalizadores eficaces, pueden purificarse también gases de escape difíciles de transformar o que se transforman frecuentemente de forma incompleta.

Son ejemplos de gases de escape susceptibles de transformación los residuos de la obtención y procesamiento de petróleo y de gas natural, residuos de reacciones químicas y los residuos de las materias de partida o de los productos cuando no vale la pena recuperarlos o bien se precisa una purificación por oxidación o reducción sin ninguna otra reacción antes de la emisión al exterior.

En el plano de las figuras 1 a 4 se representa la sección del dispositivo según la invención para llevar a cabo reacciones de gases mediante tratamiento de plasma. En el plano se han omitido en parte el conocido resonador alimentador y los elementos de acoplamiento de la pared del reactor de plasma.

La Fig. 1 muestra este dispositivo, en el cual se introduce desde abajo por la cara frontal de la cámara de plasma por medio de la entrada de gas 1 conformada como elemento conformador de flujo, por ejemplo, una corriente de gas rotatoria de las materias de partida, se distribuye en el reactor de plasma o bien en la cámara de plasma 2 y se conduce a través del tubo de reacción 5, que tiene el mismo eje que el reactor, para completar la reacción y, por último, se evacua por la salida de gas 12.

En la entrada de gas al reactor y en la salida de gas del reactor, o bien en la entrada al tubo de reacción hay dispuestas cámaras de refrigeración anulares 10 y anillos refrigerados 3. Las conducciones para otros gases o para materias auxiliares están dispuestas en forma de toberas anulares 11 en la salida del reactor y en forma de tubo deslizante axial 6 con entrada de gas en contracorriente. A través del cabezal refrigerante 8 se ha introducido un aparato de medida 13 y un tomador de muestras deslizante 9.

Cuando el tubo de reacción 5 está construido de vidrio, cuarzo o similares puede envolverse con un tubo de protección 4 metálico. El cesto de catalizador 7 deslizante contiene un catalizador granulado o aplicado sobre soporte que acelera la reacción de gas correspondiente.

La Fig. 2 muestra un plano de corte de un dispositivo para tratamiento de gases constituido por cámara de plasma 2, resonador de plasma anular 14 para la alimentación del plasma y recipiente 15 de cuarzo. Los gases procedentes de la entrada de gas 1 son conducidos a gran velocidad por el elemento conformador de flujo 16 a modo de cámara de torbellino a través de orificios 22 dispuestos en filas tangencialmente al eje según una rotación indicada por flechas a través de la cámara de plasma 2 hacia el diafragma perforado 17 y al interior del tubo de reacción 5 para la reacción complementaria. A través de la tubuladura 18 se introduce más gas u otro componente de la reac-

ción en una camisa que envuelve el tubo de reacción 5 y se conducen a este a través de la ranura circular 19 en dirección de la salida de gas 12.

La Fig. 3 muestra un plano de corte de un dispositivo para tratamiento de plasma con una cámara de plasma 2 ilustrada esquemáticamente y el recipiente 15 de cuarzo de vidrio como tubo de reacción consecutivo. Como elemento conformador de flujo en la entrada de gas 1 hay un cono 20 que distribuye la corriente de gas indicada mediante flechas y la conduce a través de la cámara de plasma hasta la salida de gas, no ilustrada en la figura. Detrás del cono se

genera una zona en calma en el centro de la corriente de gas.

La Fig. 4 muestra un plano de corte de un dispositivo como el de la Fig. 3 con una ranura circular 21 corrediza en la entrada de gas 1 y un diafragma perforado 17 que conduce al tubo de reacción. El tubo de reacción y la cámara de plasma tienen una pared 15 continua. Las suspensiones y granulados finos pueden conducirse junto con los gases a través del reactor de plasma 2 y el tubo de reacción y separarse a la salida.

La Fig. 5 ilustra ejemplos de reacciones posibles.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para llevar a cabo reacciones de gases que comprende un reactor de plasma circulado por los gases con una cámara de plasma particularmente cilíndrica, en el que hay dispuestos elementos conformadores de flujo para los gases delante y/o en y/o detrás del reactor de plasma para crear una corriente de gas en la cámara de plasma de modo que se forme al menos una zona en calma, particularmente en el centro de la corriente de gas, **caracterizado** por estar los elementos conformadores de flujo dispuestos de forma regulable.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** por estar formados los elementos conformadores de flujo dispuestos en la corriente de gas por conos (20), gotas, ranuras circulares (21), diafragmas, rejillas, elementos de choque, tubos de torbellino (16), ciclones o turbinas.

3. Dispositivo según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por encontrarse un tubo de reacción dispuesto axialmente detrás del reactor.

4. Dispositivo según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por encontrarse dispuestas cámaras de refrigeración a la entrada y/o a la salida del reactor y/o dentro y/o en la pared del tubo de reacción.

5. Dispositivo según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por haberse previsto elementos de introducción, particularmente toberas, ranuras o tubos, para la introducción de refrigerantes, particularmente gases fríos, sustancias líquidas o porciones de las materias de partida.

6. Dispositivo según la reivindicación 5, **caracterizado** porque los elementos de introducción constituyen elementos conformadores de flujo.

7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por haber catalizadores dispuestos en el tubo de reacción, particularmente de

modo deslizante, particularmente catalizadores heterogéneos sobre pisos, en un cesto o como monolito.

8. Procedimiento para llevar a cabo reacciones de gases conduciendo una corriente de gases o de sustancias gasificables a través de un plasma excitado por microondas, particularmente un plasma en desequilibrio térmico, en una cámara de plasma de un reactor de plasma para la transformación de los componentes, particularmente en un dispositivo según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por la creación de al menos una zona en calma en la corriente de gas mediante elementos regulables conformadores de flujo para la producción de un plasma estable en el interior de una zona de este tipo.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** por conseguirse una rotación de la corriente de gas con los elementos conformadores de flujo.

10. Procedimiento según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por la recuperación de calor mediante un intercambiador de calor integrado en el tubo de reacción, particularmente mediante utilización de una superficie de intercambio negra para el aprovechamiento de la energía de radiación.

11. Procedimiento según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por la introducción de gases o aerosoles, en particular hidrógeno, a través de toberas para la regulación de la temperatura, particularmente en la zona de reacción o bien en la zona de recombinación y particularmente por medio de los alimentadores (3) para una activación más eficaz detrás del plasma.

12. Procedimiento según alguna de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el plasma se impulsa de modo pulsante, particularmente mediante control pulsado del generador de microondas y/o el acoplamiento pulsado de las microondas en el resonador, particularmente a frecuencias de pulsación de 1 Hz a 50 KHz.

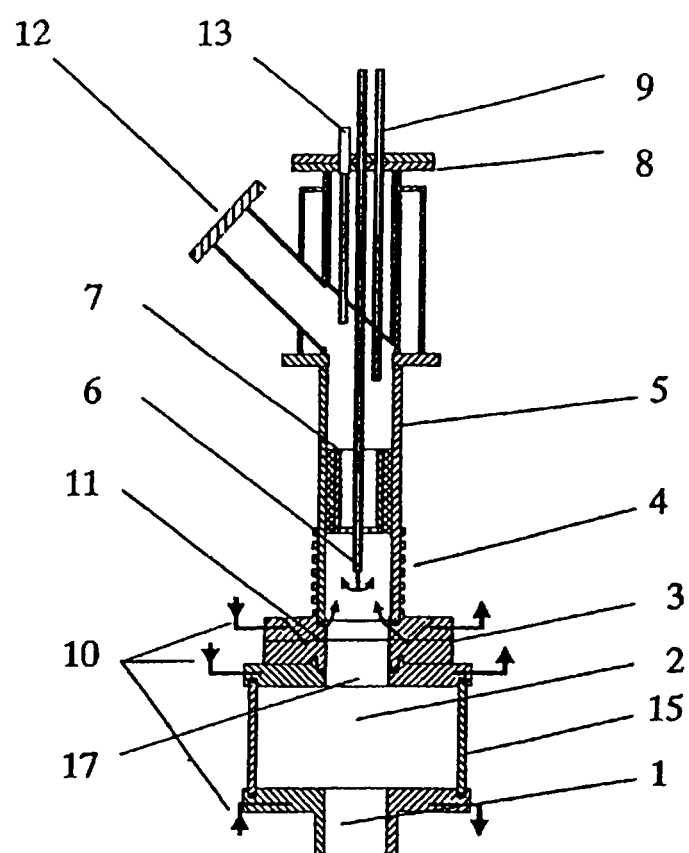


Figura 1

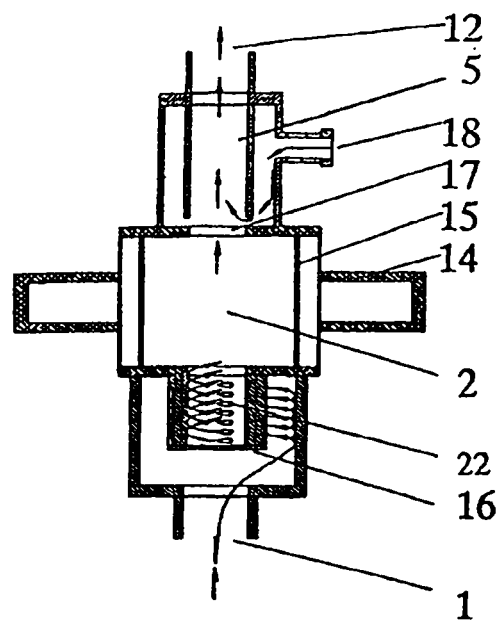


Figura 2

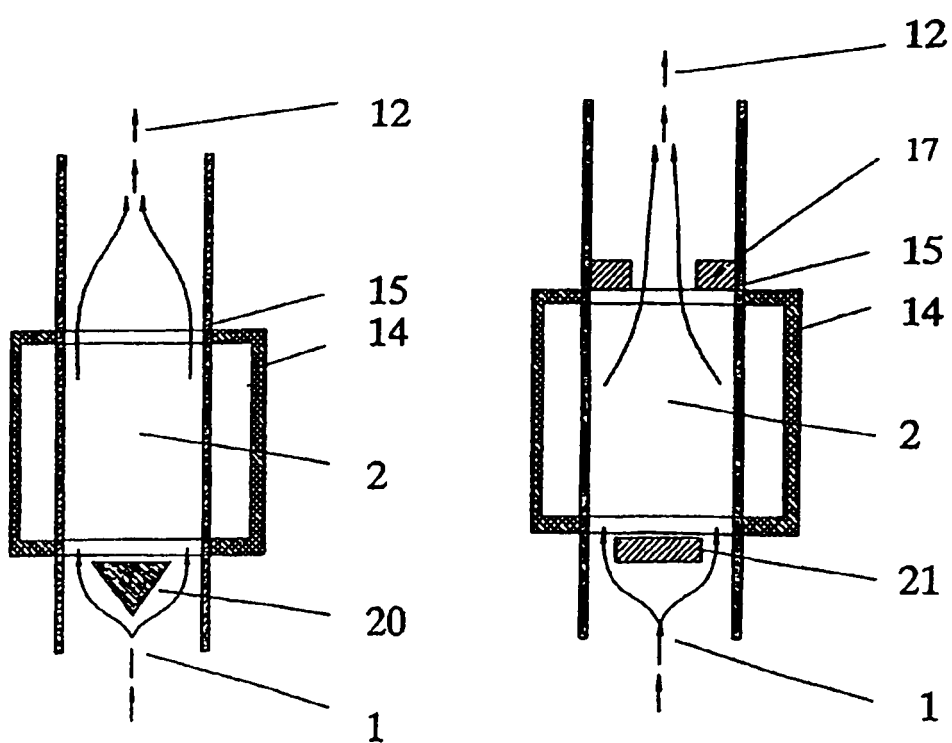


Figura 3

Figura 4

ES 2 266 865 T3

Figura 5:

Producción de gas de síntesis sin adición de hidrógeno				
$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 68/18/13 \%$	
P = 4500 W		V = 40 l/min.		Sin catalizador
Transformación			Rendimiento	
CO_2	CH_4	H_2	CO	H_2
0,91	0,99	-	0,83	0,93

Producción de gas de síntesis con adición de hidrógeno				
$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2 = 70/15/11/4 \%$	
P = 5000 W		V = 40 l/min.		Sin catalizador
Transformación			Rendimiento	
CO_2	CH_4	H_2	CO	H_2
0,95	0,99	0,10	0,96	0,95

Producción de acetileno				
$\text{CO}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4 = 73/21/6 \%$	
P = 3500 W		V = 38,5 l/min.		Sin catalizador
Transformación			Rendimiento	
CO_2	C_2H_4	H_2	CO	C_2H_2
0,21	0,55	-	0,17	0,07

Producción de benceno sobre catalizadores de cobre				
$2 \text{CO}_2 + 2 \text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 4 \text{H}_2\text{O}$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4/\text{H}_2 = 66/19/9/6 \%$	
P = 4500 W		V = 42,5 l/min.		Catalizador de cobre
Transformación			Rendimiento	
CO_2	C_2H_4	H_2	CO	C_6H_6
0,37	0,23	0,65	0,25	0,02