



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 244 320**

② Número de solicitud: 200400623

⑤ Int. Cl.
G01N 21/61 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **08.03.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.12.2005**

Fecha de la concesión: **27.07.2006**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **16.08.2006**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:
16.08.2006

⑰ Titular/es: **Universitat de València Estudi General
Avda. Blasco Ibáñez, 13
46010 Valencia, ES**

⑱ Inventor/es: **Barmenkov, Yuri O.;
Ortigosa Blanch, Arturo;
Díez Cremades, Antonio;
Cruz Muñoz, José Luis y
Andrés Bou, Miguel Vicente**

⑳ Agente: **No consta**

㉔ Título: **Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica.**

㉖ Resumen:

Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica.
Sensor de hidrógeno de fibra óptica, consistente en un láser de fibra óptica y una cabeza sensora incorporada en el interior de la cavidad láser, que se caracteriza porque la medida de la concentración de hidrógeno se obtiene a partir del tiempo que transcurre desde que se inicia el bombeo del láser y la emisión del primer pico láser. De aplicación en el campo de los nuevos combustibles renovables para la automoción y la aeronáutica espacial, en relación a la detección de fugas de combustible.

ES 2 244 320 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica.

5 **Sector de la técnica**

Aeronáutica y Automoción.

Objeto de la invención

10 El objeto de la Patente desarrolla un sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, que se caracteriza porque permite detectar la presencia de hidrógeno y, en su caso, determinar la concentración del mismo, mediante la medida del tiempo de retardo entre dos señales pulsadas. El invento puede formar parte (en una de sus aplicaciones, como detector de fugas) de los sistemas de almacenamiento y distribución del combustible, así como de los sistemas de control y seguridad que incorporan los vehículos propulsados por hidrógeno, tanto en lo que se refiere al campo de la automoción basada en combustibles renovables como al de la aeronáutica espacial.

Estado de la técnica

20 En las últimas décadas el hidrógeno se ha consolidado como la alternativa más sólida frente a los combustibles convencionales. El hidrógeno es un combustible limpio que se obtiene por electrólisis (ruptura mediante electricidad) de la molécula de agua. Al quemarlo luego en un dispositivo llamado celda de combustible, se obtienen electricidad y, como único producto de la combustión, agua. No hay contaminación aérea con carbono y, por tanto, no hay efecto invernadero asociado. En algunas ciudades de Europa ya se están ensayando prototipos de medios de transporte público, como son autobuses y taxis, basados en la tecnología del hidrógeno. Por otra parte, algunas lanzaderas y cohetes espaciales que están operativas o que entrarán en funcionamiento en breve, están propulsados mediante la combustión de hidrógeno.

30 El hidrógeno es un gas muy volátil y sumamente inflamable, lo que complica enormemente las tecnologías asociadas con su almacenamiento y su transporte. Como ejemplo, una concentración de hidrógeno en aire mayor del 4% en condiciones normales, constituye una atmósfera explosiva de muy fácil ignición. En consecuencia, los sistemas de almacenamiento y transporte de grandes cantidades de hidrógeno requieren sistemas de seguridad que han de ser capaces de detectar posibles fugas del gas, por lo que incorporan sensores de hidrógeno.

35 Los sensores de hidrógeno más extendidos están basados en tecnología de semiconductores (referencia 1), y emplean técnicas eléctricas de detección. Generalmente, estos sensores están basados en el cambio de la resistividad del material semiconductor en presencia de hidrógeno. La detección de hidrógeno mediante estos sensores implica la existencia de una corriente eléctrica, haciendo que el uso de este tipo de sensores en atmósferas inflamables (como la que se puede originar ante la existencia de una fuga de hidrógeno) conlleve cierto riesgo, ya que cualquier pequeña descarga eléctrica (chispa) que se puede originar en el propio sensor puede hacer explotar el tanque de almacenamiento del hidrógeno.

45 Los sensores de hidrógeno basados en técnicas ópticas no presentan este problema ya que en ellos no existe ningún tipo de corriente eléctrica que pueda generar chispas, sino que la detección se hace mediante luz (referencias 2 y 3). Los sensores ópticos tienen una ventaja añadida ya que pueden presentar sensibilidades muy altas, permitiendo detectar concentraciones pequeñas de hidrógeno. Dentro del grupo de sensores ópticos podemos destacar aquellos que están basados en fibras ópticas, ya que presentan las ventajas añadidas de (1) posibilidad de incorporar varios sensores en una sola fibra y (2) posibilidad de detección remota, es decir, la fuente de luz que ilumina el sensor y el sistema de detección de la luz transmitida / reflejada por el sensor pueden estar situados a cientos de metros de la cabeza sensora, conectados con el sensor mediante un enlace de fibra óptica convencional.

50 La mayoría de los sensores ópticos usan paladio (Pd) o aleaciones que contienen paladio como elemento transductor (referencias 4, 5, 6, 7, 8 y 9). En presencia de hidrógeno, el paladio reacciona con éste formando hidruro de paladio (Pd H_x). El hidruro de paladio tiene una constante de red mayor que el paladio (menor densidad), y su índice de refracción complejo es menor que el del paladio, tanto en su parte real como en su parte imaginaria. Estas dos propiedades son las que permiten a los sensores ópticos la detección selectiva de hidrógeno.

55 Los sensores de hidrógeno de fibra óptica más representativos que emplean paladio para la detección de hidrógeno, pueden ser agrupados en tres grupos:

60 1) Tipo I. Aquellos que están basados en una fibra óptica de diámetro reducido sobre la que se deposita una capa delgada de paladio (referencias 7, 8, 9). En estos dispositivos la medida de hidrógeno viene dada por el cambio de la atenuación de la luz que se propaga en la fibra óptica. Son dispositivos que pueden tener tiempos de respuesta cortos y sensibilidades muy elevadas. Codifican la medida en amplitud y pueden permitir la multiplexación en longitud de onda utilizando redes de difracción de Bragg de fibra óptica, de manera que en principio, es posible disponer varios sensores a lo largo de una sola fibra.

65 2) Tipo II. Aquellos que consisten en una fibra óptica en la que en uno de sus extremos se ha depositado una

capa delgada de paladio (referencias 4 y 5). Este tipo de sensores suele tener tiempos de respuesta cortos (del orden de segundos) y su sensibilidad es relativamente elevada, características ambas fundamentales en la detección de hidrógeno. Estos dispositivos codifican la medida (es decir, la concentración de hidrógeno) en amplitud. La codificación en amplitud puede permitir utilizar sistemas de interrogación sencillos pero la respuesta del sensor es susceptible a las fluctuaciones de la potencia de luz que se inyecta al sensor (por ejemplo por envejecimiento de la fuente de luz). Además, esta configuración implica que cada sensor requiere una fibra independiente que lo enlace con la fuente de luz y el sistema de detección. Por último, el control de la respuesta de los sensores tipo II es muy limitado, ya que tan sólo el grosor de la capa de paladio permite, con bastantes limitaciones, variar la respuesta de estos sensores.

- 3) Tipo III. Aquellos que consisten en una red de Bragg grabada en el núcleo de una fibra óptica sobre la que se deposita una capa gruesa de paladio (referencia 6). Estos sensores se fundamentan en el cambio de la constante de red de la capa de paladio cuando se hidruriza en presencia de hidrógeno, lo que tensiona la red de Bragg desplazando la longitud de onda de la luz que reflejada la red. Estos sensores codifican la información en longitud de onda, siendo la respuesta del sensor inmune a posibles fluctuaciones de la intensidad de la luz que se inyecta al sensor. Además permiten la multiplexación en longitud de onda, lo que hace posible conectar varios elementos sensores en serie, permitiendo la detección simultánea en varios puntos utilizando una única fibra de entrada y de salida. Por contra, estos sensores suelen mostrar sensibilidades muy bajas y los tiempos de respuesta suelen ser muy largos.

Descripción de la invención

El invento objeto de esta patente es un sensor de hidrógeno que consiste en un láser de fibra óptica y una cabeza sensora (en adelante "CS") incorporada en el interior de la cavidad láser. La cabeza sensora es un dispositivo de fibra óptica que incorpora una capa de paladio delgada, y cuyas propiedades ópticas varían cuando es expuesta a una atmósfera con presencia de hidrógeno. La cabeza sensora puede ser de dos tipos: (1) del tipo definido en el párrafo anterior como Tipo I, es decir, basado en una fibra óptica de diámetro reducido con una metalización lateral de paladio (en adelante "CS1") y, (2) del tipo definido en el párrafo anterior como Tipo II, es decir, basado en una fibra con un extremo metalizado con una capa delgada de paladio (en adelante "CS2").

Las principales características que distinguen el sensor objeto de esta patente y los sensores de hidrógeno de fibra óptica mencionados en los párrafos anteriores, son las siguientes:

- 1) El sensor de hidrógeno descrito en esta patente es un dispositivo activo, en el que las características de la señal láser que se genera en él dependen de la concentración de hidrógeno a la que esté expuesta la cabeza sensora. Todos los sensores anteriormente descritos son dispositivos pasivos, en los que no se genera ningún tipo de luz.
- 2) La concentración de hidrógeno se obtiene mediante la medida de tiempos, en particular el tiempo de retardo entre dos señales pulsadas, mientras que en los sensores descritos anteriormente, es la amplitud o la longitud de onda de la luz reflejada o transmitida por los sensores la que proporciona la concentración de hidrógeno.

El invento objeto de esta patente puede presentar una serie de ventajas respecto a otros sensores de hidrógeno ópticos:

- 1) El sensor puede ser fabricado en fibra óptica, de manera que, en todo momento la luz se propaga por el interior la fibra. Como consecuencia, el sistema es estable desde un punto de vista mecánico, no existiendo el problema del alineamiento de componentes, que es una cuestión bastante crítica en los sensores ópticos basados en componentes discretos o en guías integradas
- 2) El sensor puede diseñarse para que su sensibilidad sea muy alta, permitiendo la detección de pequeñas concentraciones de hidrógeno. En general, la sensibilidad del sensor puede ser ajustada en un rango amplio (lo que puede permitir su uso en aplicaciones específicas) al menos mediante la aplicación de dos métodos: (a) *a priori*, mediante el control de los parámetros geométricos durante la fabricación de la CS, y (b), *a posteriori*, una vez fabricada la CS, ajustando las condiciones de bombeo del láser de fibra óptica.
- 3) El sensor permite detectar fugas de hidrógeno y, adicionalmente, permite medir su concentración cuando su valor se encuentra entre el 0% y el 10%; para valores de concentraciones mayores, la respuesta del sensor se satura gradualmente. La alta sensibilidad del sensor permite medir con mucha precisión las concentraciones cuyo valor sea inferior al 4%, lo que tiene un interés especial dado que la concentración del 4% es el límite explosivo.
- 4) La medida de la concentración de hidrógeno se realiza a través de la medida del tiempo de retardo que se produce entre la conexión del bombeo y el primer pico de emisión láser. Desde un punto de vista práctico, la medida de tiempos resulta muy precisa y muy sencilla de implementar, con un coste muy reducido.
- 5) Por tratarse de un sensor basado en un sistema láser, la potencia de luz de que se dispone para realizar las medidas es alta, lo que simplifica y facilita el sistema de detección.

- 6) La respuesta del sensor es rápida (tiempos de respuesta del orden de los segundos), propiedad ésta que es fundamental en la detección de fugas de hidrógeno.
- 7) La respuesta del sensor puede ser reversible, en la medida en que lo es la respuesta de la CS. Tras la exposición del sensor a una atmósfera en la que existe una cierta concentración de hidrógeno, el sensor puede recuperar su comportamiento inicial en la medida en que deje de estar expuesto al hidrógeno.
- 8) El sensor permite la multiplexación en longitud de onda de varios sensores de una manera sencilla.
- 9) El sensor permite medir la temperatura del sistema a partir de la longitud de onda de la emisión láser.

Breve descripción de las figuras

Para comprender mejor el objeto de la presente invención, se representa en los planos unas formas preferentes de realización práctica, susceptibles de cambios accesorios que no desvirtúen su fundamento.

La figura 1 es un diagrama de las configuraciones susceptibles de ser empleadas. (R1) y (R2) representan dispositivos que reflejan señales ópticas, (MA) es el medio activo, normalmente fibra óptica dopada con tierras raras, (A) es un acopiador de fibra óptica. (a) Configuración en la que una cabeza sensora del tipo CS1 está situada en el interior de una cavidad láser de tipo Fabry-Perot, estando ésta definida por los elementos reflectantes R1 y R2, (b) configuración en la que una cabeza sensora del tipo CS1 está situada en el interior de una cavidad láser de tipo anillo, (c) configuración en la que una cabeza sensora del tipo CS2 está situada en el interior de una cavidad láser de tipo Fabry-Perot, estando ésta definida por el elemento reflectante R1 y por la propia cabeza sensora.

La figura 2 es un esquema que muestra una descripción detallada de una realización práctica del sensor objeto de la patente, basado en la configuración (a) descrita en la figura 1.

La figura 3 es un ejemplo de la evolución de la emisión de un láser cuando se conecta la señal de bombeo.

La figura 4 es un ejemplo de la emisión láser de un sensor basado en la configuración (a) mostrada en la figura 1, que resulta de la medida de la intensidad de luz emitida por el láser en función del tiempo.

La figura 5 son las curvas de calibración que resultan de la medida del tiempo de retardo entre la conexión del bombeo y la emisión del primer pico láser, en función de la concentración de hidrógeno, para un sensor basado en la configuración (a) mostrada en la figura 1.

La figura 6 es un ejemplo de la respuesta temporal de un sensor basado en la configuración (a) mostrada en la figura 1, que resulta de la medida del retardo temporal entre la conexión del bombeo y la emisión del primer pico láser, en función del tiempo.

Ejemplos de realización de la invención

A continuación, se describe un ejemplo de realización práctica, no limitativa, del presente invento.

La figura 2 es un esquema detallado referente a una realización práctica del sensor objeto de la patente, basado en la configuración (a) descrita en la figura 1. El medio activo (MA) consiste en una sección de fibra óptica monomodo cuyo corazón está dopado con óxido de germanio (GeO₂) y con Erblio (Er). El medio activo se excita mediante una señal de bombeo, a través de un multiplexor (WDM), con un diodo láser (B) que emite luz de longitud de onda 980 nm. Los elementos reflectantes R1 y R2 son una red de Bragg grabada en el núcleo de la fibra óptica (referencia) y un espejo de Faraday, respectivamente. La reflectividad de la red de Bragg es del 50%, en una banda de 0.1 nm de anchura y centrada en la longitud de onda de 1550 nm. La reflectividad del espejo de Faraday es prácticamente del 100% en un rango amplio de longitud de onda. En nuestro caso, la longitud de onda de emisión del láser de fibra óptica es de 1550 nm, estando ésta determinada por la longitud de onda de reflexión de la red de Bragg. De esta forma la medida de la longitud de onda de la emisión proporciona el dato adicional de la temperatura del sistema, dada la dependencia con la temperatura que presentan las redes de Bragg grabadas en fibra óptica.

La cabeza sensora es tipo CS1, y consiste en una fibra óptica estrechada sobre la que está depositada una capa delgada de paladio. El diámetro de la fibra estrechada es de 25 micras, el espesor de la capa metálica es de 10 nm, y la longitud es de 10 mm.

Todos los componentes están fabricados sobre fibra óptica de modo que todos ellos están conectados entre sí mediante empalmes de fibra óptica por fusión.

En general, en cualquier sistema láser, y en particular en un láser de fibra óptica como el de la figura 2, cuando se conecta el bombeo se produce un régimen transitorio de emisión, formado por una serie de picos de luz de gran intensidad, con una cierta frecuencia de repetición, que van atenuándose hasta alcanzarse un régimen estacionario, a partir del cuál, en principio, la potencia de salida del láser se mantiene constante. La emisión del primer pico no es instantánea respecto de la conexión del bombeo. Entre el instante de conexión del bombeo y la emisión del primer

ES 2 244 320 B1

pico pasa un cierto intervalo de tiempo (en adelante “Tb”) que, básicamente, depende de la potencia de bombeo, de las características de medio activo (MA) y de las pérdidas de la cavidad láser. La figura 3 muestra un ejemplo del régimen transitorio del sistema láser de la figura 2. Si alguna variable modifica las pérdidas de la cavidad láser, Tb también varía, de modo que Tb puede proporcionar información acerca dicha variable (Tb aumenta con las pérdidas de la cavidad láser). A las pérdidas de la cavidad láser contribuyen una serie de factores, como son la reflectividad de los elementos reflectantes, las pérdidas de la propia fibra debido a la absorción, y las pérdidas de inserción (PI) de la cabeza sensora. De hecho, en nuestro caso, el elemento que hace variar las pérdidas totales de la cavidad láser es la CS, cuyas pérdidas de inserción cambian al ser ésta expuesta a una atmósfera con hidrógeno.

La cabeza sensora atenúa la luz que se transmite a través de ella. En ausencia de hidrógeno, las pérdidas de inserción (PI), o lo que es lo mismo el cociente entre la potencia transmitida (Pt) y la potencia incidente (Pi), viene dada por la siguiente expresión:

$$PI = \frac{P_t}{P_i} = \exp(-2 \cdot \alpha \cdot L) \quad (1)$$

donde α es el factor de atenuación del modo fundamental que se propaga en la fibra y L es la longitud de interacción, o sea la longitud de la sección de fibra recubierta de paladio. El factor de atenuación α está directamente vinculado con la presencia de la capa de paladio. En ausencia de paladio, α puede considerarse nulo.

Cuando la CS se expone a una cierta concentración de hidrógeno, el índice de refracción complejo de la capa delgada cambia, haciendo que el factor de atenuación para el modo fundamental también cambie, pasando de un valor α a un valor α' , menor que α . Como consecuencia, las pérdidas de inserción (PI') son menores, y vienen que α . Como consecuencia, las pérdidas de inserción (PI') son menores, y vienen dadas por:

$$PI' = \frac{P_t'}{P} = \exp(-2 \cdot \alpha' \cdot L) \quad (2)$$

Resumiendo, las pérdidas de inserción de la CS cambian cuando ésta se expone a una atmósfera que contiene hidrógeno, lo que provoca que cambien las pérdidas totales de la cavidad láser, y como consecuencia el tiempo Tb cambia. Así pues, es posible, previa calibración del sensor, obtener la concentración de hidrógeno a la que se expone la CS simplemente midiendo los cambios de Tb.

La figura 4 muestra, por una parte, la onda cuadrada que modula el bombeo y, por otra parte, el primer pico del transitorio de conexión del láser cuando la CS es expuesta a tres concentraciones diferentes de hidrógeno, 0%, 4% y 10%. El escalón de la onda cuadrada indica el instante en que se conecta el bombeo. A medida que crece la concentración de hidrógeno, el intervalo de tiempo que pasa entre la conexión del bombeo y la emisión del primer pico, Tb, se acorta.

La figura 5 muestra dos curvas de calibración que resultan de la medida de Tb en función de la concentración de hidrógeno. Cada curva corresponde a la respuesta del sensor bajo condiciones de bombeo de la cavidad láser diferentes. Este resultado demuestra que es posible ajustar la sensibilidad del sensor, no sólo durante la fabricación de la CS, sino también *a posteriori*, una vez montado el sistema, mediante el control de las condiciones de bombeo de la cavidad láser.

La figura 6 muestra la evolución de T5 en función del tiempo, cuando la cabeza sensora se expone a una concentración de hidrógeno del 4%. Una vez conectado el flujo de hidrógeno, y a medida que la capa de paladio se hidrogena, Tb va disminuyendo hasta alcanzar un valor final. Cuando el flujo de hidrógeno se cierra, Tb recupera el valor inicial. Cabe destacar, por una parte, el comportamiento reversible del sensor, y por otra parte, la diferencia entre el tiempo que emplea el sensor en el proceso de la hidrogenación y el de la deshidrogenación, siendo este último bastante más largo.

En el caso del modo de realización (b) descrito en la figura 1, en el que la cabeza sensora del tipo CS1 forma parte de una cavidad láser en forma de anillo, el comportamiento del sensor es análogo al descrito para el sensor basado en el modo de realización (a).

En el caso del modo de realización (c) descrito en la figura 1 se emplea una cabeza sensora del tipo CS2, que actúa también como elemento reflectante. La presencia de hidrógeno produce una reducción de su reflectividad, de manera que las pérdidas totales de la cavidad láser aumentan, aumentando Tb. Es decir, en este modo de realización, Tb aumenta a medida que aumenta la concentración de hidrógeno.

Para cualquiera de los tres modos de realización de la invención descritos en la figura 1, es posible hacerlos operar modulando la potencia de bombeo de la cavidad láser mediante una señal en forma rampa (o diente de sierra) en lugar de un bombeo tipo escalón como el mostrado en la figura 3. En este caso, el tiempo que pasa desde que se inicia la rampa hasta el instante en que el láser empieza a emitir proporciona la información referente a la concentración de hidrógeno.

Lista de referencias

- 5
- [1] C. **Christofides** and A. **Mandelis**; "Solid-state sensors for trace hydrogen gas detection", *J. Appl. Phys.*, **68**, R1-R30, (1990).
- [2] S. M. **Adler-Golden**, *et al.* "Laser Raman sensor for measurement of trace hydrogen gas", *Appl. Opt.*, **31**, 831-835 (1992).
- 10
- [3] P. **Tobiska**, O. **Hugon**, A. **Trouillet**, and H. **Gagnaire**, "An integrated optic hydrogen sensor base on SPR on palladium", *Sensors and Actuators B*, **74**, 168-172 (2001).
- [4] M. A. **Butler**; "Micromirror optical-fiber hydrogen sensor", *Sensors and Actuators B*, **22**, 155-163 (1994).
- 15
- [5] X. **Bévenot**, A. **Trouillet**, C. **Veillas**, H. **Gagnaire**, and M. **Clément**; "Hydrogen leak detection using an optical fiber sensor for aerospace applications", *Sensors and Actuators B*, **67**, 57-67 (2000).
- [6] B. **Sutapun**, M. **Tabib-Azar**, A. **Kazemi**, "Pd-coated elasto-optic fiber optic Bragg grating sensors for multiplexed hydrogen sensing", *Sensors and Actuators, B*, **60**, grating sensors for multiplexed hydrogen sensing", *Sensors and Actuators, B*, **60**, 27-34 (1999).
- 20
- [7] M. A. **Butler** and D. S. **Ginley**; "Hydrogen sensing with palladium-coated optical fibers", *J. Appl. Phys.*, **64**, 3706-3712, (1988).
- [8] M. **Tabib**, B. **Sutapun**, R. **Petrick**, and A. **Kazemi**; "Highly sensitive hydrogen sensors using palladium coated fiber optics with exposed cores and evanescent field interactions", *Sensors and Actuators B*, **56**, 158-163 (1999).
- 25
- [9] J. **Villatoro**, A. **Diez**, J. L. **Cruz** and M. V. **Andres**, "Highly sensitive optical hydrogen sensor using circular Pd-coated singlemode tapered fibre", *Electron. Lett.*, **37**, 1011-1012 (2001)
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica que comprende un láser de fibra óptica y una cabeza sensora que forma parte de la cavidad láser, que se **caracteriza** porque permite detectar la presencia de hidrógeno y, en su caso, determinar la concentración del mismo, mediante la medida del tiempo de retardo entre dos señales pulsadas.
- 10 2. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicación 1, que se **caracteriza** porque la medida de la concentración de hidrógeno se obtiene a partir del tiempo que transcurre desde que se inicia el bombeo del láser y la emisión del primer pico láser.
- 15 3. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque las propiedades ópticas de la luz emitida por el láser varían cuando la cabeza sensora se expone al hidrógeno.
- 20 4. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque la cabeza sensora puede consistir en una fibra óptica con una sección de la misma reducida en su diámetro y una capa delgada de paladio depositada sobre la sección de diámetro reducido.
- 25 5. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque la cabeza sensora puede consistir en una fibra óptica, en uno de cuyos extremos se ha depositado una capa delgada de paladio.
- 30 6. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 5, **caracterizado** porque la configuración de la cavidad láser puede ser de tipo Fabry-Perot.
- 35 7. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 4, y 6, **caracterizado** porque la cabeza sensora puede estar incorporada en el interior de la cavidad láser.
- 40 8. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 3, y de 5 a 6, **caracterizado** porque la cabeza sensora puede situarse en un extremo de la cavidad láser, actuando como elemento reflectante.
- 45 9. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 4, **caracterizado** porque la configuración de la cavidad láser puede ser de tipo anillo.
- 50 10. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque la cavidad láser puede ser bombeada con una señal óptica cuya potencia está modulada con una onda rectangular.
- 55 11. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1, 2 y 10, **caracterizado** porque el nivel bajo de potencia de bombeo cuando la cavidad láser es bombeada con una señal óptica cuya potencia está modulada con una onda rectangular, puede no ser cero.
- 60 12. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicación 1 y 2, **caracterizado** porque la cavidad láser puede ser bombeada con una señal óptica cuya potencia está modulada con una onda de tipo diente de sierra.
- 65 13. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 5, **caracterizado** porque su sensibilidad puede ser ajustada durante el proceso de fabricación de la cabeza sensora.
14. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 1 y 2 y de 10 a 12, **caracterizado** porque su sensibilidad puede ser ajustada cambiando las condiciones de bombeo de la cavidad láser.
15. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 14, **caracterizado** porque permite medir la concentración de hidrógeno en el rango del 0% al 10%.
16. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones de 1 a 14, **caracterizado** porque su alta sensibilidad permite detectar pequeñas concentraciones de hidrógeno, por debajo del 4%.
17. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicaciones 4 y 5, **caracterizado** porque la respuesta del sensor es reversible.
18. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicación 4, **caracterizado** porque es posible disponer dentro de la misma cavidad láser varias cabezas sensoras.
19. Sensor de hidrógeno de láser de fibra óptica, según reivindicación 6, **caracterizado** porque los espejos que definen la cavidad Fabry-Perot pueden ser del tipo red de Bragg grabada en fibra óptica y con ello la medida de la longitud de onda de la luz emitida permita determinar la temperatura del sistema al mismo tiempo que se mide la concentración de hidrógeno.

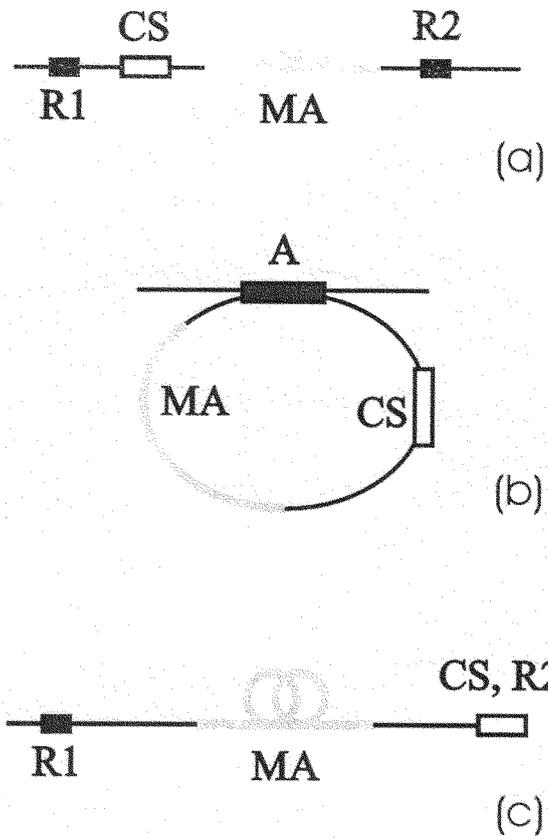


Figura 1

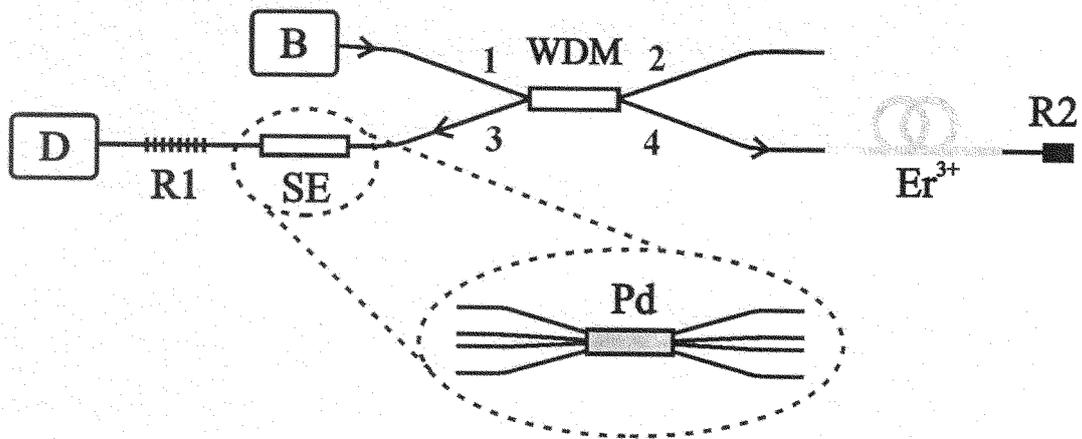


Figura 2

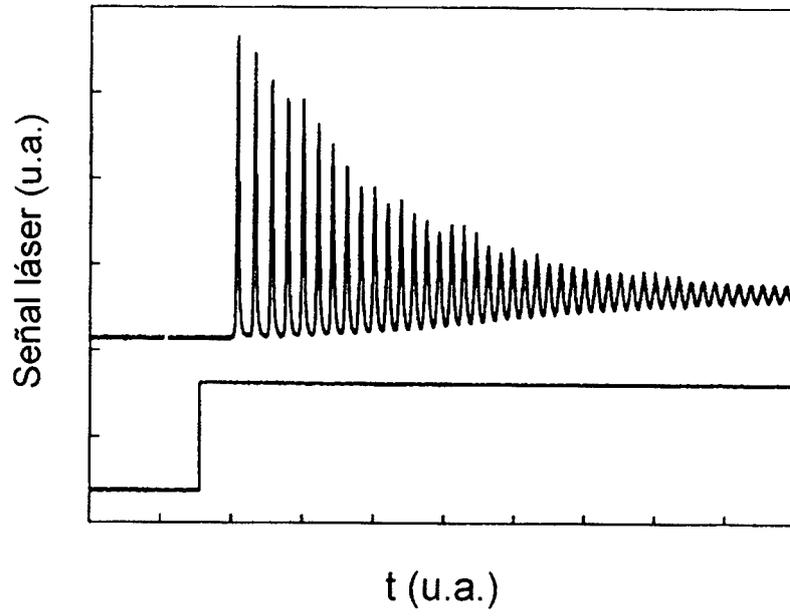


Figura 3

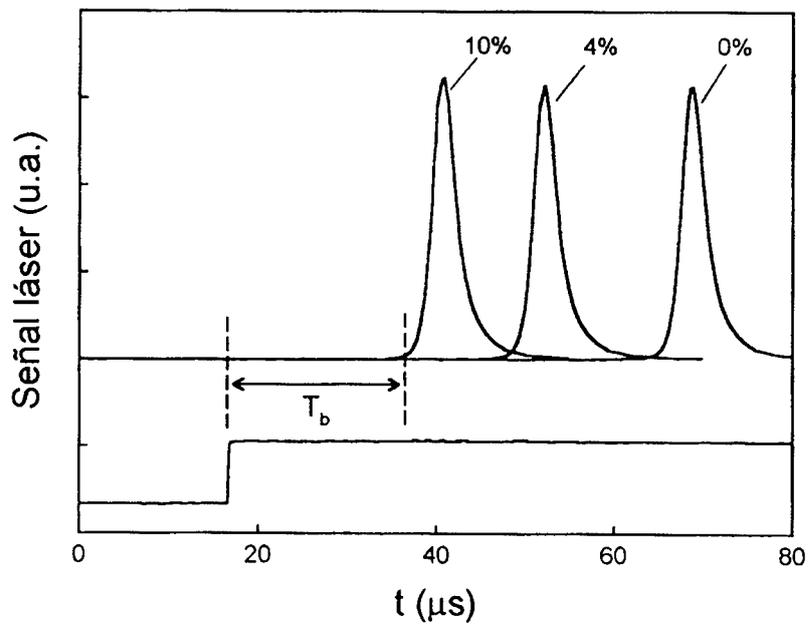


Figura 4

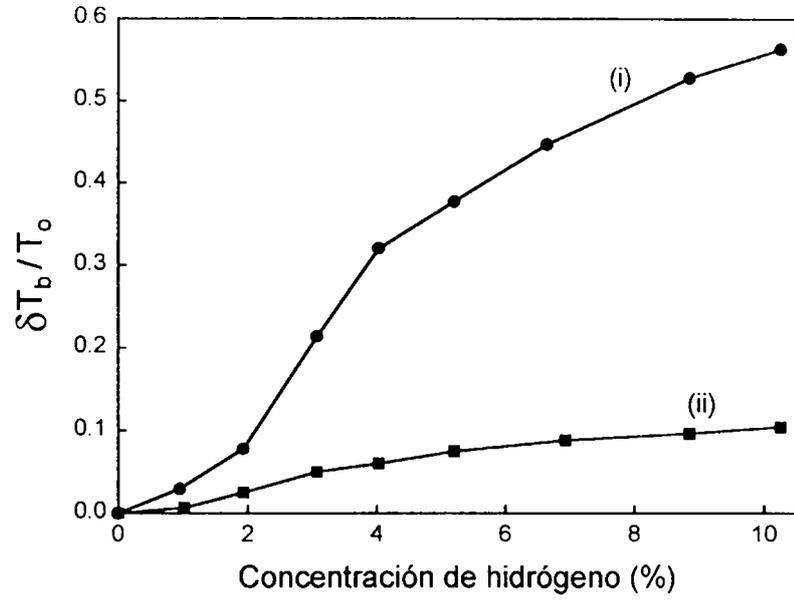


Figura 5

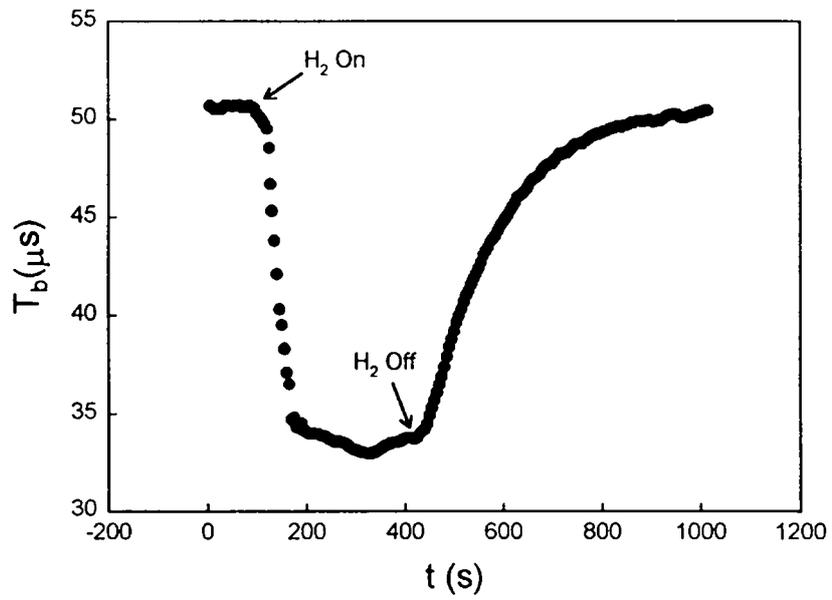


Figura 6



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 244 320

② Nº de solicitud: 200400623

③ Fecha de presentación de la solicitud: **08.03.2004**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.7: G01N 21/61

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	J. VILLATORO; A. DÍEZ; J.L. CRUZ y M.V. ANDRÉS: "HIGHLY SENSITIVE OPTICAL HYDROGEN SENSOR USING CIRCULAR Pd-COATED SINGLEMODE TAPERED FIBRE". ELECTRONICS LETTERS, Vol. 37, Nº 16, páginas 1011-1012, 02.08.2001	1-5,13, 15-17
A	M.A. BUTLER: "MICROMIRROR OPTICAL-FIBER HYDROGEN SENSOR". SENSORS AND ACTUATORS B 22 (1994), páginas 155-163.	1-5,10-13, 15-17
A	X. BÉVENOT; A. TROUILLET; C. VEILLAS; H. GAGNAIRE; M. CLÉMENT: "HYDROGEN LEAK DETECTION USING AN OPTICAL FIBRE SENSOR FOR AEROSPACE APPLICATIONS". SENSORS AND ACTUATORS B 67 (2000), páginas 57-67.	1-5,13, 15-17
A	M. TABIB-AZAR; B. SUTAPUN; R. PETRICK; A. KAZEMI: "HIGHLY SENSITIVE HYDROGEN SENSORS USING PALLADIUM COATED FIBER OPTICS WITH EXPOSED CORES AND EVANESCENT FIELD INTERACTIONS". SENSORS AND ACTUATORS B 56 (1999), páginas 158-163.	1-5,13, 15-17
A	P. TOBISKA; O. HUGON; A. TROUILLET; H. GAGNAIRE: "AN INTEGRATED OPTIC HYDROGEN SENSOR BASED ON SPR ON PALLADIUM". SENSORS AND ACTUATORS B 74 (2001), páginas 168-172.	
A	Y.T. PENG; Y. TANG y S. SIRKIS: "THE CHARACTERIZATION OF HYDROGEN SENSORS BASED ON PALLADIUM ELECTROPLATED FIBER BRAGG GRATINGS (FBG)". PART OF THE SPIE CONFERENCE ON SENSORY PHENOMENA AND MEASUREMENT INSTRUMENTATION FOR SMART STRUCTURES AND MATERIALS, CALIFORNIA, MARZO DE 1999, SPIE, Vol. 3670.	

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 02.11.2005	Examinador O. González Peñalba	Página 1/1
---	--	----------------------