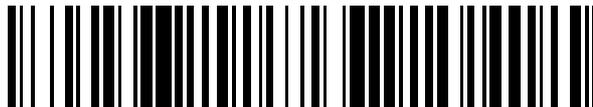


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 718**

51 Int. Cl.:

**G21C 19/317** (2006.01)

**G21C 9/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2008** **E 08858970 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013** **EP 2229681**

54 Título: **Elemento recombinador**

30 Prioridad:

**12.12.2007 DE 102007060372**

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

**03.01.2014**

73 Titular/es:

**AREVA NP GMBH (100.0%)  
PAUL-GOSSEN-STRASSE 100  
91052 ERLANGEN, DE**

72 Inventor/es:

**ECKARDT, BERND;  
BETZ, RICHARD y  
HILL, AXEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 436 718 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

## Elemento recombinador

5 La invención se refiere a un elemento recombinador, de forma particular para el uso en un sistema de seguridad para una instalación nuclear, con una cantidad de elementos de catalizador dispuestos en una carcasa común, que desencadenan respectivamente con hidrógeno conducido en una corriente de gas de alimentación una reacción de recombinación con oxígeno, rodeando la carcasa los elementos de catalizador dispuestos en su interior a modo de embudo, de modo que el calor liberado en la reacción de recombinación soporta la corriente de gas dentro de la carcasa mediante convección.

10 En una instalación nuclear, de forma particular en una central de energía nuclear, se debe tener en cuenta situaciones de accidente o siniestro, en las que por ejemplo puede darse debido al calentamiento del núcleo una oxidación de circonio, con la formación y liberación de gas hidrógeno y monóxido de carbono dentro del recipiente o contenedor de seguridad que rodea al núcleo del reactor. Particularmente tras un accidente con pérdida de refrigerante se pueden liberar cantidades grandes de hidrógeno. De este modo pueden generarse dentro del contenedor mezclas de gas explosivas. Sin contramedidas es posible el enriquecimiento de hidrógeno en la atmósfera del contenedor, de modo que con una ignición ocasional podría poner en riesgo la integridad del recipiente de seguridad con la combustión de una gran cantidad de hidrógeno.

15 Para evitar la formación de tales mezclas de gas explosivas en el contenedor de una planta de energía nuclear se discuten diversos dispositivos o procedimientos. A estos pertenecen, por ejemplo, dispositivos como recombinadores catalíticos, dispositivos de ignición operados catalíticamente y/o eléctricamente o la combinación de ambos dispositivos citados previamente así como procedimientos de una inertización permanente del contenedor.

20 Con el uso de un sistema de ignición para la eliminación del hidrógeno de la atmósfera del contenedor se debe conseguir una recombinación fiable del hidrógeno con oxígeno mediante una combustión controlada. A este respecto se debe evitar de forma segura una formación de presión significativa como consecuencia de una combustión de hidrógeno virulenta. Un sistema de ignición de este tipo se configura normalmente de modo que también con la superación de los puntos de inflamación inferiores de una mezcla de gas, por ejemplo en una mezcla de gas comparativamente con menor concentración de hidrógeno, o quedando por debajo de los puntos de inertización de aproximadamente 55% en volumen de vapor y también concentraciones elevadas de hidrógeno, se asegure ignición fiable del hidrógeno.

25 Un sistema de ignición conocido del documento EP 289 907 B1 para la ignición controlada de una mezcla de gas que contiene hidrógeno comprende un sistema de ignición por ondas de radio, que se puede cebar con un almacén de energía integrado. El sistema de ignición está previsto a este respecto con un depósito de energía dispuesto autónomamente, de modo que no se requieren conducciones. Como depósito de energía está previsto a este respecto de forma particular una batería seca. Sin embargo este sistema de ignición basado en la capacidad del depósito de energía integrado es sólo adecuado para un tiempo limitado. Esto conduce adicionalmente a que en el intervalo de concentración de, por ejemplo, 5 hasta aproximadamente 8% en volumen se evita fundamentalmente una oxidación catalítica sin llama mediante ignición temprana. Se excluye por tanto una degradación catalítica sin llama ventajosa a mayores concentraciones así como la generación simultánea de regiones de alta temperatura (> 30 600 – 900° C).

35 El intervalo de catálisis sin llama se reduce en la práctica al intervalo no inflamable y ya con ligeras diferencias de concentración se desencadena una ignición individual prematura con procesos de desplazamiento de gas rápidos, sin que – debido a las regiones a alta temperatura fallidas – sea posible una contraignición efectiva para la consecución de modos de aceleración de la inflamación más cortas. Adicionalmente es posible solo de forma limitada con una excitación previa del sistema de ignición por radiofrecuencia en una situación alterada con posterior liberación de hidrógeno una ignición controlada del hidrógeno. Además este sistema de ignición reacciona igualmente ya tras el trascurso de un tiempo de retardo de ignición hasta la liberación de hidrógeno. También es posible una operación de tiempo prolongado del sistema de ignición, que sería requerible para dar cobertura a todos los escenarios de accidente que se puedan plantear, solo con limitaciones. Adicionalmente tampoco es posible una actuación a modo de aviso previsor del sistema de ignición ya a la vista de un accidente que se vaya a producir de una estación externa, como por ejemplo, la sala de control de una planta energética.

40 Además exclusivamente en el uso de procedimientos de ignición para el hidrógeno, por ejemplo en forma de sistemas de seguridad que se basan en sistemas de antorcha, se da la limitación adicional de que se puede operar en situaciones inertes al vapor sin a penas degradación de hidrógeno. En consecuencia en el recipiente de seguridad se puede quemar por completo el hidrógeno generado con sistemas de este tipo ya tras la condensación de vapor correspondiente. Esto puede conducir con enriquecimiento de hidrógeno en el vapor a cantidades o concentraciones de hidrógeno comparativamente altas, que luego a continuación de la ignición se queman en tiempo comparativamente corto, de modo que podrían generarse reacciones no controladas. Adicionalmente se tiene que considerar en sistemas que se basan exclusivamente en ignición que con los denominados escenarios "Station-black-out", por ejemplo escenarios con pérdida completa de suministro de energía dentro del contenedor, podría eliminarse por completo la ignición.

Alternativamente o complementariamente pueden estar dispuestos por tanto en el marco de un sistema de seguridad en el recipiente de seguridad o contenedor de una instalación nuclear los denominados recombinadores autocatalíticos pasivos. Estos comprenden normalmente elementos de catalizador adecuados, que desencadenan por vía catalítica con hidrógeno conducido en una corriente de gas de alimentación una reacción de recombinación con oxígeno. Los elementos de catalizador se prevén a este respecto normalmente con una carcasa que los rodea, estando configurada la carcasa en la forma de un embudo, que debido al efecto de embudo genera por sí mismo una corriente de convección dentro de la carcasa, de modo que la mezcla de gas se conduce a lo largo del elemento de catalizador respectivo de forma fiable y por tanto se puede mantener la reacción de recombinación catalítica. Los elementos catalíticos propios se disponen a este respecto dentro del elemento recombinador catalítico respectivo verticalmente y paralelamente, para generar y favorecer entre los elementos la sustentación. Con la aparición de hidrógeno en la mezcla de gas del contenedor estos dispositivos se inician normalmente automáticamente y oxidan el hidrógeno con el oxígeno contenido en la atmósfera, de modo que particularmente con presencia de condiciones inertes a vapor o mezclas de gas que se encuentran ligeramente por encima de los puntos de inflamación se puede llegar a una degradación de hidrógeno efectiva sin ignición.

Sin embargo se pueden conseguir también en sistemas de este tipo con planteamientos de escenarios de accidente con elevadas tasas de liberación de hidrógeno y al mismo tiempo bajas concentraciones de vapor en el recipiente de seguridad concentraciones y cantidades críticas locales o globales en hidrógeno generado.

Debido a que la ignición en tales recombinadores solo se observaba hasta ahora ocasionalmente en distintas condiciones de atmósfera como concentraciones de hidrógeno, proporciones de vapor etc., no se impide de forma fiable igniciones no deseadas ni un aseguramiento de la función de ignición con tales dispositivos. Adicionalmente se informó en estudios de retardo temporal de hasta 30 minutos hasta la consecución de las temperaturas de reacción máximas en tales unidades de catalizador. También medidas para evitar por completo igniciones de catalizador como, por ejemplo, mediante densidades de recubrimiento reducidas o capas de inhibición de difusión etc. no condujeron en regiones de concentraciones elevadas a la exclusión segura de igniciones no deseadas. Propiamente si se alcanzase esta desventaja, no serían excluibles igniciones ocasionales fundamentalmente debido a otras fuentes de ignición discontinuas en el contenedor.

Para el diseño técnico seguro de un contenedor se determina por tanto en el uso de recombinadores catalíticos respectivamente la concentración máxima que se da en una sobrealimentación de hidrógeno en el recipiente de seguridad y se somete a una ignición en estas condiciones. En tales escenarios de ignición se tiene en cuenta la configuración de deflagraciones rápidas hasta procesos de deflagración-detonación. Para poder compensar de forma adecuada propiamente las cargas y diferencias de presión considerables que se dan teóricamente de hasta varios bar mediante el diseño estructural del contenedor, se diseñan las estructuras correspondientes del contenedor así como los componentes ahí previstos normalmente de forma masiva. Sería deseable por tanto un diseño conjugado de un sistema de seguridad, en el que se excluyan en las condiciones citadas un enriquecimiento demasiado grande de hidrógeno en la atmósfera de lo indicado anteriormente y por tanto se puedan evitar de forma segura los escenarios de ignición o detonación citados.

Para poder contrarrestar tales tentativas pueden estar presentes también sistemas combinados, que comprenden tanto sistemas de ignición como también recombinadores catalíticos. Del documento EP 596964 B1 se conoce por ejemplo un sistema de catalizador-ignición combinado para la recombinación de hidrógeno en una mezcla de gas. En este sistema se conduce en la recombinación catalítica de hidrógeno el calor generado en un cuerpo de catalizador a un dispositivo de ignición y ahí se usa para la ignición de gases que contienen hidrógeno no eliminado. En un sistema de catalizador-ignición combinado de este tipo se da la ignición del hidrógeno sin embargo ya en el transcurso de un tiempo de retardo de ignición tras la liberación del hidrógeno. Después de la primera liberación del hidrógeno se requiere un tiempo determinado, hasta que el cuerpo de catalizador inclusive haya calentado suficientemente el dispositivo de ignición limitante, para hacer posible una ignición del hidrógeno. Este retardo temporal conduce a que en procesos de desplazamiento de gas rápidos dentro del contenedor la ignición del hidrógeno ya se da a concentraciones de hidrógeno comparativamente altas.

Tras calentamiento del sistema completo aparecen sin embargo luego en las partes no catalíticas una ignición temprana ya tras superación de los puntos de inflamabilidad inferiores. Esto conduce a que en el intervalo de concentración de, por ejemplo, 5% en volumen hasta aproximadamente 10% en volumen básicamente se evita una oxidación catalítica sin llama con la ignición prematura. Se excluye de este modo una degradación catalítica sin llama a altas concentraciones así como la incentivación al mismo tiempo de regiones a alta temperatura.

La región de catálisis sin llama se reduce por tanto prácticamente a la región no inflamable, y ya con pequeñas diferencias de concentración se desencadenan igniciones individuales prematuras con procesos de desplazamiento de gas rápidos, sin que – debido a las regiones fallidas a alta temperatura – sea posible una contraignición efectiva para la consecución de modos de aceleración de la llama más cortos.

En otros sistemas combinados con recombinadores catalíticos y con una pluralidad de sistemas de ignición por radiofrecuencia autónomos, en los que la ignición se introduce independientemente de la recombinación catalítica en un dispositivo de ignición, se tiene que contar con gasto comparativamente grande por una sincronización correspondiente de los sistemas entre sí y en particular la gestión de efectos no deseados en frecuencia de ignición

errónea problemática. En principio es válido aquí también que se desencadenen igniciones individuales con procesos de desplazamiento de gas correspondientes, sin que – debido a los potenciales de alta temperatura fallidos – sea posible una contraignición efectiva para el aseguramiento de modos de aceleración de la llama más cortos.

5 En el documento DE 4428956 C1 se da a conocer un sistema combinado adicional con recombinadores catalíticos y sistemas de ignición, donde adicionalmente pueden estar previstos también medios para el guiado de corrientes en forma de una cubierta del espacio intermedio dispuesta aguas arriba del sistema de ignición.

10 La invención se basa por tanto en el objetivo de proporcionar un elemento recombinador del tipo citado anteriormente, de forma particular para el uso en un sistema de seguridad en una instalación nuclear, con el que también se asegure con el transcurso de condiciones o escenarios comparativamente extremos del tipo citado con seguridad operativa especialmente alta una eliminación fiable del hidrógeno de la mezcla de gas.

Este objetivo se consigue de acuerdo con la invención con las características de la reivindicación 1.

15 La invención parte a este respecto de la consideración de que se puede conseguir una eliminación fiable del hidrógeno en las posibles condiciones comparativamente extremas citadas evitando de forma fiable la formación de concentraciones críticas y consecuentemente de escenarios de detonación, de modo que se complemente un sistema basado esencialmente en una recombinación catalítica de forma especialmente adecuada por igniciones conducidas de forma intencionada. Para ello se debería configurar también el sistema de ignición para el cumplimiento de estándares de seguridad operativa especialmente rigurosos y también para el control de escenarios “Black-out” de forma completamente pasiva o al menos pasiva en gran medida. Una realización de este tipo de sistema basado en recombinadores catalíticos se puede conseguir con mecanismos de ignición adecuados, usándose de forma especialmente adecuada en la recombinación catalítica el calor local liberado en la zona de los elementos de catalizador para la realización intencionada de igniciones.

25 El sistema debería estar diseñado a este respecto en su totalidad especialmente de modo que también con escenarios secos con liberación moderada de hidrógeno y proporciones de vapor comparativamente bajas se condujera una degradación catalítica de hidrógeno, de forma particular también a concentraciones no críticas de, por ejemplo, 6 a aproximadamente 8% en volumen de hidrógeno. Esta operación de recombinador sin llama se debe extender a concentraciones de vapor elevadas de por ejemplo > 30% en volumen hasta aproximadamente > 8% en volumen de concentración de hidrógeno, a > 40% en volumen, preferiblemente hasta aproximadamente 10% en volumen y mayor concentración de hidrógeno. De este modo se consigue que en una pluralidad de escenarios no tenga lugar básicamente ignición alguna. Ya con escenarios extremos, de forma particular con la aparición de cantidades de hidrógeno relevantes con concentraciones por encima de aproximadamente 8% en volumen, en cualquier caso sin embargo a concentraciones de hidrógeno de más de 10% en volumen, debería evitarse de forma cuidadosa un aumento de concentración adicional y desencadenarse automáticamente una ignición en las distintas zonas del recipiente de seguridad.

35 Para asegurar esto de forma fiable y evitando un retraso de ignición demasiado considerable, se prevé finalmente, mediante un posicionamiento y dimensionamiento estructural adecuado de los elementos de catalizador y de la carcasa que lo rodea y un dimensionamiento estructural adecuado, de forma particular en lo referente a requerimiento de las rutas de corriente y dimensionamiento de los componentes previstos a tal fin, usar de forma intencionada el comportamiento de corriente y de ignición de una corriente de gas enriquecida con hidrógeno en la zona de los respectivos elementos catalíticos. A este respecto se hace reaccionar el hidrógeno que fluye en la fase de arranque de la reacción también a bajas temperaturas, mediante un sistema catalítico especialmente efectivo, consiguiendo con cantidades preferiblemente bajas un aumento de temperatura rápido y por tanto acelerar la reacción catalítica y con ello un establecimiento de una capa límite que lo rodee.

45 A este respecto el conocimiento se basa en que en un recombinador catalítico del tipo citado, en el que, por ejemplo a consecuencia de efectos de embudo o similares, la corriente de gas se conduce con una velocidad de corriente determinada a lo largo de los elementos catalíticos y con ello se lleva a cabo y se mantiene la reacción de recombinación, en el estado de equilibrio del catalizador, particularmente en el estado de operación de convección natural, preferiblemente en la zona de flujo laminar, pudiendo formarse con reacción de recombinación en transcurso rápido una capa límite más gruesa y por tanto teniendo lugar un empobrecimiento de la proporción de hidrógeno en la corriente de gas inmediatamente adyacente a las superficies catalíticamente activas. Esto es una consecuencia de la reacción de recombinación cinética muy rápida en el catalizador en el estado de equilibrio del catalizador a las temperaturas elevadas y de los procesos de difusión de gas limitantes simultáneos, que conduce inmediatamente en la zona límite de la superficie catalíticamente activa para la corriente de gas ahí conducida debido a la transformación del hidrógeno incorporado con oxígeno a un empobrecimiento local de las proporciones de hidrógeno y de oxígeno en la proximidad inmediata al catalizador – y casi a la formación de una capa protectora.

55 El dispositivo se dimensiona por tanto de forma adecuada de modo que particularmente en la fase de aumento de la concentración, ya con mezclas que no pueden inflamarse, tiene lugar un calentamiento rápido y simultáneo en las zonas de ignición predeterminadas, acelerándose la cinética de la reacción catalítica en correspondencia y por tanto estableciéndose de forma efectiva una capa de protección de la concentración completa en la zona de ignición predeterminada a alta temperatura.

El calor generado mediante la reacción de recombinación catalítica, que calienta el catalizador en correspondencia, puede conducirse también en un estado de equilibrio de este tipo a una ignición de la corriente de gas que fluye, cuando en la zona de empobrecimiento se presenta también una temperatura dominante respecto a la del elemento de catalizador para la ignición de proporciones de hidrógeno suficientes de la mezcla de gas. Esto se puede usar en la incorporación pretendida de igniciones para tiempos de retardo de ignición especialmente cortos, en los que se establecen o mantienen mediante diseño estructural adecuado de los componentes en la zona prevista a tal fin, por ejemplo una zona de ignición predeterminada, ya durante la operación de convección natural temperaturas por encima de la temperatura de ignición de hidrógeno, por ejemplo, por encima de aproximadamente 560° C. La ignición en una zona de este tipo con condiciones no críticas se realiza a este respecto sin tiempo de retardo reseñable, en tanto no se alcance mezcla de gas esencialmente empobrecida y por tanto capaz de inflamarse suficientemente cerca de las respectivas zonas. A temperaturas mayores se observa además que la zona de ignición aún se amplía por debajo y por encima de los puntos de inflamación de una mezcla de hidrógeno y por tanto se observa una ligera tendencia a una ignición más prematura.

A este respecto se puede desencadenar una ignición particularmente mediante procesos de desplazamiento de gas, en cuya secuencia la mezcla de gas que puede inflamarse alcanza el entorno inmediato de la zona de ignición predeterminada respectiva. Mediante el establecimiento de las condiciones citadas en la zona de inflamación predeterminada en el modo de un estado "sobrecrítico" el sistema reacciona en esta zona por tanto comparativamente rápido y con sensibilidad a los procesos de desplazamiento de gas de cualquier tipo, de modo que las igniciones se desencadenan ya de forma rápida y segura a la vista de alteraciones espaciales significativas de partida.

El establecimiento previsto de la temperatura de superficie en la zona de ignición predeterminada puede realizarse a este respecto de forma particular mediante diseño estructural adecuado de los respectivos elementos de catalizador y de los componentes adyacentes. A este respecto pueden considerarse de forma particular el calor que calienta los elementos de catalizador liberado durante la operación de convección por la reacción de recombinación así como la derivación de calor correspondiente, de forma particular en forma de calor por radiación y la conducción de calor por componentes directamente acoplados. La temperatura que se establece puede verse influida de forma adecuada a este respecto particularmente por elección de geometría y dimensionamiento adecuados de los respectivos componentes a la vista de la capacidad de conducción térmica respectiva. El sistema podría estar previsto a este respecto según necesidad en la región de la zona de ignición predeterminada para el establecimiento fiable de la temperatura de superficie citada con un calentamiento adicional. Para una seguridad operativa especialmente alta el sistema se realiza no obstante de forma ventajosa como sistema completamente pasivo, en el que la temperatura que se establece es debida esencialmente al calor liberado en la reacción de recombinación y el aporte correspondiente en la región de la zona de ignición predeterminada.

De forma ventajosa el sistema se dimensiona a este respecto de modo que en la zona de ignición predeterminada en la operación por convección se establecen unas condiciones ambientales de aproximadamente 100 kPa (1 bar) y 100° C con una concentración de hidrógeno en la corriente de gas de alimentación de más de 5% en volumen una temperatura de superficie entre 600° C y 900° C.

Para el aseguramiento de temperaturas suficientemente altas en el interior de la carcasa se disponen de forma ventajosa dentro de la carcasa al menos tres, preferiblemente al menos diez, elementos de catalizador.

Para generar una reacción de recombinación fiable, se configura el o cada elemento de catalizador preferiblemente de forma adecuada.

De forma particular para ello presenta el o cada elemento de catalizador respectivamente una zona catalíticamente activa de material poroso, preferiblemente de  $Al_2O_3$ , en donde el material poroso se aplica en conformación ventajosa como sistema de poros *Wash Coat* cerámico, dado el caso adicionalmente con una capa de adherencia *etch-coat* adecuada para la consecución de suficiente resistencia a la abrasión, sobre un soporte adecuado, preferiblemente sobre un soporte metálico fino con proporción de Al. De este modo se puede conseguir una ampliación favorable del efecto catalítico de la superficie interna, preferiblemente en más de un factor de 1000, con especial ventaja en más de un factor de 10000. El material poroso de la zona catalíticamente activa se dopa a este respecto en configuración ventajosa adicional con material de catalizador, preferiblemente con Pt y/o Pd, estando configurada la distribución de Pt y/o Pd normalmente para evitar una desactivación por venenos de catalizador o similares también en zonas que se encuentra a mayor profundidad del sistema de poros.

Para un efecto catalítico especialmente favorable se prevé para la concentración de metal precioso a este respecto de forma ventajosa un sobredorado de 2 a 10, de forma particular de hasta 25 g/m<sup>2</sup>. En la región de la zona de ignición predeterminada el dopado es de forma ventajosa mayor que en la región catalíticamente activa restante.

Los materiales catalíticamente activos, de forma particular platino y/o paladio, pueden doparse sobre soportes metálicos cerrados, sobre soportes perforados, o también sobre soportes cerámicos, por ejemplo, esferas o pellas, y aplicarse como carga dentro de estructuras protectoras marco metálicas adecuadas.

La densidad de recubrimiento con los metales preciosos catalíticamente activos puede mantenerse a este respecto

tanto localmente y en particular variable en la altura de flujo, de modo que en lo referente a la reacción de recombinación se puede influir entre otros mediante lugar y nivel de la temperatura de superficie establecida y por tanto también en la longitud de la zona de ignición predeterminada.

5 De forma favorable puede estar localizado, por ejemplo, de este modo la zona de ignición predeterminada en la zona de entrada de corriente del elemento de catalizador. Por ejemplo, puede realizarse a este respecto en la región de la zona de ignición predeterminada un enriquecimiento elevado de material de catalizador, especialmente de los dos elementos catalíticos Pt y Pd.

10 De forma ventajosa se disponen los elementos de catalizador principalmente en la zona inferior del elemento recombinador, de modo que mediante el calor que se genera a consecuencia del proceso de recombinación se soporta especialmente el efecto de embudo y con ello la corriente de convección dentro de la carcasa. De forma ventajosa y para comportamiento de corriente especialmente favorable el elemento recombinador presenta en su zona de entrada de corriente una superficie de sección transversal libre, por ejemplo una proporción de superficie de sección transversal por la que puede fluir libremente la corriente de gas en la toda la superficie de sección transversal, de más de 40%, preferiblemente de más de 90%. Mediante una realización con tecnología de láminas finas es posible a este respecto una superficie de sección transversal libre especialmente favorable de hasta el 98%.

15 El dispositivo se dimensiona adicionalmente en realización ventajosa con masas de catalizador pequeñas y calentamiento reducido de las piezas de carcasa que se encuentran en zonas no catalíticas de modo que particularmente en la fase de aumento de concentración o ya en mezclas que aún no inflaman tenga lugar un calentamiento uniforme rápido, acelerándose la reacción catalítica en correspondencia y por tanto pudiendo establecerse en la zona de corriente de alimentación de forma completamente efectiva una capa protectora de la concentración completa en torno a la zona de alta temperatura de la zona de ignición predeterminada.

20 Para el soporte del efecto de embudo y por tanto para relaciones de corriente especialmente estables se prevé de forma ventajosa una relación de profundidad de hueco a altura de hueco de aproximadamente 1:3 a 1:5. La altura total del elemento recombinador puede ser a este respecto, por ejemplo de 0,3 m a 3 m.

25 Los elementos de catalizador del elemento recombinador se realizan preferiblemente como placas de catalizador, siendo estos preferiblemente verticales para el favorecimiento de la conducción de corriente. Los elementos de catalizador se disponen preferiblemente a una distancia de aproximadamente 0,5 cm a 3 cm unos respecto a otros y aproximadamente a igual altura que los cantos inferiores de la carcasa, de forma ventajosa sin embargo con sus cantos inferiores aproximadamente o hasta 10 cm (más alto que el canto inferior de la carcasa). Las distancias entre elementos de catalizador individuales pueden variar también de modo que con distancias más pequeñas se consiga un grado de reacción mayor y por tanto temperaturas locales mayores. También estos parámetros se pueden 30 detraer para la conducción de temperatura y determinación de la zona de ignición predeterminada. De forma alternativa o adicional se puede conseguir mediante densidad de instalación local elevada de superficies catalíticamente activas un denominado punto caliente, por ejemplo una zona de temperatura elevada, para la definición de la zona de ignición predeterminada.

35 Para una introducción de ignición especialmente fiable se realizan las placas de catalizador de forma ventajosa como elementos finos o en forma de láminas finas con un espesor de pared de menos de 1 mm, preferiblemente menos de 0,2 mm, en parte también claramente menores. Debido a la inercia térmica local comparativamente baja que se da con esto, se puede conseguir a este respecto en particular con procesos transitorios un empobrecimiento de la mezcla catalítico y aumento de temperatura local, de modo que ya se puede asegurar de forma especialmente efectiva en cambios de mezcla transitorios la función de ignición deseada.

40 Mediante el uso de la técnica de lámina fina y de un diseño catalítico adecuado se puede asegurar que, por ejemplo, con cambios de concentración transitorios en el intervalo, por ejemplo, por encima de 3% en volumen de hidrógeno, se establece una velocidad de aumento de temperatura de superficie en el elemento de catalizador de  $>50^{\circ}\text{C} / \%$  H<sub>2</sub>, en el periodo de 30 s, preferiblemente en el periodo de  $< 10$  s. Adicionalmente se pueden realizar y disponer a este respecto los elementos de catalizador en la zona de ignición predeterminada también de modo que con incorporación transitoria de hidrógeno de prácticamente 0% en volumen hasta  $> 6\%$  en volumen de forma espontánea, preferiblemente  $> 8\%$  en volumen, se realiza la estructura de una capa de protección de la concentración efectiva completa en poco tiempo y no parcialmente y se realiza de forma segura una ignición 45 prematura.

50 Esta degradación de hidrógeno catalítica puede realizarse preferiblemente a concentraciones de hidrógeno de  $> 8$  a 10% en volumen, con proporción de vapor-CO<sub>2</sub> correspondientemente alta de, por ejemplo, aproximadamente 40% en volumen, a proporción de  $> 50 - 55$  de vapor-CO<sub>2</sub> también a concentraciones de hidrógeno  $> 10\%$  en volumen. El efecto dual del dispositivo se demuestra también como ventajoso en esta zona inerte al vapor, con aproximadamente  $> 55\%$  en volumen de proporción vapor-CO<sub>2</sub>, ya que con la oxidación sin llama ya puede degradarse de forma amplia el hidrógeno y al mismo tiempo la carga que corresponden a potenciales de temperatura mayores, por ejemplo  $> 600^{\circ}\text{C}$ , de forma particular sin embargo son posibles también potenciales de temperatura de hasta  $> 900^{\circ}\text{C}$  en los puntos de inflamación superiores por dificultades en las condiciones de ignición. Con estas temperaturas elevadas se pueden compensar la elevada derivación de calor a la zona de 55

ignición que se da debido a las elevadas proporciones de vapor y realizarse también en estas condiciones la ignición de forma segura.

Mediante combinación de este dispositivo de recombinación específico con la operación de un sistema de pulverización del contenedor puede realizarse en la zona inerte al vapor una mezcla intensiva de atmósferas mediante pulverización y de las corrientes de convección del recombinador generadas, así como conseguirse al mismo tiempo una reducción de la proporción de hidrógeno. De forma particular se mezclan posibles nubes de alta concentración críticas con potencial relevante para la aceleración de la llama en poco tiempo con la atmósfera restante y adicionalmente las distintas zonas de ignición predeterminadas de alta temperatura hasta un nivel más uniforme. A este respecto se pueden establecer temperaturas altas especialmente remarcadas en las zonas de ignición predeterminadas de  $> 700^{\circ}\text{C}$ , preferiblemente  $> 800^{\circ}\text{C}$ . Mediante sensores de medida adecuados se pueden determinar adicionalmente de forma directa y representativa las temperaturas de las zonas de ignición predeterminadas a alta temperatura y se llega a la estrategia de control de hidrógeno, por ejemplo en particular la activación y/o control del sistema de pulverización del contenedor, en base a estas informaciones. El dispositivo da adicionalmente con la zona a alta temperatura remarcada, también en presencia de altas velocidades de gas, por ejemplo de  $> 50\text{ m/s}$  y más, igniciones espontáneas muy fiables. El efecto de enfriamiento que se da a este respecto, condicionado por la atmósfera del entorno más fría de alimentación masiva, se puede compensar de forma segura con el templado presente de las masas en el interior del dispositivo.

En configuración especialmente ventajosa se prevé como zona de ignición predeterminada una zona no activa catalíticamente a continuación aguas arriba de una zona catalíticamente activa. A este respecto se conduce el calor que se genera en la zona catalíticamente activa a la zona no activa subsiguiente. A este respecto el planteamiento se basa en la zona de corriente de salida de la zona de superficie catalíticamente activa debido a que la reacción de recombinación precedente se presenta sin una corriente de gas empobrecida. Únicamente para el caso de que en breve tiempo se produzcan cantidades de gas enriquecidas en gran medida comparativamente con hidrógeno, por ejemplo a consecuencia de procesos de desplazamiento de gas dentro del recipiente de seguridad, la mezcla de gas que puede inflamarse llega a estas zonas, de modo que se asegura un desencadenamiento de la ignición según necesidad. El dispositivo de recombinación se configura de forma ventajosa de modo que, por ejemplo, se consiga un doblamiento espontáneo de la velocidad de gas en las regiones de las zonas de ignición predeterminadas, preferiblemente a  $> 5\text{ m/s}$ , con temperaturas de zonas de catalizador parciales de  $> 560^{\circ}\text{C}$  (preferiblemente  $> 600^{\circ}\text{C}$ ) y con ello se consigue de forma intencionada la activación de la función de ignición.

En configuración de acuerdo con la invención del elemento recombinador se preconnectan al o a los elementos de catalizador aguas arriba medios para la focalización de corriente. Con ello se puede asegurar que procesos de desplazamiento de gas externos se focalizan y refuerzan adecuadamente en las envolturas de seguridad resultando en una corriente de gas de entrada en los elementos de catalizador o de forma particular en la región de la zona de ignición predeterminada, de modo que ya en tales situaciones la zona de empobrecimiento en la corriente de gas se fuerce a la región de la zona de ignición predeterminada y se pueda desencadenar la ignición de forma fiable. La focalización puede conseguirse o reforzarse a este respecto mediante placas deflectoras o aquellos medios de direccionamiento, mediante medios para la generación de turbulencia, mediante confusores en forma de espiral y/o mediante reducciones de sección transversal. De forma particular pueden estar dispuestos tales dispositivos en todas las direcciones principales en la parte inferior de la carcasa, verticalmente u horizontalmente en la carcasa o también integrado en los elementos de catalizador. El dispositivo de catalizador puede estar además unido con un sistema de tubo o de canal completa o parcialmente cerrado. Mediante la acción de un pulso de presión puede también realizarse a este respecto mediante un elemento tubular de este tipo, por ejemplo también combinado con un eyector, para la aspiración de aire del entorno, un aumento de la velocidad de gas en la región de la zona de ignición predeterminada y se desencadena la ignición de forma deseada.

Preferiblemente se usa el elemento recombinador en un sistema de seguridad de una instalación nuclear.

Las ventajas pretendidas con la invención consisten de forma particular en que proporcionando una zona de ignición predeterminada con temperatura de superficie en operación en convección sobrecrítica, por ejemplo, que se encuentre por encima de la temperatura de ignición para el hidrógeno, se llega al conocimiento de que en la proximidad del catalizador se forma una capa límite con contenido empobrecido en hidrógeno, pudiendo usarse para aseguramiento de procesos de ignición especialmente fiables y rápidos. Una ignición puede desencadenarse en un sistema de este tipo de forma particularmente rápida y fiable si en base a las relaciones de corriente se fuerza la capa de empobrecimiento. Esto es especialmente el caso cuando se genera un pulso de presión de entrada o proceso de desplazamiento de gas en la región de corriente de entrada del elemento recombinador o en la región de la zona de ignición predeterminada a velocidades de corriente de gas altas, forzándose la capa de gas que se encuentra en proximidad inmediata a la superficie catalítica con contenido en hidrógeno empobrecido o reducido. De este modo no puede darse o solo mínimamente contacto directo de gas enriquecido con las superficies comparativamente calientes del elemento catalítico, de modo que se desencadene de forma fiable una ignición en esta región espacial.

Con esto se puede usar bien el elemento recombinador especialmente en sistemas de seguridad, en los que se deben evitar efectos cruzados entre recombinadores individuales, en los que se desencadena una ignición en un recombinador mediante el frente de llama que entra desde otro recombinador, a la vista de las inestabilidades

relacionadas con esto. De este modo discurren con deflagraciones lentas las ondas de presión generadas en ellas con periodo comparativamente más largo y menor amplitud del frente de llama correspondiente, desencadenándose mediante los procesos de desplazamiento de gas provocados de este modo la ignición en el recombinador, antes de que entre el frente de llama. La entrada de gas de combustión masivo conduce por tanto a una sobrealimentación del dispositivo recombinador local y a una minimización del empobrecimiento de concentración en la región de capa límite de las superficies calientes y en los límites de fase a una alteración de superficie límite, de modo que sobresalen adicionalmente otras corriente convectivas y es posible una ignición más segura. Con ello se asegura una ignición de seguridad de regiones críticas antes de un aumento adicional de la concentración, desencadenándose de forma segura en la forma de un efecto dominó o de una ignición dominó, partiendo de un primer dispositivo recombinador igniciones en las cercanías o aguas arriba de los dispositivos recombinadores. Efectos de cruce y relaciones de corriente no controladas pueden evitarse de forma segura, en modo tal que tenga lugar una minimización de las cargas que se asumen.

En consecuencia el sistema puede dimensionarse en su totalidad con un centro de gravedad sobre la función catalítica de la degradación de hidrógeno, pudiendo tener lugar comparativamente varios escenarios, por ejemplo, de forma particular a concentraciones de menos de 8 a 10% en volumen y concentraciones de vapor correspondientes, renunciando a igniciones puede tener lugar una degradación de hidrógeno exclusivamente catalítica. A concentraciones mayores tienen lugar igniciones y procesos de combustión principalmente en el intervalo de concentración o región de arranque de deflagraciones lentas, conduciéndose procesos de ignición más seguros a dispositivos adyacentes a consecuencia de las ondas de combustión o frentes de llama a distancia de procesos de desplazamiento de gas en curso.

Un ejemplo de realización de la invención se aclara más detalladamente en función de un dibujo. Ahí se muestra:

Figura 1 un sistema de seguridad para la recombinación de hidrógeno y oxígeno en una mezcla de gas,

Figura 2 un recombinador catalítico en sección longitudinal, y

Figura 3 el recombinador según la figura 2 en visa lateral.

Las mismas piezas se indican en todas las figuras con las mismas referencias.

El sistema de seguridad 1 según la figura 1 se prevé para la recombinación de hidrógeno en una mezcla de gas, a saber en la atmósfera del contenedor de un recipiente de seguridad 2 representado compendiosamente en la figura 1 de una instalación nuclear. El sistema de seguridad 1 comprende para ello una cantidad de elementos recombinadores 4 catalíticos dispuestos dentro del recipiente de seguridad 2, de los cuales cada uno desencadena por vía catalítica una reacción de recombinación de hidrógeno alimentado en una corriente de gas que fluye por ahí con oxígeno contenido en la atmósfera del contenedor.

Para ello cada elemento recombinador 4 térmico, como se reconoce en la representación ampliada de la figura 2, comprende una cantidad de elementos de catalizador 8 dispuestos en una carcasa 6. En la figura 2 son visibles a este respecto la vista de cuatro elementos de catalizador 8, estando dispuestos en el ejemplo de realización particularmente diez o más elementos de catalizador 8 en una carcasa común 6. Los elementos de catalizador 8 presentan a este respecto respectivamente una superficie prevista con un material seleccionado de forma adecuada, por ejemplo, paladio y/o platino, que en una mezcla de gas limitante para el caso de que esta mezcla de gas contenga proporciones de hidrógeno significativas, por ejemplo, de algún porcentaje en volumen, desencadene una reacción de recombinación catalítica con oxígeno contenido en el gas de atmósfera. A este respecto desaparece el hidrógeno con el oxígeno con formación de agua en una reacción exotérmica. Mediante esta reacción exotérmica se calientan los elementos de catalizador 8 por su parte, de modo que a consecuencia de la caída de temperatura que se genera se produce una corriente de convección desde abajo hacia arriba en el espacio de gas rodeante.

Para soportar esta corriente de convección mediante el denominado efecto de embudo es adecuado que la carcasa 6 que rodea los elementos de catalizador 8 del respectivo elemento recombinador 4 se configure particularmente en forma de embudo, y para facilitar adicionalmente la corriente de convección generada de este modo se configuran los elementos de catalizador 8 esencialmente a modo de placas y se disponen paralelamente entre sí. Adicionalmente el elemento recombinador 4 presenta una altura total de aproximadamente 3 m y una relación de profundidad de hueco y altura de hueco de 1:3 a 1:5. En la zona de corriente de entrada 10 para la corriente de gas el elemento recombinador 4 presenta además una proporción de superficie de sección transversal que puede ser fluida libremente, pero no por detrás de los componentes, de aproximadamente 90%. En la totalidad presenta el elemento recombinador 4 formado por estos componentes propiedades estructurales, que inician con la presencia de hidrógeno en el gas de atmósfera del recipiente de seguridad 2 un procedimiento de recombinación catalítico y se mantiene con el efecto de soporte de la corriente de convección a consecuencia del efecto de embudo y provocan una entremezcla adicional de la atmósfera, hasta que haya tenido lugar una degradación suficiente del hidrógeno.

El elemento de catalizador 8 presenta respectivamente una zona catalíticamente activa 12 de material poroso, de forma particular de  $Al_2O_3$ . El material poroso se aplica a este respecto como sistema de poros *Wash Coat* cerámico adicionalmente con una capa de adherencia *etch-coat* adecuada para la consecución de la necesaria resistencia a la abrasión sobre un soporte metálico fino adecuado con proporción de Al. De este modo se asegura una ampliación

favorable del efecto catalítico de la superficie interior en más de un factor de 10000. El material poroso de la zona catalíticamente activa 12 es a este respecto dopado con material catalizador, de forma particular con Pt y/o Pd, configurándose la distribución de Pt y/o Pd para evitar una desactivación mediante venenos de catalizador o similares también en las zonas que se encuentran más profundas del sistema de poros.

- 5 Para un efecto catalítico especialmente favorable se prevé para la concentración de metales preciosos a este respecto un sobredopado de hasta 25 g/m<sup>2</sup>.

El sistema de seguridad 1 se diseña en su totalidad para que con una pluralidad de posibles escenarios de accidente con inclusión también de condiciones de accidentes extremas comparativamente inverosímiles se asegura una recombinación más segura y fiable del hidrógeno posiblemente generado en la atmósfera del recipiente de seguridad 2. Para ello el sistema de seguridad 1 está diseñado para la degradación de hidrógeno con el centro de gravedad sobre la recombinación catalítica, debiendo realizarse en caso de necesidad y en particular complementariamente también una ignición de mezcla de gas que pueda inflamar. A tal fin se configuran los elementos recombinadores 4 catalíticos en lo referente al tipo, posicionamiento y dimensionamiento de sus componentes de modo tal que con mezclas de gases con una concentración de hidrógeno de hasta aproximadamente 6 por ciento en volumen o según necesidad hasta aproximadamente 8 por ciento en volumen, a concentraciones de vapor mayores de hasta > 10% en volumen, no tiene lugar ninguna ignición, sino la degradación de hidrógeno mediante la reacción de recombinación desencadenada catalíticamente en la superficie de los elementos de catalizador 8.

Para mayor concentración de hidrógeno se prevé que los elementos de catalizador 8 se calientan a consecuencia de la energía térmica liberada con la reacción de recombinación catalítica, de modo que su temperatura en los denominados "hotspots" en zonas de ignición predeterminadas 20 previstas para tal fin, se encuentra preferiblemente directamente en la zona de corriente de entrada del catalizador, por encima de la temperatura de ignición de la mezcla de gas y por tanto desencadena automáticamente una ignición de la mezcla de gas del modo de un sistema pasivo, soportando el proceso de recombinación. A este respecto por disposición, estructura y dimensionamiento de los componentes dentro de la carcasa 6, de forma particular de los elementos de catalizador 8, considerando el calor liberado en la reacción de recombinación y la conducción de calor a consecuencia de calor por radiación o también en forma de conducción de calor por los componentes individuales del sistema, se diseña de modo que en condiciones de referencia en la operación por convección del elemento recombinador 4 respectivo con condiciones del ambiente de aproximadamente 100 kPa (1 bar) y 100° C de una concentración de hidrógeno el la corriente de gas que alimenta al elemento de catalizador 8 de más de 5% en volumen establece una temperatura de superficie en la zona de ignición predeterminada 20 entre 600° C y 900° C, por ejemplo de más de la temperatura de ignición de hidrógeno de aproximadamente 560° C.

Con este diseño de los elementos recombinadores 4 se tiene que considerar el conocimiento de que cada uno de los elementos de catalizador 8, que pueden estar revestidos en parte también metálicamente parcialmente, en la operación de recombinación catalítica, por ejemplo, con convección natural presente, se hace fluir desde la corriente de gas a manipular, en donde en la proximidad inmediata de la superficie catalítica de los elementos de catalizador 8 a consecuencia de la reacción de recombinación que tiene lugar, tiene lugar un empobrecimiento de la proporción de hidrógeno 8 a modo de una corriente de gas en contacto directo con el gas empobrecido, con lo que en otras regiones espaciales que se encuentran alejadas está presente gas no empobrecido con proporción de hidrógeno elevada. En este estado de la convección natural se puede evitar con la capa de gas empobrecida por tanto el efecto de ignición, que puede ejercer el material de catalizador calentado sobre la corriente de gas que lo rodea.

Este efecto se usa en los elementos recombinadores 4, los puntos de ignición predeterminados 10 en caso de necesidad, por ejemplo, particularmente para operar en el estado de convección natural, en la forma de un modo sobrecrítico, en el que impera la temperatura de superficie que se encuentra propiamente por encima del punto de inflamación. En un estado de este tipo el sistema se manifiesta comparativamente sensible a alteraciones de las relaciones de corriente, en donde para el caso de que se fuerce la capa de gas empobrecida en contacto con las partes de la superficie sobrecalentadas y no pueda alcanzar el gas empobrecido estas partes de superficie, se desencadena espontáneamente una ignición en base a la temperatura elevada. Mediante esta configuración del sistema se puede conseguir por tanto el desencadenamiento de una ignición con las relaciones de corriente en la zona inmediatamente próxima de los elementos de catalizador 8, pulsos de presión alterantes o procesos de desplazamiento de gas espontáneos y sin tiempo de retardo de retardo de ignición reseñables. Con ello se puede asegurar particularmente una ignición automática y pasiva para el caso de que se den dentro del recipiente de seguridad 2 pulsos de presión de modo que se pueda desencadenar un ignición fiable ya a la vista de posibles casos de accidente o similares.

Para aumentar aún más la sensibilidad del sistema frente a pulsos de presión o procesos de desplazamiento de gas o similares y con ello la fiabilidad y seguridad al introducir de igniciones, se proponen en elementos de catalizador individuales 8 medios adecuados para la focalización de corriente, que favorecen o refuerzan una conducción pretendida de pulso de presión o corrientes de gas que se incorporan a la zona de ignición predeterminada 20. Para ello pueden estar previstos, como se desprende en el dibujo según la figura 3, los elementos de catalizador 8 dispuestos en la carcasa 6 como medios adecuados para la conducción de corriente, placas deflectoras 22, placas de direccionamiento 24, hélices o generadores de turbulencia 26 u otros medios adecuados o confusores, con los

que se conduce un pulso de presión de forma intencionada a la zona de las proximidades de la zona de ignición predeterminada.

**Lista de referencias**

	1	Sistema de seguridad
5	2	Contenedor de seguridad
	4	Elemento recombinao
	6	Carcasa
	8	Elemento de catalizador
	10	Zona de entrada de corriente
10	12	Zona activa
	20	Zona de ignición predeterminada
	26	Generador de turbulencia

## REIVINDICACIONES

1. Elemento recombinador (4) con un número de elementos de catalizador (8) dispuestos en una carcasa común (6), que desencadenan respectivamente con oxígeno una reacción recombinante cuando se porta hidrógeno junto con una corriente de gas de alimentación, rodeando la carcasa (6) los elementos de catalizador (8) que están dispuestos en su interior a modo de embudo, de forma tal que el calor liberado en la reacción de recombinación soporta el flujo de gas dentro de la carcasa (6) mediante convección, y en el que al menos uno de los elementos de catalizador (8) dispuestos dentro de la carcasa (6) presenta una zona de ignición predeterminada (20),
- 5
- caracterizado porque** el elemento de catalizador (8) incluye una zona catalíticamente activa de material poroso, que se selecciona de modo que en la zona de ignición predeterminada (20) en operación por convección en condiciones ambientales de aproximadamente 100 kPa (1 bar) y 100° C y con una concentración de hidrógeno en la corriente de gas de alimentación de más de 5% en volumen una temperatura de superficie por encima de la temperatura de ignición que se presenta en estas condiciones de 560° C, y porque se conectan aguas arriba al elemento de catalizador (8) medios para la focalización de la corriente del grupo que comprende placas deflectoras, placas de direccionamiento y generadores de turbulencia, que favorecen una conducción intencionada del pulso de presión que se aplica sobre la zona de ignición predeterminada.
- 10
- 15
2. Elemento recombinador (4) según la reivindicación 1, en el que en la zona de ignición predeterminada (20) se produce en operación en convección a condiciones ambientales de aproximadamente 100 kPa (1 bar) y 100° C y con una concentración de hidrógeno en la corriente de gas de alimentación de más de 5% en volumen una temperatura de superficie entre 600° C y 900° C.
- 20
3. Elemento recombinador (4) según la reivindicación 1 ó 2, en el que dentro de la carcasa (6) están dispuestos al menos tres, preferiblemente al menos diez, elementos de catalizador (8).
4. Elemento recombinador (4) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el o cada elemento de catalizador (8) presenta respectivamente una zona catalíticamente activa (12) de material poroso, preferiblemente de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- 25
5. Elemento recombinador (4) según la reivindicación 4, en el que el material poroso de la zona catalíticamente activa (12) está dopada con material de catalizador, preferiblemente con Pt y/o Pd.
6. Elemento recombinador (4) según una de las reivindicaciones 1 a 5, que presenta en su circuito de corriente de entrada una superficie de sección transversal por la que puede fluir libremente la corriente de gas, es decir, que no está obstruida por componentes cuya porción de la superficie en sección transversal contabiliza más del 40%, preferiblemente más de 90%.
- 30
7. Elemento recombinador (4) según una de las reivindicaciones 1 a 6, cuyos elementos de catalizador (8) se realizan como placas de catalizador.
8. Elemento recombinador (4) según la reivindicación 7, en el que las placas de catalizador se ejecutan como elementos finos con un espesor de pared de menos de 1 mm, preferiblemente de menos de 0,2 mm.
- 35
9. Elemento recombinador (4) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la masa de elemento de catalizador se dimensiona y dispone en la zona de corriente, de modo que en los cambios de concentración transitorios se produce una tasa de aumento de superficie-temperatura en el elemento catalizador de > 50° C por % de hidrógeno en el periodo de 30 segundos, preferiblemente en el periodo de 10 segundos, por ejemplo por encima del 3% en volumen de hidrógeno.

FIG. 1

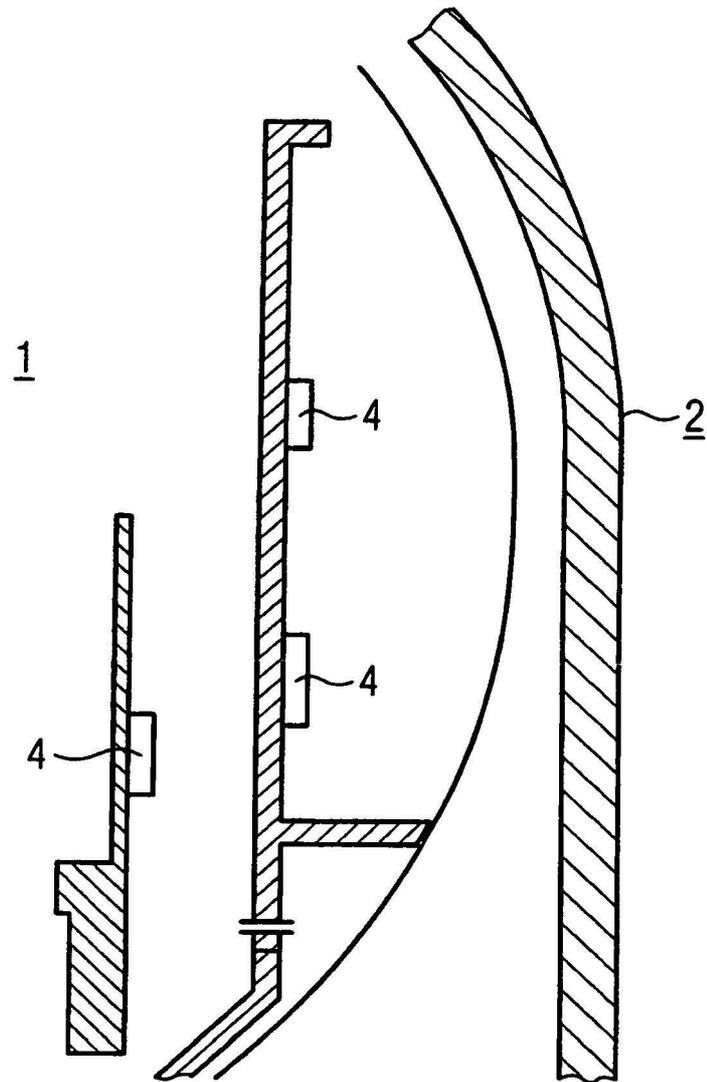


FIG. 2

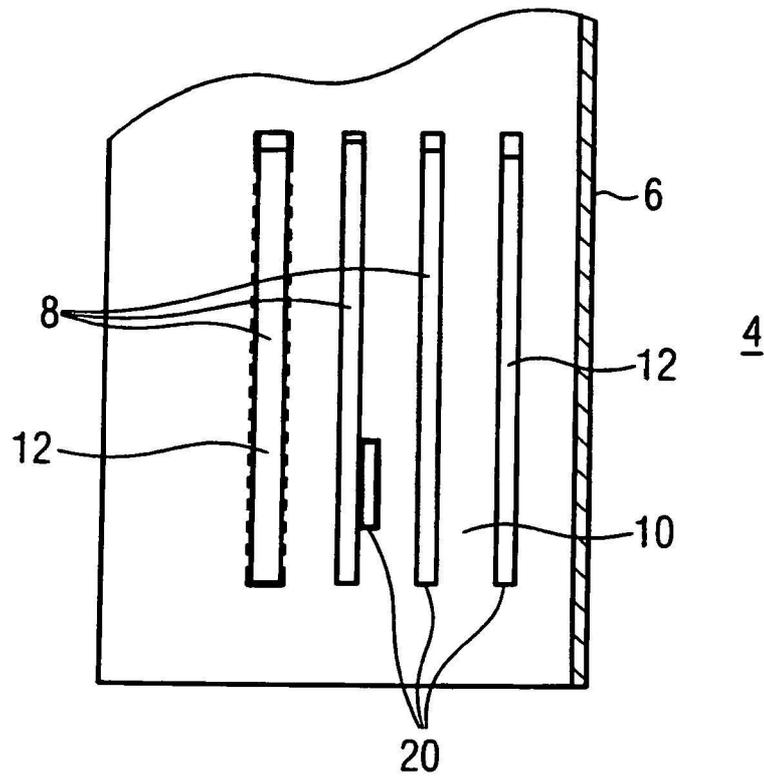


FIG. 3

