

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 495 719**

51 Int. Cl.:

F01D 21/00 (2006.01)

F02C 9/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2006 E 06850383 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.07.2014 EP 1952003**

54 Título: **Método y aparato para mediciones espectroscópicas en la zona de combustión de un motor de turbina de gas**

30 Prioridad:

04.11.2005 US 733431 P

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

17.09.2014

73 Titular/es:

**ZOLO TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
4946 NORTH 63RD STREET
BOULDER, CO 80301, US**

72 Inventor/es:

**SAPPEY, ANDREW D;
MASTERSON, BERNARD PATRICK y
HOFVANDER, HENRIK**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 495 719 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

Método y aparato para mediciones espectroscópicas en la zona de combustión de un motor de turbina de gas

5 Campo técnico

La presente invención se dirige a un método y aparato para monitorear y controlar un proceso de combustión, y más particularmente a un método y aparato para mediciones espectroscópicas en la zona de combustión de un motor de turbina de gas.

10

Antecedentes de la invención

15

Los instrumentos espectroscópicos basados en láser se han implementado en una variedad de entornos para extraer los datos de medición. El aparato de medición basado en láser puede implementarse *in situ* y ofrece la ventaja adicional de la realimentación de alta velocidad adecuada para el control del proceso dinámico. Una técnica para medir la especie de combustión tales como composición del gas, temperatura y otros parámetros de combustión (colectivamente, "propiedades de combustión") utiliza la espectroscopia de absorción láser de diodo sintonizable (TDLAS). La TDLAS se implementa típicamente con láseres de diodo que funcionan en las regiones espectrales de infrarrojo próximo e infrarrojo medio. Se han desarrollado ampliamente láseres adecuados para su uso en la industria de las telecomunicaciones y están, por lo tanto, fácilmente disponibles para la TDLAS. Se han desarrollado varias técnicas para la TDLAS que son más o menos adecuadas para sensar el control del proceso de combustión. Las técnicas comúnmente conocidas son la espectroscopia de modulación de longitud de onda y espectroscopia de absorción directa. Cada una de estas técnicas se basa en una relación predeterminada entre la cantidad y la naturaleza de la luz láser recibida por un detector después que se ha transmitido la luz a través de una zona de combustión (o cámara de combustión) y se ha absorbido en bandas espectrales específicas que son característicos de la especie de combustión presente en la zona de combustión. El espectro de absorción recibido por el detector se usa para determinar las propiedades de combustión, que incluyen la cantidad de la especie de combustión bajo los parámetros de combustión de análisis asociados tal como la temperatura.

20

25

30

Una aplicación particularmente útil de la TDLAS utiliza mediciones láser de diodo de longitud de onda multiplexada con el fin de monitorear múltiples especies de combustión y parámetros de combustión. Se describe uno de tales sistemas en PCT/US2004/010048 (publicación internacional núm. WO 2004/090496) titulada "Método y aparato para el monitoreo y control de combustión" ("WO '496"), el contenido de la cual se incorpora en su totalidad en la presente.

35

La JP 2004 204 787 muestra las características técnicas del preámbulo de las reivindicaciones 1 y 16. La US 2005 019 1755 es un método para monitorear la capa de óxido en los componentes metálicos.

40

Puede usarse la determinación de las propiedades de combustión para mejorar la eficiencia de la combustión en, por ejemplo, los motores de turbina de gas, mientras que se reduce simultáneamente las emisiones nocivas tales como óxidos de nitrógeno. El monitoreo de las propiedades de combustión dentro de los motores de turbina de gas también tiene el potencial para mejorar la vida útil del álabe de turbina y todos los otros componentes del motor en popa de la zona de combustión así como también proporcionar un diagnóstico útil para identificar los motores que funcionan mal.

45

50

Mientras que el monitoreo de las propiedades de combustión en los motores de turbina de gas parece tener muchos beneficios potenciales, efectuar las mediciones ha demostrado ser extremadamente difícil. La dificultad proviene de dos fuentes principales. En primer lugar, la alta presión y la temperatura de la zona de combustión (30-40 bar, 2200 K) crea un entorno en el cual las características espectrales normales están sumamente distorsionadas, lo que conduce a la dificultad en la interpretación de los datos incluso si pueden obtenerse. En segundo lugar, efectuar tales mediciones en un motor en funcionamiento requiere acceso óptico; es decir, una penetración o penetraciones en la carcasa del motor a través de las cuales uno puede dirigir un rayo láser sobre una línea de visión. Este es muy difícil de colocar en motores de turbina de gas en funcionamiento debido a la naturaleza fuerte del entorno del motor, el espacio limitado disponible para monitorear los componentes y la necesidad de minimizar el impacto en los componentes críticos.

55

Para ilustrar la dificultad de proporcionar el acceso óptico visual a la zona de combustión de un motor de turbina de gas, la Fig. 1 es una vista esquemática de un motor de turbina de gas 10 que incluye una zona de combustión 12. La zona de combustión 12 se define entre una carcasa exterior cilíndrica 14 y una carcasa interior cilíndrica 16. Un eje de turbina 18 reside dentro de la carcasa interior 16. El área encerrada en el área adyacente de la zona de combustión complica el acceso eficaz.

La Fig. 2 es una sección transversal esquemática de la zona de combustión 12 tomada a lo largo de las líneas A-A de la Fig. 1. La Fig. 2 muestra la carcasa exterior cilíndrica 14, la carcasa interior cilíndrica 16, el eje de turbina 18 y un número de copas de combustible de la cámara de combustión 20 entre las carcasas interior y exterior. Una posibilidad para proporcionar acceso visual a la zona de combustión es proporcionar un elemento de transmisión óptica 22 asociado con el puerto de introspección 24 en la carcasa exterior y un elemento de recepción óptica 26 asociado con un puerto en la carcasa interior. Sin embargo, el eje de turbina que se aloja en la carcasa interior evita que se coloque cualquier elemento óptico dentro de la carcasa interior.

Se ilustra una segunda posibilidad en la Fig. 3, con números de referencia similares asociados con los elementos similares. Aquí se proporciona una línea de visión al pasar el láser de un puerto de inspección de introspección 24A a un segundo puerto de inspección de introspección 24B. En tal modalidad, la línea de visión rodea la carcasa interior central formando esencialmente un cordón 28 a través del espacio de combustión anular. Mientras que es potencialmente factible, tal diseño es problemático debido a la alta presión, el entorno de alta temperatura y la dificultad para dirigir el haz en el ángulo severo requerido por la geometría del motor.

La presente invención se dirige hacia la superación de uno o más de los problemas descritos anteriormente.

Breve descripción de las figuras

La Fig. 1 es una vista en sección parcial tomada a lo largo de un eje longitudinal de una representación esquemática de un motor de turbina de gas;

La Fig. 2 es una vista en sección transversal esquemática de la zona de combustión del motor de turbina de gas de la Fig. 1 tomada a lo largo de las líneas A-A de la Fig. 1 que ilustra un acoplamiento óptico potencial de un par de elementos de transmisión/recepción óptica;

La Fig. 3 es similar a la Fig. 2 sólo que ilustra un segundo acoplamiento potencial de un par de elementos de transmisión/recepción óptica;

La Fig. 4 es similar a la Fig. 2 sólo que ilustra el acoplamiento de un par de elementos de transmisión/recepción óptica configurado de acuerdo con la presente invención;

La Fig. 5 es una representación esquemática de una modalidad de un aparato para medir los parámetros de combustión dentro de una zona de combustión de un motor de turbina de gas de acuerdo con la presente invención usando una sola entrada de haz de longitud de onda;

La Fig. 6 es una representación esquemática de una modalidad de un aparato para medir los parámetros de combustión dentro de una zona de combustión de un motor de turbina de gas de acuerdo con la presente invención usando una entrada de haz multiplexado; y

La Fig. 7 es un gráfico de la señal reflejada contra el tiempo en cuatro longitudes de onda diferentes entre 1348-1559 nm medido en un ejemplo de acuerdo con la presente invención.

Resumen de la invención

Un primer aspecto de la invención es un método para medir las propiedades de combustión dentro de una zona de combustión de un motor de turbina de gas, la zona de combustión que se define entre una carcasa interior y exterior de acuerdo con la reivindicación 1. El método comprende transmitir un haz desde un elemento de transmisión óptica acoplado ópticamente a un puerto en la carcasa exterior fuera de una porción de la carcasa interior y recibir una porción del haz reflejado fuera de la carcasa interior con un elemento de recepción óptica acoplado ópticamente a un puerto en la carcasa exterior. El elemento de transmisión óptica y el elemento de recepción óptica pueden acoplarse ópticamente al mismo puerto y el puerto puede ser un puerto de introspección preexistente proporcionado en la carcasa exterior por el fabricante del motor para observar un álabe de turbina durante el mantenimiento. La etapa de transmisión puede incluir transmitir un haz que comprende una pluralidad de longitudes de onda multiplexadas discretas. En tal modalidad, el método puede incluir además demultiplexar la porción del haz recibido por el elemento de recepción óptica en longitudes de onda discretas y detectar al menos una longitud de onda discreta del haz demultiplexado. El método puede incluir además determinar la concentración de al menos una especie de combustión en base a la intensidad de la al menos una longitud de onda detectada. El método puede incluir además determinar la concentración de una pluralidad de especies de combustión en base a la intensidad de una pluralidad de longitudes de onda discretas detectadas de un haz multiplexado. Los parámetros de entrada del motor pueden variarse en respuesta a las concentraciones seleccionadas de la especie de combustión para afectar el desempeño del motor. Adicional o alternativamente, la concentración de al menos una propiedad de combustión, tal como una especie de combustión puede monitorearse para determinar un mal funcionamiento del motor. El método puede incluir además tratar una porción de la carcasa interior para mejorar su reflectividad.

Un segundo aspecto de la presente invención es un aparato para medir los parámetros de combustión de un motor de turbina de gas, el motor de turbina de gas que tiene una zona de combustión definida entre una carcasa interior y exterior y un puerto en la carcasa exterior en comunicación con la carcasa interior de acuerdo con la reivindicación 16. El aparato incluye un láser que genera un haz de una longitud de onda discreta y un elemento de transmisión óptica acoplado ópticamente al láser para transmitir el haz. Un elemento de recepción óptica se proporciona además y el elemento de recepción óptica y el elemento de transmisión óptica se configuran para su asociación operativa con el puerto en la carcasa exterior del motor de turbina de gas, de manera que el elemento de transmisión óptica y el elemento de recepción óptica se acoplan ópticamente mediante la reflexión del haz fuera de la porción de la carcasa interior. En una modalidad, el sistema comprende además una pluralidad de láseres cada uno que genera un haz de una longitud de onda discreta y un multiplexor acoplado ópticamente a la pluralidad de láseres para multiplexar los haces de longitud de onda discreta en un haz multiplexado. El multiplexor se acopla ópticamente al elemento de transmisión óptica para transportar el haz multiplexado al mismo. Tal modalidad puede incluir además un demultiplexor acoplado ópticamente al elemento de recepción óptica y un detector acoplado ópticamente al demultiplexor para detectar cada haz de longitud de onda discreta recibido por el elemento de recepción óptica. Puede acoplarse una computadora a cada detector con la computadora que se programa para determinar una concentración de al menos una especie de combustión en base a una salida de los detectores. La computadora puede programarse además para controlar los parámetros de entrada del motor como una función de la concentración de la al menos una especie de combustión. La computadora puede programarse para determinar un mal funcionamiento del motor en base a la concentración de al menos una especie de combustión.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención un motor de turbina de gas se proporciona comprendiendo una zona de combustión entre una carcasa interior y exterior y un aparato de acuerdo con la reivindicación 17. Un puerto en la carcasa exterior se asocia operativamente con la zona de combustión opuesta sustancialmente a una porción de la carcasa interior. Un par de elementos de transmisión y recepción óptica acoplado ópticamente con el puerto, el par de elementos de transmisión y recepción óptica que se configura de manera que el elemento de transmisión óptica transmite un haz fuera de la porción de la carcasa interior y el elemento de recepción óptica recibe al menos una porción del haz reflejado fuera de la porción de la carcasa interior. El motor de turbina de gas puede incluir además un primer y segundo puertos en la carcasa exterior asociados operativamente con la cámara de combustión, el elemento de transmisión óptica que se acopla ópticamente con el primer puerto y el elemento de recepción óptica que se acopla ópticamente con el segundo puerto. La porción de la carcasa interior puede tratarse para mejorar su reflectividad.

Descripción detallada de la invención

La Fig. 1, que se describe brevemente más arriba representa en forma esquemática una vista en sección parcial tomada a lo largo de un eje de un motor de turbina de gas 10 que ilustra la cámara de combustión 12. La Fig. 4 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de las líneas A-A de la Fig. 1 que ilustra en forma esquemática la asociación operativa de un par de elemento de transmisión óptica 22 y un elemento de recepción óptica 26 de acuerdo con la presente invención. En la modalidad ilustrada en la Fig. 4, el par de elementos de transmisión/recepción óptica 22, 26 se acopla ópticamente a un puerto 24 en una carcasa exterior 14 y se aseguran físicamente a la carcasa exterior. El puerto 24 puede ser un puerto de introspección que es una penetración en la carcasa exterior disponible cerca de la zona de combustión en muchos motores de turbina de gas modernos. Los puertos de introspección están destinados a permitir las observaciones del álabe de turbina durante el mantenimiento, pero están destinados además para ser accesibles sólo cuando el motor no esté funcionando. Por lo tanto, estos puertos típicamente se conectan durante el funcionamiento del motor. El par de elementos de transmisión/recepción óptica 22, 26 se asegura al puerto 24 y la carcasa exterior de manera que les permite funcionar cuando la conexión se reemplace. El par de elementos de transmisión/recepción óptica 22, 26 se configura para su asociación operativa con el puerto 24 en la carcasa exterior de la turbina de gas de manera que el elemento de transmisión óptica y el elemento de recepción óptica se acoplan ópticamente mediante la reflexión del haz 30 fuera de una porción 32 de la carcasa interior 16 opuesta sustancialmente al puerto 24. Como se usa en la presente, "opuesta sustancialmente" significa posicionada de manera que la luz se refleja fuera de la porción 32 de la carcasa interior de manera especular cercana entre el par de elementos de transmisión/recepción óptica. De esta manera, puede alcanzarse una línea de visión entre el elemento de transmisión óptica 22 y el elemento de recepción óptica 26 en la zona de combustión del motor de turbina de gas con una intrusión mínima. En una modalidad alternativa ilustrada en la Fig. 3, el elemento de transmisión óptica 22 puede dirigir el haz 34 ilustrado en líneas de trazos fuera de la carcasa interior a un elemento de recepción óptica 26 asociado con un puerto distinto. En tal modalidad la porción de la carcasa interior tras la cual el haz se refleja estaría entre los elementos de transmisión/recepción ópticas 22, 26.

Volviendo a la modalidad ilustrada en la Fig. 4, el haz 30 se refleja fuera de la porción 32 de la carcasa interior 16 de manera especular cercana de manera que casi vuelve a trazar su trayectoria hasta el elemento de recepción óptica 26 localizado en

las proximidades del elemento de transmisión óptica. La porción 32 de la carcasa interior puede pulirse o revestirse de alguna manera para aumentar la reflectividad de la porción 32 de la carcasa interior. El tamaño de la porción puede variar de acuerdo con las tolerancias, pero una sección tan pequeña como 5 mm de diámetro puede ser suficiente para mejorar significativamente la transmisión óptica. Adicionalmente o como una alternativa para pulir una porción de la carcasa interior, puede aplicarse un revestimiento de un material altamente reflectante a la porción 32 de la carcasa interior. Alternativamente o adicionalmente, la porción 32 de la carcasa interior puede tratarse para resistir la recolección de depósitos de hollín. Toda clase de tratamiento de la porción 32 de la carcasa interior para mejorar la reflectividad y minimizar la deposición de hollín están en el alcance de la invención.

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente una modalidad de la presente invención en la forma de un sistema o aparato de sensado 50 para sensar, monitorear y controlar un proceso de combustión. El aparato 50 comprende un láser de diodo sintonizable 52 que se acopla ópticamente a una fibra óptica individual 54 que puede ser una fibra óptica de modo simple. La fibra óptica 54 se acopla además ópticamente a un elemento de transmisión óptica 22 que puede incluir una lente de colimación u otros elementos ópticos adecuados para producir un haz colimado transmitido 30. Como se usa en la presente, "acoplado" o "acoplado ópticamente" o "en comunicación óptica con" se define como una relación funcional entre los equivalentes donde la luz puede pasar de un primer componente a un segundo componente ya sea a través o no de componentes intermedios o del espacio libre. El elemento de transmisión óptica 22 y el elemento de recepción óptica 26 se acoplan ópticamente a un puerto 24 en la carcasa exterior cilíndrica 14, de manera que el haz 30 se transmite fuera de una porción 32 de la carcasa interior 16 para ser recibido por el elemento de recepción óptica 26. Como se representa en la Fig. 5, la porción 32 de la carcasa interior puede estar opuesta sustancialmente al puerto 24. La porción 32 puede tratarse para mejorar la reflectividad o minimizar la recolección de hollín como se describe anteriormente con respecto a la Fig. 4. El elemento de recepción óptica 26 se acopla ópticamente a una fibra óptica 56, que puede ser una fibra óptica de modo múltiple. La fibra óptica 56 se acopla ópticamente a un detector 58, que típicamente es un fotodetector sensible a la frecuencia de la luz láser generada por el láser 52. El detector 58 genera una señal eléctrica en base a la naturaleza y cantidad de luz transmitida al detector 58. La señal eléctrica del detector 58 se digitaliza y analiza en una computadora o sistema de procesamiento de datos 60. La computadora 60 se programa para determinar una propiedad de combustión, tal como una concentración de al menos una especie de combustión, en base a la salida del detector. La computadora puede programarse además para controlar los parámetros de entrada del motor tales como aire y combustible proporcionados a la zona de combustión como una función de la concentración de la especie de combustión, como se ilustra por la flecha 62. Alternativamente, o en conjunto, la computadora 60 puede programarse para determinar un mal funcionamiento del motor en base a la concentración de una especie de combustión y producir una señal de advertencia.

La invención contempla el uso del acoplamiento de fibra óptica a los componentes electrónicos y ópticos tanto en los lados de transmisión como de recepción del aparato de sensado 50 para permitir el aparato delicado termosensible tales como el láser de diodo sintonizable 52, el detector 58 y el sistema de procesamiento de datos o computadora 60 que se localizan en un entorno de funcionamiento adecuado lejos del motor de turbina de gas. Por lo tanto, sólo los elementos de transmisión y recepción ópticas relativamente robustos 22, 26 necesitan situarse cerca del entorno hostil de la cámara de combustión 12.

La Fig. 6 esquemáticamente ilustra un aparato de sensado multiplexado de acuerdo con la presente invención. Los números de referencia similares se refieren a los mismos elementos que la Fig. 5. En esta modalidad una pluralidad de láseres de diodo sintonizables 52A-52D se acopla ópticamente a una fibra óptica 72 (que puede ser una fibra óptica de modo simple) y se enruta a un multiplexor 74. Dentro del multiplexor 74 la luz láser de algunos o de todos los láseres de diodo 52A-52D se multiplexa para formar un haz multiplexado que tiene múltiples frecuencias seleccionadas. El haz multiplexado se acopla ópticamente a una fibra óptica 75 y se transmite al elemento de transmisión óptica 22. Un elemento de recepción óptica 26 forma un par de elementos de transmisión/recepción óptica con el elemento de transmisión óptica 22. El par de elementos de transmisión/recepción óptica 22, 26 se acopla ópticamente a un puerto 24 en una carcasa cilíndrica exterior 14 de un motor de turbina de gas, como se describe con respecto a la Fig. 5. Como con la Fig. 5, el haz 82, que en este caso es un haz multiplexado, se refleja fuera de una porción 32 de la carcasa interior 16 para su recepción por el elemento de recepción óptica 26. El elemento de recepción óptica 26 se comunica ópticamente con un demultiplexor 86 por medio de la fibra óptica 88. El demultiplexor 86 demultiplexa los haces multiplexados a longitudes de onda discretas y cada longitud de onda se comunica ópticamente con un detector correspondiente 58A-58D, que a su vez se acopla al procesador de datos o computadora 90, que puede programarse como se describe anteriormente con respecto a la computadora 60 de la Fig. 6.

La modalidad ilustrada en la Fig. 6 puede incluir cualquier número de láseres de diodo sintonizables 52A-52D que generan una variedad de longitudes de onda, aunque se ilustran sólo cuatro en aras de la simplicidad. Se proporciona un número similar de detectores de fotodiodo 58.

El multiplexor 74 y demultiplexor 86 pueden ser componentes diseñados para su uso en la industria de las

telecomunicaciones. Los multiplexores/demultiplexores adecuados se describen en mayor detalle en la WO '496, referenciada anteriormente. Otros aspectos del método y aparato para el monitoreo y control de combustión descrito en la WO '496 pueden incluirse con el aparato descrito en la Figs. 5 y 6 según sea necesario o deseado. Por ejemplo, puede ser útil el uso de múltiples conjuntos de pares de elementos de transmisión/recepción ópticas y conmutadores y/o enrutadores ópticos para proporcionar un haz de luz multiplexado para cada par y para proporcionar el haz a los detectores, particularmente para una representación tomográfica de las propiedades de combustión en donde está la zona de combustión.

En uso, la superficie de la carcasa interior puede degradarse con el tiempo debido a la deposición de material de carbonataciones (esencialmente hollín). Se prevé que incluso con una carcasa interior sucia en la cual la reflectividad de la superficie se degradará y se volverá más altamente dispersa, aproximadamente una parte por millón de la luz permanecerá detectable. En este caso, la medición se vuelve más como un LIDAR (Radar láser) en el cual nuevamente la luz láser dispersa se observa desde la superficie de la carcasa interior en lugar de la reflexión especular. Sin embargo, con la adición de las técnicas de modulación láser y de bloqueo de la frecuencia así como también detectores de fotodiodo de avalancha más eficientes, se cree que estas mediciones de tipo LIDAR serán adecuadas para el monitoreo de la especie de combustión.

Ejemplo

El siguiente ejemplo se proporciona para propósitos ilustrativos solamente y no se pretende limitar el alcance de la invención.

Se recogieron datos de un par de elementos de transmisión/recepción óptica asociados con una porción de una carcasa interior. En este ejemplo, la porción de la carcasa interior a la que el haz se dirigió, se ha granallado, lo que produce un mayor grado de dispersión que la que proporcionará una carcasa interior típica de un motor. Se multiplexan cuatro longitudes de onda en una fibra de modo simple, se coliman y después se dirigen por un elemento de transmisión óptica sobre la porción granallada de la carcasa interior. El elemento de recepción óptica se posicionó para atrapar la reflexión especular de la porción de la carcasa interior. La Fig. 7 es una tabla que muestra la reflexión de los datos recogidos. Los haces de longitud de onda multiplexados se encontraban en las siguientes longitudes de onda: 1 = 1348 nm; 2 = 1376 nm; 3 = 1394 nm y 4 = 1559 nm. Estas longitudes de onda se seleccionaron como útiles para medir las especies de combustión tales como agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). Incluso con el material de dispersión altamente granallado, la Fig. 7 ilustra entre 1000-2500 partes por millón (0.1 - 0.25%) del haz transmitido que se recibe por el elemento de recepción óptica. A modo de comparación, se determinó la luz capturada usando una porción pulida 32 de la carcasa interior. La muestra pulida proporciona una reflectividad de aproximadamente 200,000 partes por millón, o aproximadamente 20%. Este ejemplo sugiere que suficiente luz desde un haz puede transmitirse al elemento de recepción óptica para permitir la medición de la especie de combustión.

Mientras que la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a un número de modalidades, se entenderá por los expertos en la materia que pueden hacerse cambios en la forma y detalles a las diversas modalidades descritas en la presente sin apartarse del alcance de la invención y que las diversas modalidades descritas en la presente no pretenden actuar como limitantes en el alcance de las reivindicaciones.

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para medir una propiedad de combustión o propiedades de combustión dentro de una zona de combustión (12) de un motor de turbina de gas, la zona de combustión que se define entre una carcasa interior (16) y exterior (14), el método que comprende:
- 10 a) transmitir un haz óptico a través de una primera fibra óptica (54) a un elemento de transmisión óptica (22) acoplada ópticamente a un puerto (24) en la carcasa exterior;
- 10 b) transmitir el haz desde un elemento de transmisión óptica a través de la zona de combustión hacia una porción de la carcasa interior; **caracterizado porque** el método comprende además:
- 15 c) recibir una porción del haz reflejado fuera de la porción de la carcasa interior con un elemento de recepción óptica (26) acoplado ópticamente a un puerto en la carcasa exterior; y
- 15 d) transmitir la porción recibida del haz reflejado a través de una segunda fibra óptica (56) para interrelacionar la cantidad y la naturaleza del haz recibido con las propiedades de combustión dentro de la zona de combustión.
2. Un método de la reivindicación 1 en donde el elemento de transmisión óptica y el elemento de recepción óptica se acoplan ópticamente al mismo puerto.
- 20 3. Un método de la reivindicación 2 en donde el puerto es un puerto de introscopio preexistente proporcionado por el fabricante del motor para observar un álabe de turbina durante el mantenimiento.
- 25 4. Un método de la reivindicación 1 que comprende además en la etapa a), transmitir un haz que comprende una pluralidad de longitudes de onda multiplexadas discretas, en una primera fibra simple, y que comprende además en la etapa d) transmitir el haz recibido que comprende una pluralidad de longitudes de onda multiplexadas discretas en una segunda fibra simple.
5. Un método de la reivindicación 4 que comprende además:
- 30 en la etapa d) demultiplexar la porción del haz recibido por el elemento de recepción óptica en longitudes de onda discretas y transportar al menos una longitud de onda discreta del haz demultiplexado a un detector a través de la segunda fibra óptica.
6. Un método de la reivindicación 5 que comprende además:
- 35 e) determinar la concentración de al menos una especie de combustión en base a la intensidad de la al menos una longitud de onda detectada.
7. Un método de la reivindicación 6 que comprende además:
- 40 f) alternar los parámetros de entrada del motor en respuesta a una concentración seleccionada de la al menos una especie de combustión.
8. Un método de la reivindicación 6 que comprende además monitorear la concentración de la al menos una especie de combustión para determinar un mal funcionamiento del motor.
- 45 9. Un método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además antes de la etapa a), tratar la porción de la carcasa interior para mejorar su reflectividad.
- 50 10. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-8, que comprende además antes de la etapa a) tratar la porción de la carcasa interior para dispersar el haz.
11. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la fibra óptica aguas arriba al multiplexor es una fibra de modo simple.
- 55 12. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el haz está en el intervalo espectral infrarrojo próximo o medio.

13. Un aparato para medir una propiedad de combustión o propiedades de combustión de un motor de turbina de gas, el motor de turbina de gas que tiene una zona de combustión (12) definida entre una carcasa interior (16) y exterior (14), y al menos un puerto (24) en la carcasa exterior, el aparato que comprende:
- 5 un laser (52) que genera un haz de luz;
un elemento de transmisión óptica (22) acoplada ópticamente al láser que transmite el haz mediante una primera fibra óptica (54); **caracterizado porque** el aparato comprende además:
- 10 un elemento de recepción óptica (26), el elemento de recepción óptica y el elemento de transmisión óptica que se configuran para la asociación operativa con un puerto (24) en la carcasa exterior del motor de turbina de gas, de manera que el elemento de transmisión óptica y el elemento de recepción óptica se acoplan ópticamente mediante la reflexión del haz fuera de una porción de la carcasa interior; y
un detector (58) acoplado ópticamente al elemento de recepción óptica mediante una segunda fibra óptica (56).
- 15 14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende el motor de turbina de gas que comprende:
- un puerto en la carcasa exterior asociado operativamente con la zona de combustión sustancialmente opuesto a una porción de la carcasa interior; y
- 20 el par de elementos de transmisión y recepción ópticos acoplado ópticamente con el puerto, el par de elementos de transmisión y recepción ópticos que se configura de manera que el elemento de transmisión óptica transmite un haz fuera de la porción de la carcasa interior y el elemento de recepción óptica recibe al menos una porción del haz reflejado fuera de la porción de la carcasa interior.
- 25 15. Un aparato de la reivindicación 13 que comprende además:
- una pluralidad de láseres cada uno que genera un haz de una longitud de onda discreta; y
un multiplexor acoplado ópticamente a la pluralidad de láseres para multiplexar los haces de longitud de onda discreta en un haz multiplexado, el multiplexor que se acopla ópticamente al elemento de transmisión óptica
- 30 mediante una fibra óptica.
16. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 13-15, en donde la primera fibra óptica es una fibra de modo simple.

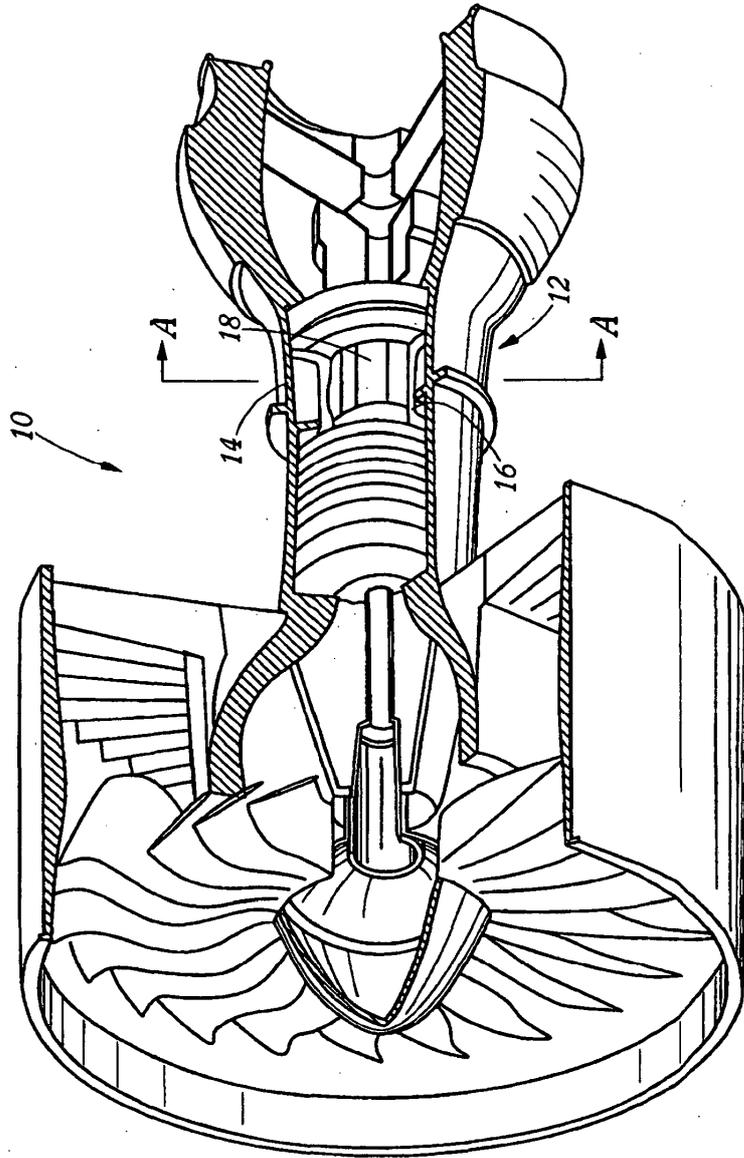


FIG. 1

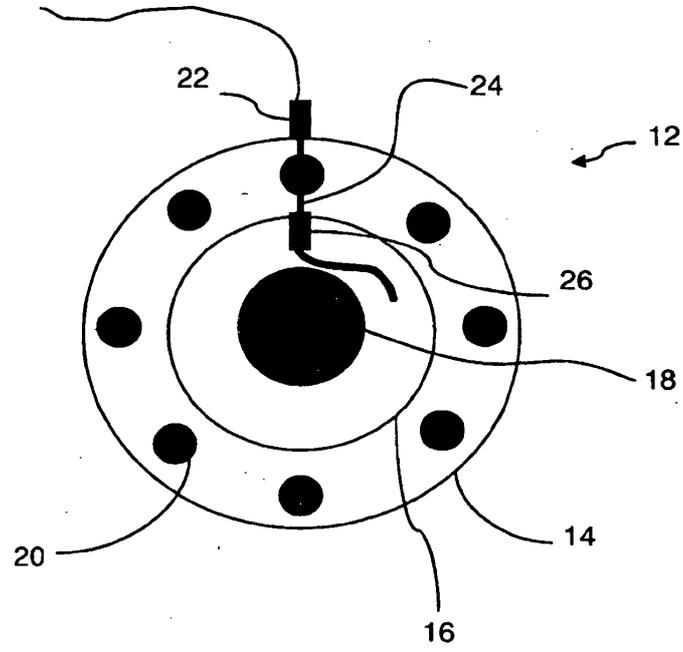


Fig. 2

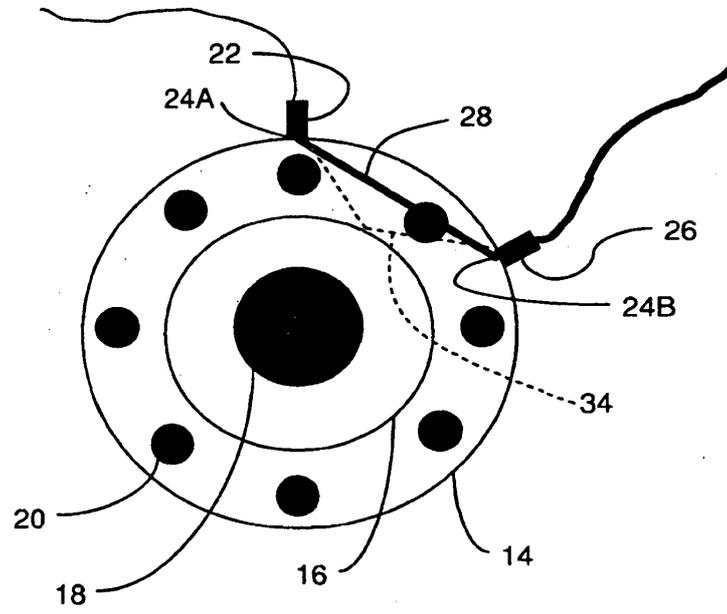


Fig. 3

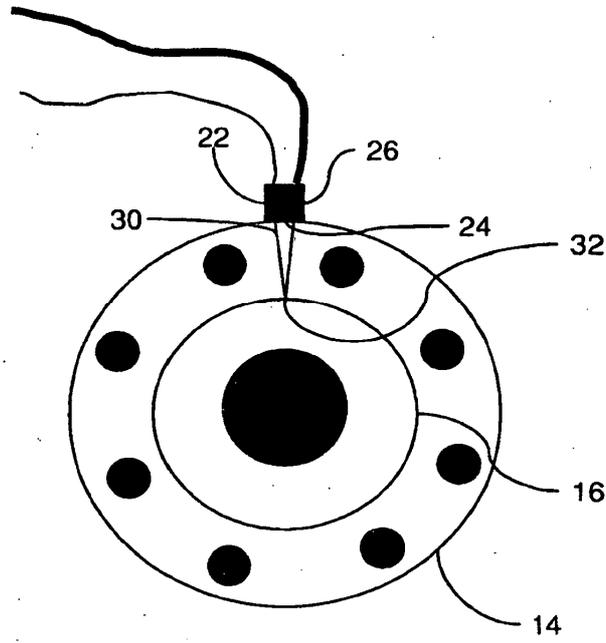


Fig. 4

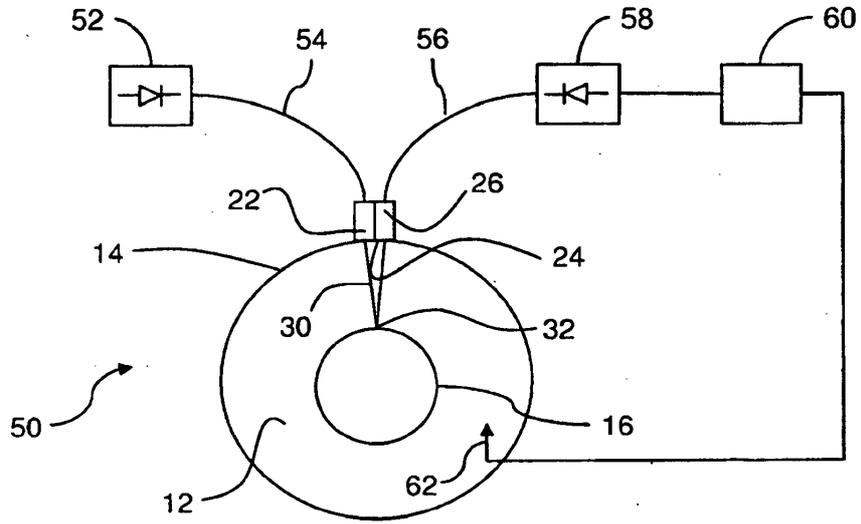


Fig. 5

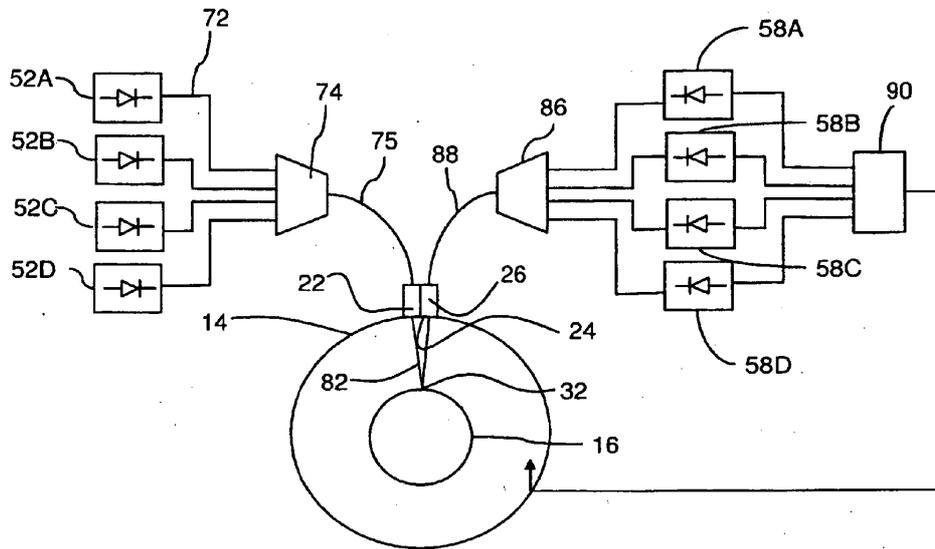


Fig. 6

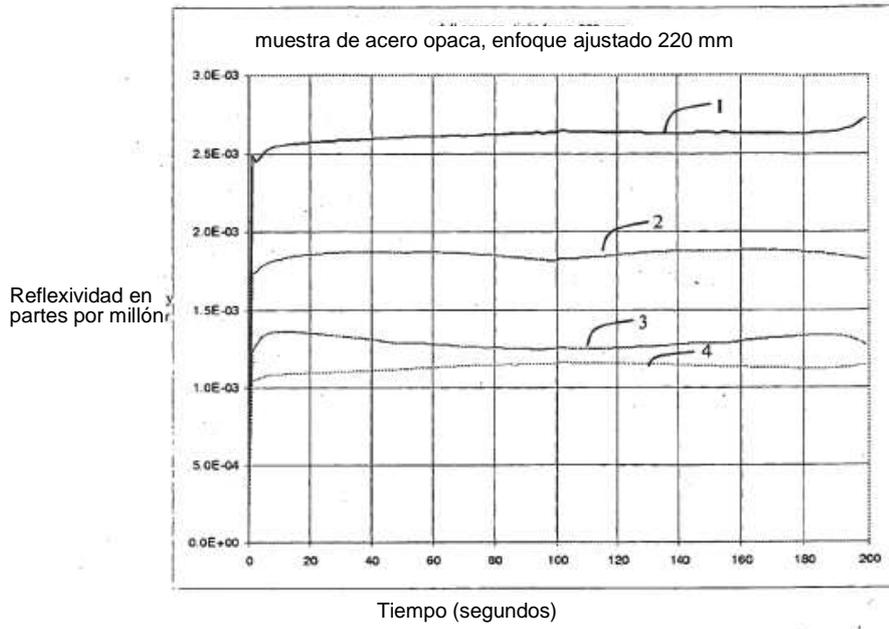


Fig. 7