

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 454 269**

51 Int. Cl.:

G01N 21/85 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01J 3/10 (2006.01)
G01J 3/26 (2006.01)
G01J 3/28 (2006.01)
G01J 3/42 (2006.01)
G01N 21/35 (2006.01)
G01J 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2008 E 08838521 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2013 EP 2198277**

54 Título: **Dispositivo de espectrometría para el análisis de un fluido**

30 Prioridad:

12.10.2007 FR 0707153

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

10.04.2014

73 Titular/es:

**SP3H (100.0%)
Domaine du petit Arbois Batiment Laennec
13100 Aix-en-Provence, FR**

72 Inventor/es:

**FOURNEL, JOHAN;
LUNATI, ALAIN y
GERGAUD, THIERRY**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 454 269 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

Dispositivo de espectrometría para el análisis de un fluido

- 5 La presente invención se refiere al análisis de fluidos. La presente invención se refiere más particularmente al análisis cualitativo de fluidos y, en particular, de combustibles a base de hidrocarburos o de biocombustibles, que garantizan el funcionamiento de un motor de combustión, tal como los presentes en los vehículos.
- 10 Cada vez con mayor frecuencia, los automóviles están equipados con un sistema de gestión electrónico configurado para optimizar el funcionamiento del motor en función de diferentes parámetros medidos por sensores. Tales sistemas están generalmente configurados para ajustar la cantidad de combustible inyectada en el motor, para regular el tiempo de inyección, el avance del encendido, la presión de admisión y el reciclado de los gases de escape, en función, en particular, de la velocidad del motor, de la temperatura del aceite y del líquido refrigerante, y en función de parámetros exteriores tales como la presión atmosférica y temperatura ambiente.
- 15 Sin embargo, esta optimización se encuentra limitada por fluctuaciones de la calidad de los combustibles. En efecto, aunque están definidos por normas, los combustibles están sujetos a variaciones de calidad significativas en función del tiempo atmosférico y del distribuidor de combustible. En términos generales, los combustibles están caracterizados por parámetros físicoquímicos tales como los índices de octano y la presión de vapor en el caso de los motores de encendido por chispa, el índice de cetano, el punto de encendido y la resistencia al frío en el caso de los motores diésel, así como la curva de destilación, la densidad y el contenido de compuestos oxigenados. Así, se estima que los parámetros físicoquímicos de los combustibles basados en hidrocarburos pueden variar entre el 15 y el 40 % o más, alrededor de valores medios normalizados especificados en las normas.
- 20 Ahora bien, el funcionamiento de un motor de combustión está optimizado para un combustible normalizado. Si la calidad del combustible presente en el surtidor es demasiado diferente de la calidad del combustible normalizado, esta optimización ya no es aplicable y el motor tenderá a consumir más combustible y a generar mayor cantidad de gases contaminantes.
- 25 Por lo tanto, es deseable determinar la calidad del combustible que va a alimentar al motor y tener en cuenta los resultados obtenidos para gestionar el funcionamiento del motor. Para ese propósito, la espectrometría de absorción en el infrarrojo cercano resulta apropiada para la evaluación cualitativa de un hidrocarburo o de una mezcla de hidrocarburos.
- 30 Un espectrómetro tradicional de generación de un espectro de absorción de fluido comprende generalmente los elementos siguientes:
- 35 - una fuente de luz que cubre por lo menos una banda de longitudes de onda en la cual se deben efectuar las medidas,
 - 40 - un dispositivo denominado «detector» en la siguiente descripción, en el cual interactúan la luz producida por la fuente de luz y el fluido que se desea analizar, y
 - 45 - un sensor de análisis espectral el cual analiza la luz que sale de la sonda.
- Tal espectrómetro permite obtener un espectro de absorción que se presenta en forma de una curva del tipo $T = f(\lambda)$, indicando la cantidad T de luz que ha atravesado el fluido que se desea analizar en función de la longitud de onda λ .
- 50 Un espectrómetro está caracterizado principalmente por su gama de análisis espectral (anchura y posición de los espectros generados), su precisión de análisis o el número de puntos de medición que constituyen el espectro proporcionado, su precisión de medición para el valor de absorción y su sensibilidad, es decir, su capacidad para medir cantidades bajas de luz.
- 55 Los espectrómetros actuales presentan generalmente una gran complejidad y, por consiguiente, son muy caros, y tienen unas dimensiones relativamente grandes. En particular, los espectrómetros actuales comprenden numerosos componentes ópticos (lentes, filtros, prismas, espejos, rejillas de difracción) separados por capas de aire. La alineación de estos componentes es crítica para el correcto funcionamiento del espectrómetro. Por lo tanto, los espectrómetros actuales, generalmente diseñados para laboratorios, no resultan apropiados para el entorno de un motor de combustión o de un vehículo. En particular, estos no están concebidos para soportar las vibraciones intensas generadas por el motor de combustión o el vehículo. De hecho, entre la fuente de luz y el dispositivo de análisis espectral, el haz luminoso atraviesa un número significativo de componentes ópticos separados por capas de aire. Cada interfase entre un componente óptico y el aire es una fuente potencial de desajuste o degradación.
- 60 Las fuentes de luz utilizadas tradicionalmente en espectrometría (lámparas de vapor metálico o incandescentes, halógenas, etc.) no son compatibles con las limitaciones de robustez, vida útil y dimensiones requeridas en una aplicación a bordo de un motor de combustión o en un vehículo. De igual manera, se debe descartar el uso de
- 65

láseres, dado que sería necesario el mismo número de láseres como puntos de medición en el espectro deseado. El uso de láseres también se debe descartar por razones de vida útil, de estabilidad y de robustez en un entorno hostil.

5 Asimismo, en las solicitudes de patente FR 2798582 y FR 2789294 se ha contemplado el uso de diodos electroluminiscentes asociados a componentes ópticos tradicionales.

10 El documento US 2007/0084990 describe un dispositivo de espectrometría miniaturizado, que integra una fuente de energía y detectores en un único alojamiento el cual encierra componentes ópticos de interfase con la muestra y circuitos de adquisición y procesamiento. Los circuitos de adquisición comprenden un filtro óptico variable de manera continua o un filtro matricial acoplado directamente a una hilera o una matriz de fotodetectores.

15 El documento US 4989942 describe un dispositivo de análisis de un líquido que comprende una fuente de luz transmitida por una fibra óptica a un lente de colimación. Seguidamente, la luz atraviesa el líquido, después es captada por otra lente de colimación y finalmente es transmitida por una fibra óptica hacia un dispositivo de análisis.

El documento FR 2566909 describe un dispositivo de detección de un producto en un líquido que comprende un haz de fibras ópticas, una parte del cual transmite luz hacia el líquido, un espejo bañado por el líquido el cual refleja la luz hacia el haz de fibras, estando unida la otra parte del haz de fibras a un detector.

20 El documento FR 2583164 describe un dispositivo de análisis del color y la turbidez de un fluido, que comprende una fuente de luz asociada a una óptica de enfoque para iluminar un fluido por medio de una fibra óptica. La luz es captada desde el fluido con ayuda de otra fibra óptica la cual transmite la luz hacia un dispositivo de análisis cromático. El dispositivo de análisis cromático comprende un prisma sobre el cual se enfoca el haz luminoso captado. El espectro lineal que sale del prisma se enfoca sobre un detector de tipo línea de cámaras, el cual puede estar equipado con un atenuador graduado que permite corregir las diferencias de rendimiento luminoso en función de las longitudes de onda.

25 El documento US 2005/0140270 describe un emisor de luz que comprende varias fuentes de luz roja, verde o azul, tales como LED. La luz emitida por cada fuente es concentrada por un concentrador, y después transmitida por una guía de luz.

30 El documento US 6560038 describe un acoplador óptico que presenta una simetría de revolución, asociado a un LED o a un conjunto de LED.

35 Es por lo tanto deseable realizar un dispositivo de espectrometría para el análisis de fluidos que esté adaptado para su instalación a bordo de un motor de combustión o en un vehículo.

40 Este objeto se consigue proporcionando un dispositivo de espectrometría que comprende: un dispositivo de iluminación configurado para generar un haz luminoso que cubre una banda de longitudes de onda, una sonda configurada de tal manera que el haz luminoso procedente del dispositivo de iluminación interactúe con un fluido que se desea analizar, y un dispositivo de análisis espectral configurado para recibir el haz luminoso después de que este haya interactuado con el fluido que se desea analizar, y para proporcionar mediciones de intensidad luminosa en diferentes intervalos de longitudes de onda, comprendiendo el dispositivo de análisis espectral una primera guía de luz acoplada a la sonda y a un primer dispositivo de filtrado óptico, recibiendo la primera guía de luz el haz luminoso después de que este haya interactuado con el fluido que se desea analizar y guiándolo mientras lo difunde hacia un primer conjunto de células fotosensibles a través del primer dispositivo de filtrado óptico, estando dispuesto el primer dispositivo de filtrado óptico para transmitir a cada una de las células fotosensibles una parte del haz luminoso que cubre un intervalo de longitudes de onda respectivo situado en la banda de longitudes de onda. De acuerdo con la invención, la primera guía de luz presenta una forma de lámina hecha de un material transparente, que recibe el haz luminoso procedente del fluido que se desea analizar por medio de un borde de la lámina y lo guía mientras lo difunde hacia un borde opuesto de la lámina frente a la cual están dispuestos el primer dispositivo de filtrado óptico y el primer conjunto de células fotosensibles.

45 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de análisis espectral comprende una segunda guía de luz, la cual toma una parte del haz luminoso directamente en la salida del dispositivo de iluminación y guía la parte del haz luminoso hacia un segundo conjunto de células fotosensibles a través de un segundo dispositivo de filtrado óptico dispuesto para transmitir a cada una de las células fotosensibles una parte del haz luminoso que cubre un intervalo de longitudes de onda respectivo situado en la banda de longitudes de onda.

50 De acuerdo con una forma de realización, la segunda guía de luz presenta una forma de lámina hecha de un material transparente, que recibe la parte del haz de luz procedente del dispositivo de iluminación por medio de un borde de la lámina y lo guía mientras lo difunde hacia un borde opuesto de la lámina frente a la cual están dispuestos el segundo dispositivo de filtrado y el segundo conjunto de células fotosensibles.

55 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo comprende una guía de luz de fibra óptica acoplada a cada guía de luz de tipo laminar para transmitirle el haz luminoso.

5 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de análisis espectral comprende una hilera de fotodetectores que forma ya sea el primer o el primer y el segundo conjuntos de células fotosensibles, estando fijada la hilera de fotodetectores al borde opuesto de una de las guías de luz de tipo laminar por medio del primer o del primer y del segundo dispositivos de filtrado óptico.

10 De acuerdo con una forma de realización, cada dispositivo de filtrado óptico comprende un filtro de tipo interferencia de transmisión espectral linealmente variable a lo largo de su longitud, y el primer dispositivo de filtrado óptico cubre una banda de longitudes de onda comprendidas entre 700 nm y 1100 nm.

15 De acuerdo con una forma de realización, la sonda comprende una guía de luz de iluminación de fibra óptica que transmite el haz de luz procedente del dispositivo de iluminación al fluido que se desea analizar, y una guía de luz de captación de fibra óptica acoplada a la guía de iluminación, y que recoge al menos parcialmente el haz luminoso que ha atravesado el fluido que se desea analizar y lo envía al dispositivo análisis espectral.

20 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo comprende un reflector acoplado a la sonda para reenviar el haz luminoso después de haber atravesado el fluido que se desea analizar hacia la guía de luz de captación a través del fluido que se desea analizar, comprendiendo la guía de luz de captación una pluralidad de fibras ópticas de captación repartidas alrededor de una guía de luz de iluminación o comprendiendo la sonda un acoplador óptico en Y para transmitir el haz luminoso que sale de la guía de luz de iluminación hacia el fluido que se desea analizar, y para transmitir el haz luminoso procedente del fluido que se desea analizar hacia la guía de luz de captación.

25 De acuerdo con una forma de realización, el reflector está realizado de manera que refleje cada rayo luminoso incidente de un haz luminoso sustancialmente en una dirección opuesta a la del rayo luminoso incidente con una ligera ampliación angular.

30 De acuerdo con una forma de realización, el reflector es de tipo Scotchlite® o catafoto de prismas retrorreflectores, o presenta la forma de un casquete esférico centrado sustancialmente en el centro de una cara de salida de la guía de luz de iluminación.

De acuerdo con una forma de realización, la sonda comprende una lente convergente dispuesta entre la salida de la guía de luz de iluminación y el fluido que se desea analizar.

35 De acuerdo con una forma de realización, la sonda comprende una lente convergente dispuesta entre la salida de la guía de luz de iluminación y el fluido que se desea analizar y una lente convergente dispuesta entre la guía de luz de captación y el fluido que se desea analizar.

40 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de iluminación comprende al menos un diodo electroluminiscente que emite luz que cubre la banda de longitudes de onda, acoplado a la guía de luz de iluminación.

45 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de iluminación comprende varios componentes emisores de luz que emiten luz en intervalos de longitudes de onda distintos incluidos en la banda de longitudes de onda, y una guía de luz de iluminación de fibra óptica acoplada a los componentes emisores de luz para transmitir la luz emitida de los componentes ligeros de la luz emitida por los componentes emisores de luz a la sonda.

50 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de iluminación comprende un componente óptico mezclador para combinar los flujos luminosos emitidos por los componentes emisores de luz en un haz luminoso resultante que cubre el banda de longitudes de onda, estando acoplado el componente óptico mezclador a la guía de luz de iluminación para guiar el haz luminoso resultante hacia la guía de iluminación, estando configurado el componente óptico mezclador para presentar al menos una de las características siguientes: comprende una cara de entrada dispuesta para recibir la luz proveniente de los componentes emisores de luz, una cara de salida acoplada a la guía de luz de iluminación, y una forma sustancialmente de revolución optimizada para transmitir un máximo de luz de los componentes emisores de luz a la guía de iluminación, comprende una cara de entrada dispuesta para recubrir una superficie emisora de luz de cada uno de los componentes emisores de luz, y comprende una cara de entrada acoplada por una o más fibras ópticas a una superficie emisora de luz de cada uno de los componentes emisores de luz.

60 De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo de iluminación presenta al menos una de las características siguientes: produce un haz luminoso que cubre una banda de longitudes de onda comprendidas entre 700 nm y 1100 nm, y comprende varios componentes emisores de luz que emiten luz sustancialmente en el mismo intervalo de longitudes de onda.

65 A continuación se describirán ejemplos de realización de la invención, a título no limitativo en relación con las figuras que se acompañan, en las cuales:

ES 2 454 269 T3

- la figura 1 representa en forma de bloques algunas funciones de un dispositivo de espectrometría adaptado al entorno de un motor de combustión o un vehículo,
 - 5 - la figura 2A es una vista lateral de un dispositivo de iluminación del dispositivo de espectrometría,
 - la figura 2B es una vista frontal de fuentes luminosas del dispositivo de iluminación,
 - 10 - la figura 3 representa en forma de curvas algunos ejemplos de espectros de emisión de fuentes luminosas del dispositivo de iluminación,
 - la figura 4 es una vista lateral de una variante de realización del dispositivo de iluminación del dispositivo de espectrometría,
 - 15 - la figura 5A es una vista lateral de una sonda de transmisión al fluido que se desea analizar de un haz luminoso generado por el dispositivo de iluminación,
 - la figura 5B es una vista en sección de una disposición de fibras ópticas en la sonda,
 - 20 - la figura 6 es una vista lateral de una variante de realización de la sonda,
 - la figura 7 es una vista lateral de otra variante de realización de la sonda,
 - la figura 8A es una vista desde arriba de un dispositivo de análisis espectral del dispositivo de espectrometría,
 - 25 - la figura 8B es una vista lateral del dispositivo de análisis espectral,
 - la figura 9 representa en forma de bloques la disposición del dispositivo de espectrometría,
 - 30 - la figura 10 representa en forma de bloques una variante de disposición del dispositivo de espectrometría,
 - la figura 11 es una vista desde arriba del dispositivo de análisis espectral del dispositivo de espectrometría representado en la figura 10,
 - 35 - la figura 12 representa un ejemplo de una curva de absorción de un fluido obtenida por el dispositivo de análisis espectral,
 - la figura 13 representa en forma de bloques una segunda variante de disposición del dispositivo de espectrometría,
 - 40 - la figura 14 es una vista lateral de la sonda del dispositivo de espectrometría representado en la figura 13.
- En la siguiente descripción de las figuras, los mismos elementos llevan las mismas referencias.
- La figura 1 representa un dispositivo de espectrometría FAN para analizar un fluido. El dispositivo FAN comprende:
- 45 - un dispositivo de iluminación LSRC que cubre por lo menos una banda de longitudes de onda en la cual se deben efectuar medidas de espectrometría,
 - una sonda PRB configurada de manera que la luz producida por el dispositivo de iluminación LSRC interactúe con el fluido que se desea analizar,
 - 50 - un sensor de análisis espectral SPAN el cual analiza la luz que sale de la sonda, y
 - elementos ópticos 4, 12 configurados para guiar el haz luminoso entre la fuente y la sonda y entre la sonda y el sensor.
 - 55
- El fluido que se desea analizar puede ser un gas o un líquido y, en particular, un hidrocarburo o una mezcla de hidrocarburos, o incluso una mezcla de hidrocarburos y de biocombustibles.
- Las figuras 2A y 2B representan una forma de realización del dispositivo de iluminación LSRC. El dispositivo de iluminación LSRC comprende una fuente de luz 1 montada sobre un soporte 2 y conectada a una fuente de energía (no representada) por medio de clavijas de conexión 5. La fuente de luz 1 comprende, por ejemplo, un componente emisor de luz del tipo diodo electroluminiscente (LED). El soporte 2 puede comprender una placa de circuito impreso sobre la cual está montado y conectado el componente emisor de luz 1.
- 60
- 65 Una fibra óptica 4 está acoplada a la superficie emisora de luz del componente 1 para transmitir la luz generada hacia la sonda PRB.

Si la banda de longitudes de onda que se ha de cubrir para realizar las medidas de espectrometría no puede ser cubierta por un solo componente emisor de luz, se pueden montar sobre el soporte 2 varios componentes emisores de luz 1a-1g en diferentes intervalos de longitudes de onda.

5 Así, los diodos electroluminiscentes actuales presentan un espectro de longitud de onda de emisión de varias decenas de nanómetros de anchura. Por lo tanto, se precisan varios diodos electroluminiscentes si el espectro que se ha de cubrir se extiende sobre varios cientos de nanómetros. Así, el dispositivo de iluminación puede cubrir, por ejemplo, un espectro de longitudes de onda comprendidas entre 700 y 1100 nm.

10 El dispositivo de iluminación LSRC comprende entonces un componente óptico 3 configurado para mezclar la luz emitida desde cada uno de los componentes emisores de luz 1a-1g y guiar la luz mezclada hacia la fibra óptica 4. El componente óptico 3 puede estar realizado en un material transparente en el espectro de longitudes de onda de medición del analizador. El componente óptico 3 es, por ejemplo, de tipo TIR (reflexión interna total, del inglés *Total Internal Reflection*), con el fin de transmitir con un rendimiento óptimo de la energía luminosa producida por los componentes emisores de luz 1a-1g a la fibra óptica 4. El componente 3 presenta una cara de entrada que cubre el conjunto de componentes emisores de luz 1a-1g y una cara de salida que tiene sustancialmente la forma y las dimensiones de la cara de entrada de la fibra 4. El componente 3 presenta una forma de revolución sustancialmente cónica, cuya generatriz está optimizada para transmitir a la fibra óptica 4 el máximo de la luz emitida por los emisores 1a-1g. El componente 3 está fijado sobre los componentes 1a-1g y sobre el soporte 2, por ejemplo, por medio de una capa de adhesivo transparente 3a en la cual están incrustados los componentes 1a-1g. La fibra óptica 4 también puede estar fijada sobre el componente 3 por medio de un adhesivo transparente.

25 La figura 3 representa seis curvas de potencia luminosa en función de la longitud de onda, correspondientes a los espectros de emisión C1-C5 de diferentes diodos electroluminiscentes, y al espectro resultante CR obtenido después de que el componente óptico 3 haya mezclado los espectros C1-C5. Los espectros de emisión C1-C5 presentan cada uno sustancialmente la forma de una curva de Gauss. Los espectros C1-C5 presentan valores máximos respectivos en las proximidades de 850 nm, 890 nm, 940 nm, 970 nm y 1050 nm. Como estos valores máximos no son idénticos, el dispositivo de iluminación LSRC puede comprender varios componentes emisores de luz que presenten un espectro de emisión sustancialmente idéntico, de tal manera que el espectro resultante CR sea lo más plano posible (potencia constante) en la banda de longitudes de onda que se desea cubrir.

35 La figura 4 representa otra forma de realización del dispositivo de iluminación. En la figura 4, el dispositivo de iluminación LSRC1 comprende varios componentes emisores de luz 1a, 1b, 1c, estando montado cada componente sobre un soporte 2a, 2b, 2c, y acoplado directamente a una fibra óptica 7a, 7b, 7c. La superficie emisora de luz de cada componente 1a, 1b, 1c está así en contacto con la superficie de entrada de la fibra óptica 7a, 7b, 7c. La superficie de salida de cada fibra óptica está acoplada a un componente óptico tal como el componente óptico 3 descrito anteriormente. Las fibras ópticas 7a, 7b, 7c pueden estar fijadas a los componentes 1a, 1b, 1c o a los soportes 2a, 2b, 2c y al componente 3 por medio de un adhesivo transparente.

40 Aquí nuevamente, es posible omitir el componente óptico mezclador 3. Las fibras ópticas procedentes de los diodos se combinan entonces para formar un haz de fibras ópticas que transmite el haz luminoso procedente del dispositivo de iluminación hacia la sonda PRB.

45 Cabe destacar que en la forma de realización de la figura 4, los diodos 1a-1c también pueden estar montados sobre el mismo soporte 2, como se ilustra en las figuras 2A, 2B.

50 La figura 5A representa la sonda PRB. La sonda PRB comprende varias fibras ópticas 4, 12 dispuestas en un haz y un lente convergente 19.

55 La figura 5B representa un ejemplo de disposición de las fibras en el haz. En la figura 5B, el haz comprende una fibra óptica central, llamada de iluminación, que corresponde a la fibra 4 procedente del dispositivo de iluminación LSRC, y fibras ópticas laterales 12, llamadas de captación, dispuestas alrededor de la fibra central 4. La fibra óptica central 4 puede presentar un diámetro diferente, por ejemplo superior al de las fibras laterales 12. En el ejemplo en la figura 5B, la sonda PRB comprende siete fibras 12.

60 La lente 19 está acoplada a las fibras 4, 12 de manera que su eje óptico 16 coincide sustancialmente con el del haz luminoso que sale de la fibra central 4, estando ubicado el centro de la cara de salida de la fibra 4 en las proximidades del foco de la lente. El diámetro de la lente 19 es tal que un haz de luz transmitido por la fibra 4 es transmitido completamente por la lente hasta el infinito, teniendo en cuenta el ángulo de abertura del haz luminoso que sale de la fibra 4. El conjunto de las fibras 4, 12 y de la lente 19 puede estar alojado en un alojamiento 18.

65 El fluido que se desea analizar está dispuesto sobre la trayectoria del haz luminoso que sale de la lente 19. A este fin, un conducto o un depósito 10 que contiene el fluido que se desea analizar 20 comporta una ventana transparente 11a y un reflector plano 13, dispuestos sobre la trayectoria del haz luminoso que sale de la lente 19. El reflector 13 está dispuesto perpendicular al eje óptico 16, con el fin de que el haz luminoso atravesase el fluido que se

desea analizar 20 y sea reflejado hacia las fibras 4 y 12 a través de la lente 19. Así, el haz luminoso atraviesa dos veces el fluido que se desea analizar entre la ventana 11a y el reflector 13.

5 El reflector 13 es de tipo retrorreflectante hacia la fuente de luz, es decir, refleja cada rayo luminoso incidente en la dirección opuesta a la del rayo luminoso incidente con una ligera deflexión, de tal manera que el haz reflejado sea enfocado por la lente 19 sobre una superficie mayor que la fibra 4, cubriendo en particular la cara de entrada de las fibras 12.

10 Por ejemplo, las superficies reflectantes comercializadas bajo la marca Scotchlite® por la compañía 3M presentan esta propiedad: un haz luminoso que llega sobre tal superficie sale de esta en una dirección opuesta con una ligera ampliación angular. Este tipo de superficie sirve, por ejemplo, para fabricar indumentaria de seguridad retrorreflectante. A este fin, la superficie reflectante comprende microesferas transparentes adheridas sobre un soporte y la mitad de esta superficie orientada hacia el soporte está recubierta con una capa reflectante.

15 Los catafatos de prismas retrorreflectores presentan igualmente esta propiedad.

Esta propiedad permite compensar un defecto de alineación entre un eje perpendicular al reflector 13 y el eje óptico 16 de la lente 19.

20 El conducto o depósito 10 puede comprender una segunda ventana transparente 11b colocada sobre la trayectoria del haz luminoso, sobre la cual está fijado el reflector 13.

Evidentemente, la ventana transparente 11a puede estar combinada con la lente 19.

25 La figura 6 representa otra forma de realización de la sonda. En esta forma de realización, la sonda PRB2 difiere de la representada en la figura 5A debido a la ausencia de la lente 19. El depósito o conducto 10' que contiene el fluido que se desea analizar 20 comprende, como en la figura 5A, una ventana transparente 11a que deja que el haz luminoso procedente de la fibra 4 penetre en el fluido que se desea analizar. Enfrente de la ventana transparente 11a, se dispone un reflector 13' en forma de un casquete esférico centrado sustancialmente sobre el centro de la cara de salida de la fibra 4. Así, todos los rayos del haz luminoso que sale de la fibra 4 recorren sustancialmente una trayectoria de la misma longitud en el fluido que se desea analizar 20.

30 El reflector 13' presenta una superficie retrorreflectante tal que expande el haz reflejado con el fin de cubrir las caras de entrada de las fibras 12.

35 De esta manera, la totalidad del haz procedente de la fibra 4 penetra en el conducto o depósito 10' a través de la ventana transparente 11a y es reflejado por el reflector 13 hacia las fibras 4, 12.

40 En este caso, una vez más, el reflector 13' está dispuesto en el interior del conducto o del depósito o sobre una ventana transparente en forma de concha esférica dispuesta en el conducto o depósito 10'.

Asimismo, se puede contemplar la posibilidad de fijar solidariamente los extremos de las fibras 4, 12 al reflector 13' e incrustar el conjunto dentro del fluido que se desea analizar 20.

45 La figura 7 representa otra forma de realización de la sonda. En esta forma de realización, la sonda PRB2 difiere de la representada en la figura 5A debido a la presencia de un acoplador en Y 25 y de una única fibra de captación 12'. La sonda PRB2 comprende una fibra única 26 la cual transmite el haz luminoso al fluido que se desea analizar 20 y captura el haz luminoso proveniente de este último. El acoplador 25 está configurado para separar los haces luminosos en función de su dirección de propagación y así orientar el haz procedente del dispositivo de iluminación LSRC o LSRC1 hacia la fibra 26 y el fluido que se desea analizar, y el haz luminoso que ha atravesado el fluido que se desea analizar y transmitido por la fibra 26 hacia la fibra óptica 12' acoplada a la entrada del sensor de análisis espectral SPAN. Las fibras ópticas 4, 26 y 12' pueden estar fijadas al acoplador 25 por medio de un adhesivo transparente.

50 Evidentemente, como se describió anteriormente con referencia a la figura 6, es posible suprimir la lente 19 en la forma de realización de la figura 7. En este caso, se utiliza un reflector en forma de un casquete esférico similar al presentado en la figura 6.

55 Las figuras 8A, 8B representan un sensor de análisis espectral SPAN de acuerdo con la invención. El sensor SPAN comprende una guía de luz 21, un filtro óptico 22 y un sensor fotosensible 24. La guía de luz 21 está hecha de un material transparente, por ejemplo de vidrio, y presenta la forma de una lámina sustancialmente paralelepípedica, de un grosor bajo sustancialmente igual a o mayor que el diámetro de las fibras ópticas 12 provenientes de la sonda PRB. Cada fibra óptica de captación 12 está fijada sobre una cara lateral o borde 210 de la lámina, por ejemplo con ayuda de un adhesivo transparente.

60 El sensor 24 comprende un conjunto de células fotosensibles las cuales pueden estar dispuestas en forma de hilera,

y recubiertas por el filtro 22. La hilera de células fotosensibles con el filtro 22 recubre la cara lateral o borde 211 de la guía 21 opuesta a la cara lateral o borde 210 donde están fijadas las fibras ópticas de captación 12. El sensor 24 es, por ejemplo, del tipo sensor CMOS que comprende una pluralidad de elementos fotosensibles, por ejemplo 64 o 128 células fotosensibles. El filtro 22 comprende un elemento de filtro por célula fotosensible, configurado para transmitir los rayos luminosos situados en un intervalo respectivo de longitudes de onda de la banda de longitudes de onda que se desea analizar, de tal manera que cada célula fotosensible aporte el valor de un punto en la curva del espectro que se ha de generar. La señal de salida de cada célula constituye una medida de la cantidad de luz que ha atravesado el fluido que se desea analizar para el intervalo de longitudes de onda transmitido a la célula por el filtro 22.

Las mediciones así realizadas por las células son enviadas a un dispositivo de procesamiento de señal RDP configurado para generar un espectro de la forma $I=f(\lambda)$ que indica la cantidad de luz I transmitida por el fluido que se desea analizar en función de la longitud de onda λ . El dispositivo de procesamiento de señal está igualmente configurado para deducir del espectro de absorción así generado ciertas características SPCT del fluido atravesado por el haz luminoso procedente del dispositivo de iluminación LSRC.

El material que constituye la guía 21 presenta un índice de refracción tal que todos los rayos de luz introducidos por el borde 210 son reflejados por las paredes de la guía y no salen de la misma más que por el borde opuesto 211. Así, los haces luminosos que salen de las fibras ópticas de captación 12 son transmitidas en su totalidad al filtro 22. La geometría así elegida para la guía 21 permite repartir de una manera sustancialmente homogénea los haces luminosos procedentes desde la sonda PRB sobre toda la superficie del filtro 22.

La guía 21 presenta por ejemplo un grosor de aproximadamente 1 mm y una anchura de aproximadamente 7 mm para siete fibras de captación 12, cada una de ellas con un diámetro de aproximadamente 1 mm. La longitud de la guía 21 viene determinada, por ejemplo, en función del ángulo de abertura del haz luminoso que sale de las fibras 12 en la guía 21, de manera que el haz 27 que sale de la fibra de captación fijada en la mitad del ancho de la guía 21 cubra la totalidad del filtro 22.

El filtro 22 puede ser de tipo interferencia de transmisión espectral linealmente variable a lo largo de su longitud, el cual permite pasar cada componente de longitud de onda del haz luminoso recibido en una posición que es función de su longitud de onda, a lo largo de la anchura de la cara (borde) de salida 211 de la guía 21. Por lo tanto, cada célula fotosensible del sensor 24 recibe rayos luminosos situados en una banda de longitudes de onda distinta, y dos células adyacentes del sensor reciben rayos luminosos situados en dos intervalos de longitudes de onda contiguos.

Evidentemente, si la sonda comprende una sola fibra óptica de captación como la fibra 12' en la figura 7, solamente habrá una fibra fijada sobre la cara (borde) de entrada 210 de la guía de luz 21, preferiblemente en la mitad de esta cara.

La figura 9 representa la disposición de los diferentes componentes descritos anteriormente en el dispositivo de espectrometría FAN. En la figura 9, el dispositivo de iluminación LSRC está unido al detector PRB (o PRB1, PRB2) por medio de la fibra óptica 4. En el caso de la sonda PRB o PRB2, la lente 19 está colocada enfrente de la ventana transparente 11a y al reflector 13 sobre el conducto o depósito 10 que contiene el fluido que se desea analizar 20. La sonda PRB (o PRB1, PRB2) está unida al sensor de análisis espectral SPAN por medio de las fibras ópticas 12 (o de la fibra óptica 12' en el caso de la sonda PRB2).

La figura 10 representa otra forma de realización del dispositivo de espectrometría. En la figura 10, el dispositivo de espectrometría FAN1 difiere del dispositivo de espectrometría FAN en que comprende un dispositivo de análisis espectral SPAN1, y una fibra óptica 4' que une la salida del dispositivo de iluminación LSRC al dispositivo SPAN1.

En las figuras 9 y 10, el dispositivo de iluminación también puede ser el dispositivo LSRC1.

La figura 11 representa el sensor de análisis espectral SPAN1 del dispositivo de espectrometría FAN1. En la figura 11, el sensor de análisis espectral SPAN1 comprende dos sensores tales como el SPAN representado en las figuras 8A, 8B. Así, el sensor SPAN1 comprende dos guías de luz 21, 21' y dos fibras ópticas 22, 22' y dos sensores fotosensibles. La cara de entrada de la guía 21 está acoplada a las fibras ópticas 12 y la cara de entrada de la guía 21' está acoplada a la fibra óptica 4'.

La fibra óptica 4' puede estar conectada al dispositivo de iluminación LSRC (o LSRC1) por medio de un acoplador de fibras ópticas (no representado) conocido *per se*, capaz de transmitir el haz luminoso que sale del componente mezclador 3 sustancialmente sin pérdidas y de manera equilibrada hacia las dos fibras ópticas 4, 4'.

En el ejemplo en la figura 11, el sensor SPAN1 comprende un único sensor fotosensible 24 que comprende dos veces más células fotosensibles, por ejemplo 128 o 256, para analizar los haces luminosos transmitidos por las dos guías 21, 21', cada una asociada a un filtro 22, 22'.

La luz transmitida directamente desde el dispositivo de iluminación LSRC por la fibra 4' es analizada a través del

filtro 22' e indica, para cada longitud de onda λ , la cantidad de luz $R(\lambda)$ emitida por el dispositivo de iluminación.

La luz transmitida desde la sonda PRB por las fibras de captación 12 indica, para cada longitud de onda λ , la cantidad de luz $t(\lambda)$ que ha atravesado del fluido que se desea analizar.

5 Por lo tanto, el dispositivo SPAN1 puede constituir un espectro de transmisión corregido que tiene en cuenta cualesquiera fluctuaciones del haz luminoso procedente del dispositivo de iluminación, de la forma $T(\lambda) = t(\lambda)/R(\lambda)$.

10 La figura 12 representa un ejemplo de tal espectro de absorción T entre las longitudes de onda iguales a 850 nm y 1050 nm, siendo T sustancialmente igual a 1 cuando el fluido es totalmente transparente a la longitud de onda λ correspondiente y sustancialmente igual a 0 cuando el fluido es totalmente opaco a la longitud de onda λ correspondiente.

15 La figura 13 representa otra forma de realización del dispositivo de espectrometría. En la figura 13, el dispositivo de espectrometría FAN2 difiere del dispositivo FAN1 debido a la presencia de un detector modificado que comprende dos partes PRB3, PRB4, a saber, una parte de la sonda PRB3 conectada al dispositivo de iluminación LSRC y otra parte de la sonda PRB4 conectada al sensor de análisis SPAN1. Las dos partes de las sondas PRB3, PRB4 están colocadas sobre ambos lados del conducto o depósito 10 enfrente de las ventanas transparentes 11a, 11b, estando conectada la parte PRB1 a la fibra 4 para transmitir el haz luminoso generado por el dispositivo de iluminación al fluido que se desea analizar 20, y recibiendo la parte PRB2 el haz luminoso después de que este haya atravesado el fluido que se desea analizar, y transmitiéndolo a la fibra 12'.

Evidentemente, el dispositivo de iluminación LRSC1 también se puede utilizar en el dispositivo FAN2.

25 La figura 14 representa las dos partes de la sonda PRB3, PRB4. La parte PRB3 comprende el alojamiento 18 y la lente 19 de la sonda PRB. La parte PRB4 comprende un lente 19' la cual enfoca el haz luminoso que ha atravesado el fluido que se desea analizar 20 y la ventana 11b, en el centro de la cara de entrada de la fibra 12'. El conjunto de la lente 19' y el extremo de la fibra 12' puede estar montado dentro de un alojamiento 18'. En esta disposición, las fibras 4, 12' y las lentes 19, 19' están acoplados entre sí, de tal manera que el eje del haz luminoso que sale de la fibra 4 coincide con el eje óptico 16 de las lentes 19, 19' y con el eje de entrada de la fibra 12'.

También cabe destacar aquí que las lentes 19, 19' pueden constituir las ventanas transparentes 11a, 11b.

35 Evidentemente, las fibras ópticas 4, 4', 12, 12' descritas anteriormente, que unen el dispositivo de iluminación LSRC, LSRC1, la sonda PRB, PRB1-PRB4 y el dispositivo de análisis SPAN, SPAN1, pueden ser reemplazadas por haces de fibras.

40 El alineamiento de los diferentes elementos ópticos del dispositivo de espectrometría FAN, FAN1, FAN2 tiene lugar durante el ensamblaje de esos elementos y su conexión mediante fibras ópticas. El ensamblaje se puede realizar de manera que se forme un único bloque sin aire ni vacío entre los componentes ópticos gracias al uso de fibras ópticas, lo cual permite igualmente lograr que el dispositivo sea insensible a las vibraciones. Así pues, todos los componentes y las fibras ópticas del dispositivo pueden, por ejemplo, estar incrustados en una resina, por ejemplo de tipo «encapsulamiento» (*potting*), adaptada para soportar ambientes agresivos.

45 Además, el dispositivo de espectrometría FAN, FAN1, FAN2 usa exclusivamente componentes de bajo coste con una vida útil larga, y su composición lo hace compatible con un proceso de fabricación en serie. Por lo tanto, el dispositivo de espectrometría resulta ser perfectamente apropiado para el entorno de un motor de combustión y un vehículo.

50 Resultará evidente para los expertos en la materia que es posible contemplar diversas variantes de realización y (varias) aplicaciones de la presente invención. En particular, la presente invención no está limitada al uso de fibras ópticas para unir los diferentes elementos (dispositivo de iluminación, sonda y dispositivo de análisis espectral) del dispositivo de espectrometría. La presente invención no está limitada a un dispositivo que comporte una única fibra óptica uniendo el dispositivo de iluminación a la sonda y al dispositivo de análisis espectral, y a una o siete fibras ópticas uniendo la sonda al dispositivo de análisis espectral. De hecho, estas conexiones también pueden ser realizadas por medio de guías de luz constituidas por un haz de fibras ópticas.

60 La presente invención también puede comprender un dispositivo de iluminación sin componente óptico mezclador 3. En efecto, este componente se puede omitir si se usa una fibra óptica o un haz de fibras ópticas que tiene una cara de entrada que cubre todos los diodos electroluminiscentes. Entonces, la fibra óptica o el haz puede estar fijados sobre los diodos por medio de una capa de adhesivo transparente dentro de la cual se incrustan los diodos. En ausencia del componente óptico mezclador 3, los haces de luz situados en diferentes intervalos de longitudes de onda generados por los diodos electroluminiscentes 1a-1g se mezclan en el fluido que se desea analizar, y después son captados por las fibras ópticas 12 o la fibra 12' y la guía óptica 21. En la forma de realización de la figura 11, los haces luminosos enviados directamente hacia el dispositivo de análisis espectral SPAN1 se mezclan en la fibra 4' y

en la guía de luz 21'.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de espectrometría que comprende:

- 5 un dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) configurado para generar un haz luminoso que cubre una banda de longitudes de onda,
- una sonda (PRB, PRB1-PRB4) configurada de manera que el haz luminoso procedente del dispositivo de iluminación interactúe con un fluido que se desea analizar (20), y
- 10 un dispositivo de análisis espectral (SPAN, SPAN1) configurado para recibir el haz luminoso después de que este haya interactuado con el fluido que se desea analizar, y para proporcionar mediciones de intensidad luminosa en diferentes intervalos de longitudes de onda, comprendiendo el dispositivo de análisis espectral (SPAN, SPAN1) una primera guía de luz (21) acoplada a la sonda (PRB, PRB1-PRB4) y a un primer dispositivo de filtrado óptico, recibiendo la primera guía de luz el haz luminoso después de que este haya interactuado con el fluido que se desea analizar (20) y guiándolo mientras lo difunde hacía un primer conjunto de células fotosensibles (24, 24') a través del primer dispositivo de filtrado óptico, estando dispuesto el primer dispositivo de filtrado óptico para transmitir a cada una de las células fotosensibles una parte del haz luminoso que cubre un intervalo de longitudes de onda respectivo situado en la banda de longitudes de onda;
- 20 caracterizado porque la primera guía de luz (21) presenta una forma de lámina hecha de un material transparente, que recibe el haz luminoso procedente del fluido que se desea analizar (20) por medio de un borde (210) de la lámina y lo guía mientras lo difunde hacia un borde opuesto (211) de la lámina frente a la cual están dispuestos el primer dispositivo de filtrado óptico (22) y el primer conjunto de células fotosensibles (24, 24').
- 25 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el dispositivo de análisis espectral (SPAN1) comprende una segunda guía de luz (21'), la cual toma una parte del haz luminoso directamente en la salida del dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) y guía la parte del haz luminoso hacia un segundo conjunto de células fotosensibles (24') a través de un segundo dispositivo de filtrado óptico (22') dispuesto para transmitir a cada una de las células fotosensibles una parte del haz luminoso que cubre un intervalo de longitudes de onda respectivo situado en la banda de longitudes de onda.
- 30 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual la segunda guía de luz (21') presenta una forma de lámina hecha de un material transparente, que recibe la parte del haz de luz procedente del dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) por medio de un borde de la lámina y lo guía mientras lo difunde hacia un borde opuesto de la lámina frente a la cual están dispuestos el segundo dispositivo de filtrado (22) y el segundo conjunto de células fotosensibles (24').
- 35 4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende una guía de luz (12, 12', 4') de fibra óptica acoplada a cada guía de luz de tipo laminar (21, 21') para transmitirle el haz luminoso.
- 40 5. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual el dispositivo de análisis espectral (SPAN, SPAN1) comprende una hilera de fotodetectores (24, 24') que forma ya sea el primer o el primer y el segundo conjuntos de células fotosensibles, estando fijada la hilera de fotodetectores al borde opuesto (211) de una de las guías de luz de tipo laminar (21, 21') por medio del primer o del primer y del segundo dispositivos de filtrado óptico (22, 22').
- 45 6. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual cada dispositivo de filtrado óptico (22, 22') comprende un filtro de tipo interferencia de transmisión espectral linealmente variable a lo largo de su longitud, y el primer dispositivo de filtrado óptico (22) cubre una banda de longitudes de onda comprendidas entre 700 nm y 1100 nm.
- 50 7. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual la sonda (PRB, PRB1-PRB4) comprende una guía de luz de iluminación (4) de fibra óptica que transmite el haz de luz procedente del dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) al fluido que se desea analizar (20), y una guía de luz de captación (12, 12') de fibra óptica acoplada a la guía de iluminación, y que recoge al menos parcialmente el haz luminoso que ha atravesado el fluido que se desea analizar y lo envía al dispositivo análisis espectral (SPAN, SPAN1).
- 55 8. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende un reflector (13, 13') acoplado a la sonda para reenviar el haz luminoso después de haber atravesado del fluido que se desea analizar (20) hacia la guía de luz de captación (12) a través del fluido que se desea analizar, comprendiendo la guía de luz de captación una pluralidad de fibras ópticas de captación (12) repartidas alrededor de una guía de luz de iluminación (4) o comprendiendo la sonda (PRB2) un acoplador óptico en Y (25) para transmitir el haz luminoso que sale de la guía de luz de iluminación (4) hacia el fluido que se desea analizar (20), y para transmitir el haz luminoso procedente del fluido que se desea analizar hacia la guía de luz de captación (12').
- 60 65

9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, en el cual el reflector (13, 13') está realizado de manera que refleje cada rayo luminoso incidente de un haz luminoso sustancialmente en una dirección opuesta a la del rayo luminoso incidente con una ligera ampliación angular.
- 5 10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual el reflector (13, 13') es de tipo Scotchlite® o catafoto de prismas retrorreflectores, o presenta la forma de un casquete esférico centrado sustancialmente en el centro de una cara de salida de la guía de luz de iluminación (4).
- 10 11. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 y 9, en el cual la sonda comprende una lente convergente (19) dispuesta entre la salida de la guía de luz de iluminación (4) y el fluido que se desea analizar (20).
12. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual la sonda (PRB3, PRB4) comprende una lente convergente (19) dispuesta entre la salida de la guía de luz de iluminación (4) y el fluido que se desea analizar (20) y una lente convergente (19') dispuesta entre la guía de luz de captación (12) y el fluido que se desea analizar.
- 15 13. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, en el cual el dispositivo de iluminación comprende al menos un diodo electroluminiscente (1a-1g) que emite luz que cubre la banda de longitudes de onda, acoplado a la guía de luz de iluminación (4).
- 20 14. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13, en el cual el dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) comprende varios componentes emisores de luz (1a-1g) que emiten luz en intervalos de longitudes de onda distintos incluidos en la banda de longitudes de onda, y una guía de luz de iluminación (4) de fibra óptica acoplada a los componentes emisores de luz para transmitir la luz emitida de los componentes ligeros de la luz emitida por los componentes emisores de luz a la sonda (PRB, PRB1-PKB4).
- 25 15. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 14, en el cual el dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) comprende un componente óptico mezclador (3) para combinar los flujos luminosos emitidos por los componentes emisores de luz (1a-1g) en un haz luminoso resultante que cubre el banda de longitudes de onda, estando acoplado el componente óptico mezclador a la guía de luz de iluminación (4) para guiar el haz luminoso resultante hacia la
- 30 guía de iluminación, estando configurado el componente óptico mezclador (3) para presentar al menos una de las características siguientes:
- comprende una cara de entrada dispuesta para recibir la luz proveniente de los componentes emisores de luz (1a-1g), una cara de salida acoplada a la guía de luz de iluminación (4), y una forma sustancialmente de revolución optimizada para transmitir un máximo de luz de los componentes emisores de luz a la guía de iluminación,
- 35 comprende una cara de entrada dispuesta para recubrir una superficie emisora de luz de cada uno de los componentes emisores de luz (1a-1g), y
- 40 comprende una cara de entrada acoplada por una o más fibras ópticas (7a, 7b, 7c) a una superficie emisora de luz de cada uno de los componentes emisores de luz (1a-1c).
16. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 15, en el cual el dispositivo de iluminación (LSRC, LSRC1) presenta al menos una de las características siguientes:
- 45 produce un haz luminoso que cubre una banda de longitudes de onda comprendidas entre 700 nm y 1100 nm,
- comprende varios componentes emisores de luz que emiten luz sustancialmente en el mismo intervalo de longitudes de onda.

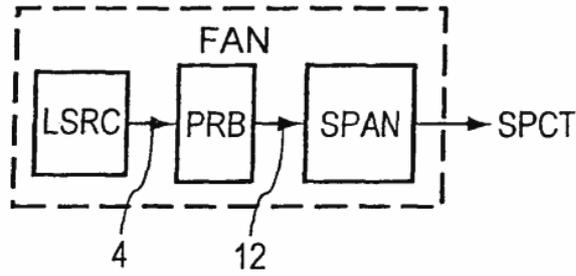


Fig. 1

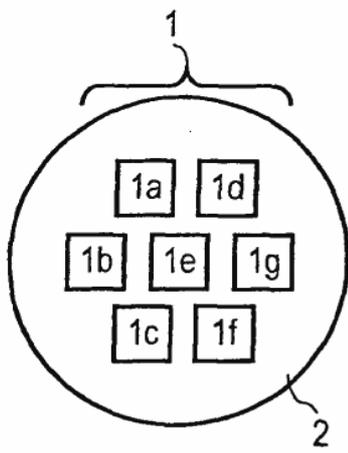


Fig. 2B

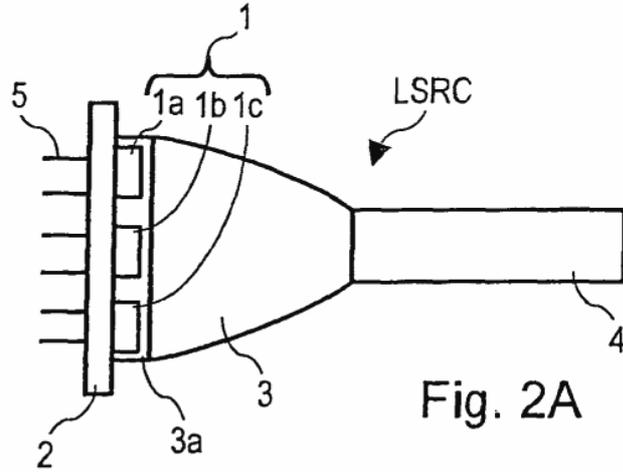
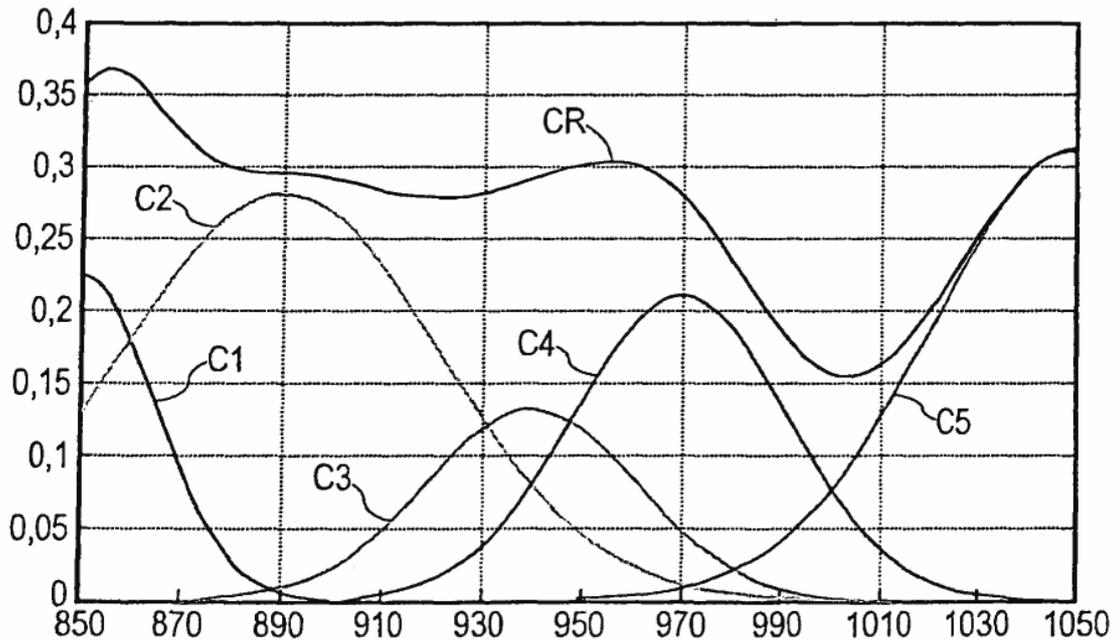
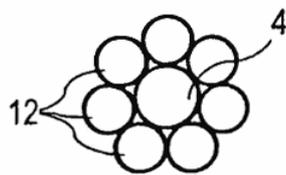
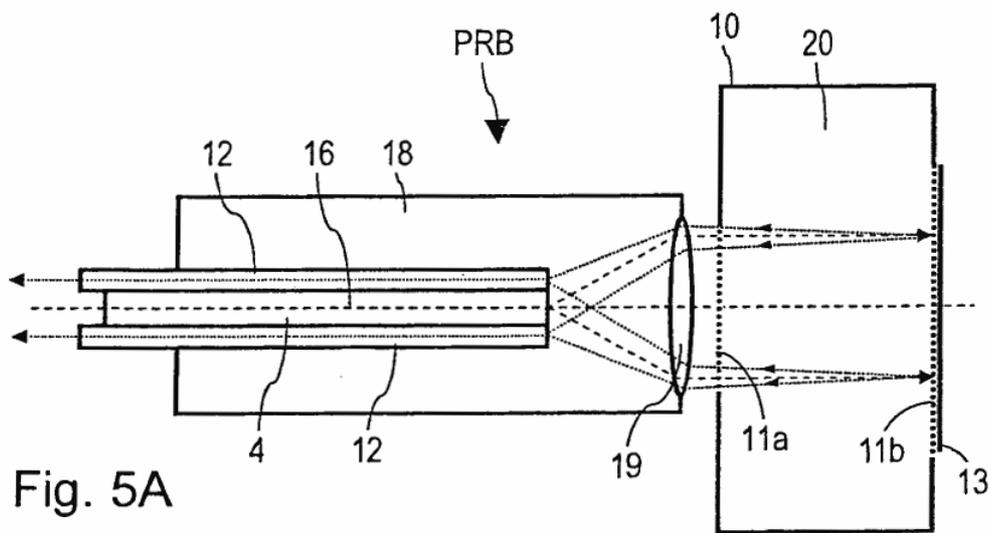
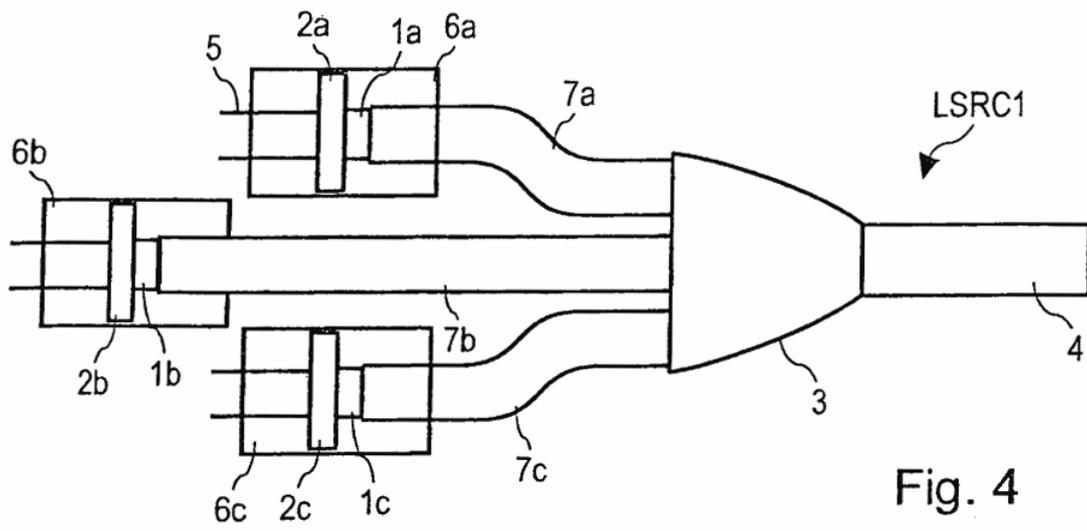
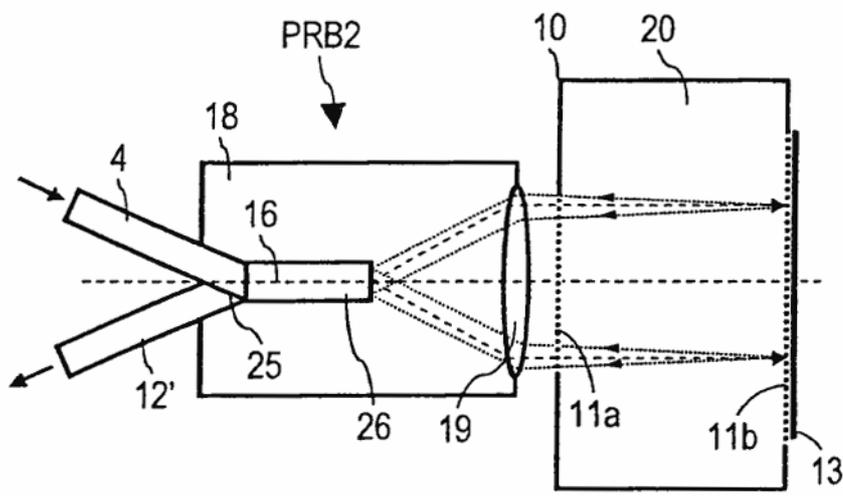
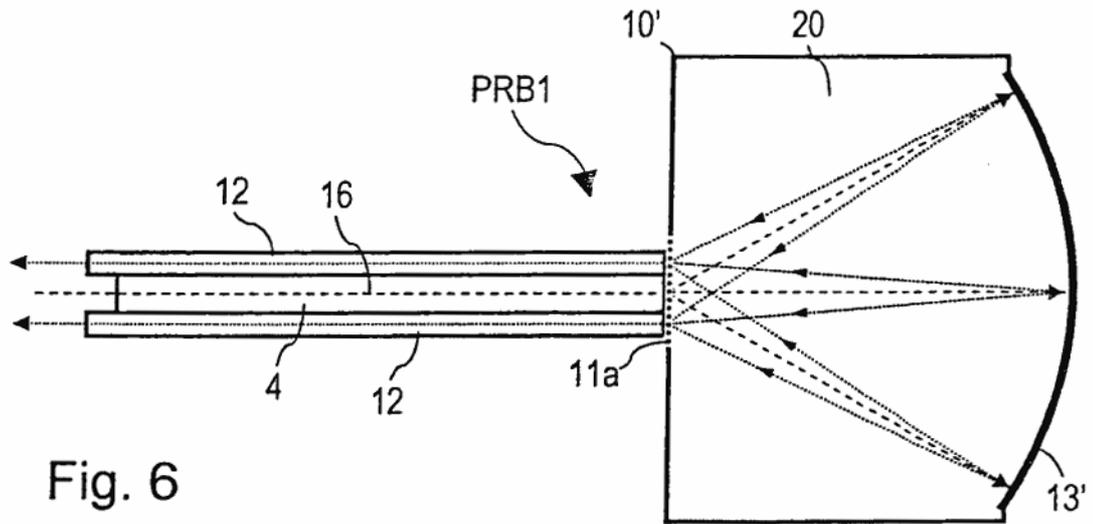


Fig. 2A

Fig. 3







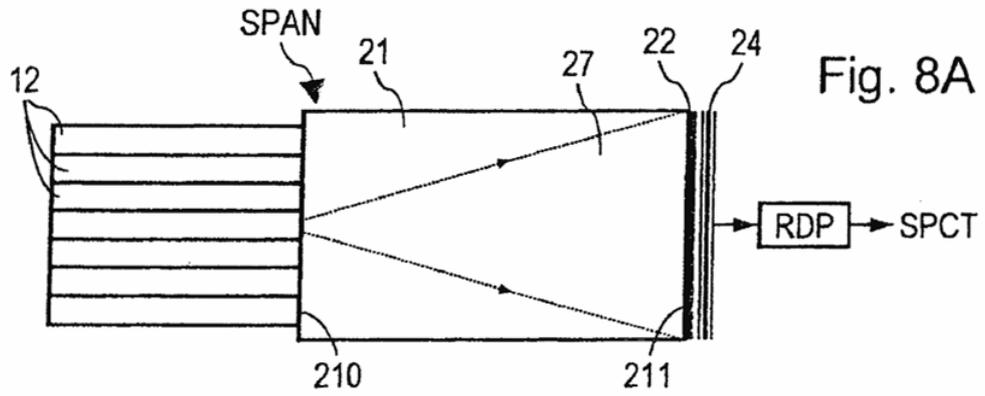


Fig. 8A

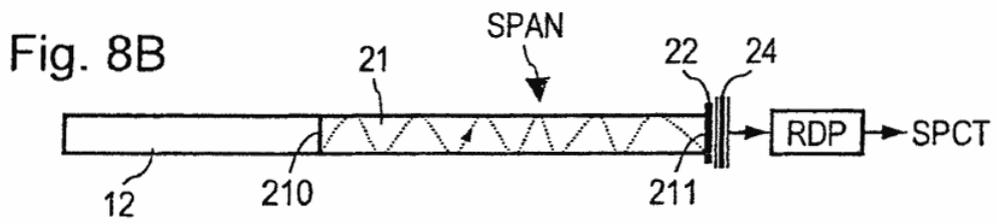


Fig. 8B

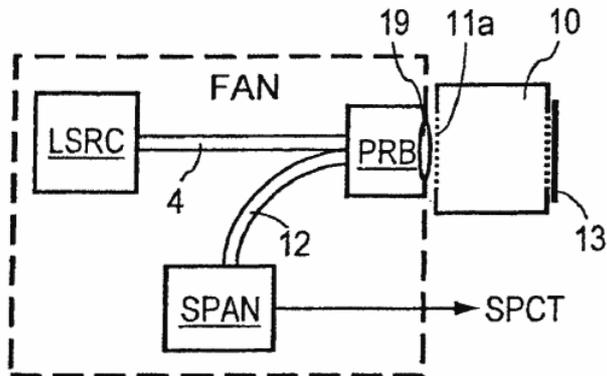


Fig. 9

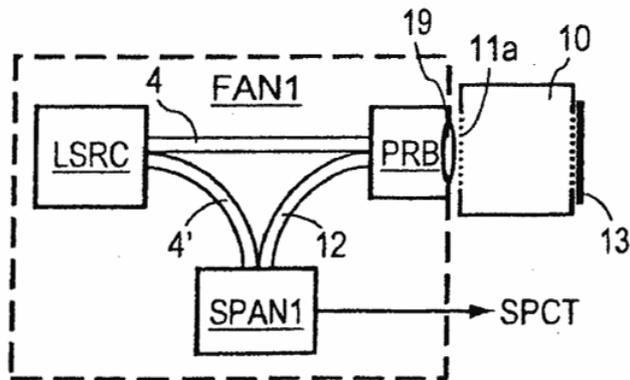
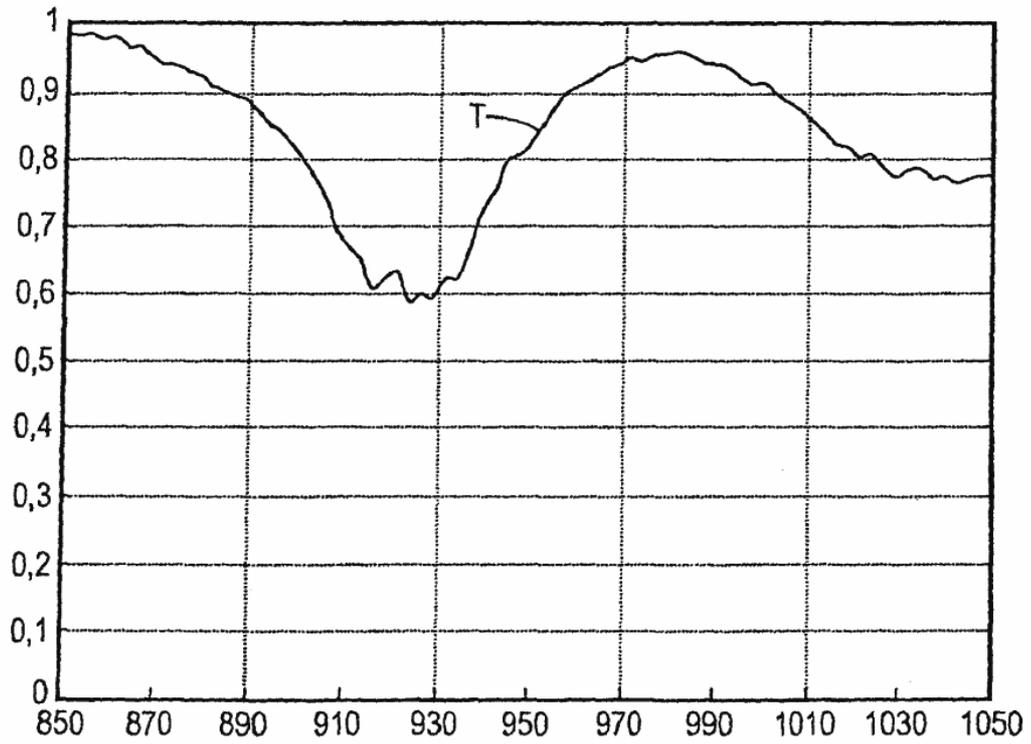
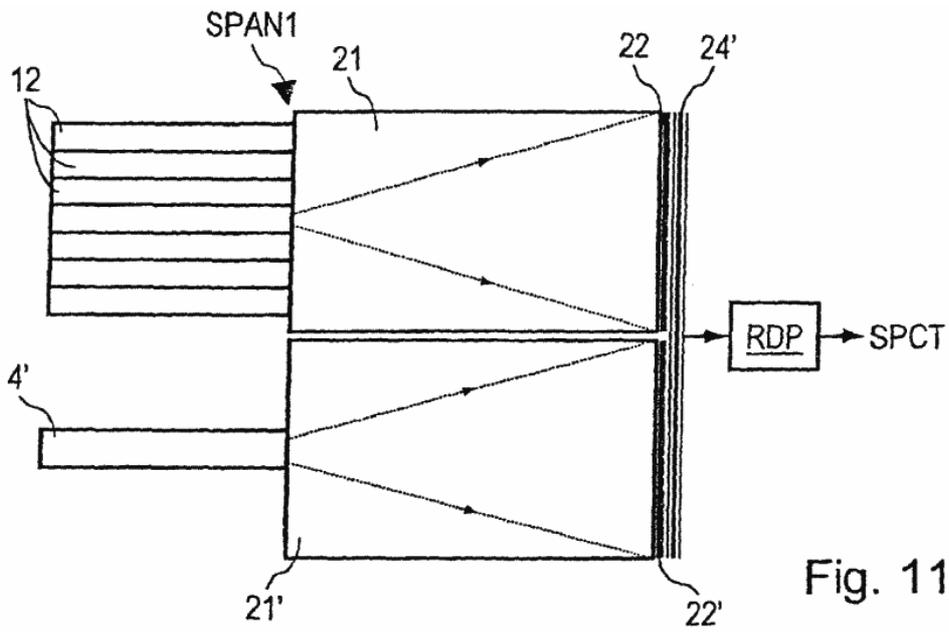


Fig. 10



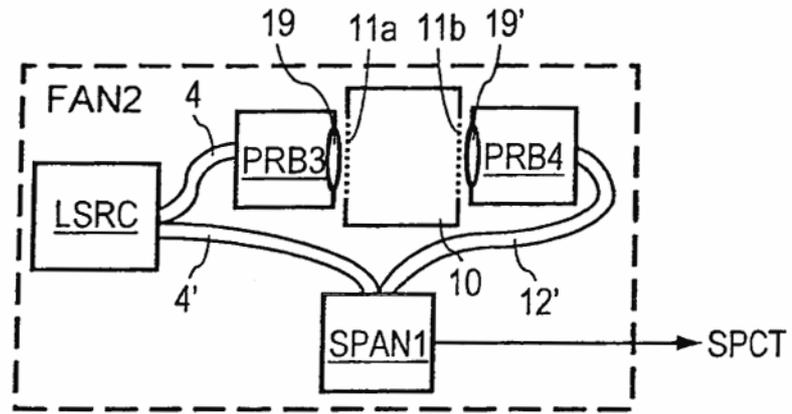


Fig. 13

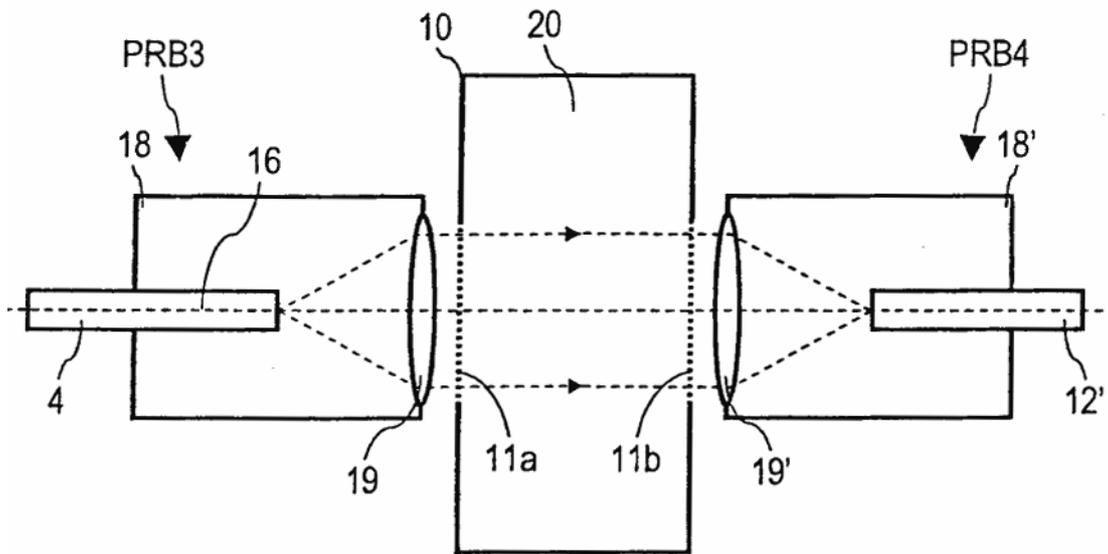


Fig. 14