

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 823 186**

51 Int. Cl.:

G01J 3/02 (2006.01)

G01J 3/26 (2006.01)

G01J 3/28 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2018** **E 18165585 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020** **EP 3404380**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para calibrar un módulo de microespectrómetro**

30 Prioridad:

28.04.2017 DE 102017207186

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

06.05.2021

73 Titular/es:

ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE

72 Inventor/es:

HERMERSDORF, MARION;
NOLTEMEYER, RALF;
HUSNIK, MARTIN;
MICHEL, FLORIAN;
STEIN, BENEDIKT y
SCHELLING, CHRISTOPH

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 823 186 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

Procedimiento y dispositivo para calibrar un módulo de microespectrómetro

Estado de la técnica

La invención parte de un dispositivo o un procedimiento según la parte genérica de las reivindicaciones independientes. El objeto de la presente invención es también un programa informático.

Los interferómetros de Fabry-Perot micromecánicos convencionales constan, por regla general, de dos elementos de espejo que están dispuestos sobre un sustrato por encima de un agujero pasante, como se muestra, por ejemplo, en el documento US 5561523. Al mismo tiempo, se conocen interferómetros que están contruidos a partir de dos sustratos con agujeros pasantes, como se muestra, por ejemplo, en el documento US 6721098. A este respecto, un rayo de luz se conduce verticalmente a través de una construcción sándwich con dos espejos de alta reflectancia, transmitiéndose, en cada caso, gamas de banda estrecha alrededor de una longitud de onda de resonancia y sus armónicos, dependiendo de la distancia de ambos espejos. Mediante la variación de la distancia, la longitud de onda de resonancia deseada puede regularse, medirse en un detector siguiente, y de este modo, registrarse un espectro en serie. Un filtro pasabanda adicional que, situado delante, puede filtrar, por ejemplo, el orden deseado de modo que se suprimen errores mediante otros órdenes.

Los espectrómetros de este tipo de construcción, debido a la fabricación, pueden presentar una gran dependencia a las tolerancias de fabricación y ser sensibles con respecto a condiciones medioambientales y envejecimiento. Los desplazamientos de longitud de onda y desviaciones de intensidad pueden ajustarse, por ejemplo, independientemente unas de otras en la planta de producción para compensar las tolerancias de fabricación.

Durante el funcionamiento, por ejemplo, mediante un componente adicional, que consta, por ejemplo, de espectralon o teflón, puede llevarse a cabo un ajuste de intensidad relativo para corregir las influencias medioambientales en la óptica o electrónica. A este respecto, por regla general, no se lleva a cabo ninguna corrección de desplazamiento de longitud de onda.

El documento EP 2 816 389 A1 da a conocer un espejo para un interferómetro de Fabry-Perot y un procedimiento para su fabricación.

El documento US 5 561 523 A da a conocer un interferómetro de Fabry-Perot regulable mediante electricidad que se ha fabricado mediante procedimientos de micromecanizado de superficies para el uso en un análisis óptico de materiales.

El documento WO 96/21140 A1 da a conocer un detector de microfiltro de Fabry-Perot.

Descripción de la invención

Ante este trasfondo se emplea, con el planteamiento presentado en la presente memoria, un procedimiento para calibrar un módulo de microespectrómetro de acuerdo con la reivindicación 1, un dispositivo que emplea este procedimiento según la reivindicación 8, así como finalmente un programa informático correspondiente de acuerdo con la reivindicación 9. Mediante las medidas expuestas en las reivindicaciones dependientes son posibles perfeccionamientos ventajosos y mejoras del dispositivo indicado en la reivindicación independiente.

Por un módulo de microespectrómetro puede entenderse un módulo en miniatura para el análisis de la composición espectral de luz por medio de un resonador óptico. El resonador óptico puede ser, por ejemplo, un resonador de Fabry-Perot que consta de dos elementos de espejo semitransparentes, enfrentados el uno al otro, y dispuestos distanciados el uno del otro. La distancia entre espejos, también llamada longitud o distancia de cavidades, por ejemplo, puede ser variable por medio de un actuador de espejo adecuado para regular longitudes de onda de resonancia que van a detectarse.

Por una banda de paso del resonador óptico puede entenderse una gama de frecuencias dentro de la cual el resonador óptico deja pasar las frecuencias contenidas en una señal. Por una banda de paso del filtro pasabanda puede entenderse una banda de frecuencia delimitada por una frecuencia límite inferior y una frecuencia límite superior, también llamada gama de paso de banda, dentro de la cual, el filtro pasabanda es transparente para señales. Los componentes de frecuencia de las señales que se encuentran fuera de la banda de frecuencia a este respecto se debilitan o se bloquean.

Por un límite de la banda de paso del filtro pasabanda puede entenderse, por ejemplo, la frecuencia límite superior o inferior del filtro pasabanda o una gama de banda estrecha alrededor de la frecuencia límite superior o inferior del filtro pasabanda. Por un detector puede entenderse un sensor óptico como, por ejemplo, un fotodiodo, un fototransistor o un sensor CCD o CMOS. En función de la forma de realización, el detector puede ser, por ejemplo, un conjunto ordenado de detectores de una pluralidad de elementos de detector, como, por ejemplo, fotodiodos o un detector individual. Por un espectro de transmisión puede entenderse un espectro electromagnético transmitido por el resonador óptico. Por un espectro de referencia puede entenderse, por ejemplo, un espectro que representa la banda de paso del filtro pasabanda, un espectro con bandas de absorción conocidas, por ejemplo, un espectro de luz solar o un espectro de

una fuente de luz artificial, o un espectro averiguado en una medición de referencia anterior, empleando un objeto que va a analizarse con relación espectral conocida.

Por ejemplo, en la etapa de la evaluación puede calibrarse un error de desplazamiento de longitud de onda del módulo de microespectrómetro mediante calibración de señales de medición de un sensor de distancia para medir la distancia entre espejos o una corriente o una tensión para el control del actuador de espejo.

El planteamiento presentado en la presente memoria se basa en el conocimiento de que la calibración de un sistema de espectrómetro de Fabry-Perot puede llevarse a cabo empleando diferentes órdenes de longitud de onda de resonancia y flancos de filtro pasabanda. Para ello, puede emplearse, por ejemplo, un sistema de interferómetro de Fabry-Perot, filtros de paso de banda y detectores individuales. El interferómetro de Fabry Perot se desplaza, a este respecto, a lo largo de la gama de banda de paso. Así, pueden detectarse diferentes órdenes. Mediante el empleo de órdenes diferentes puede llevarse a cabo, por ejemplo, un ajuste de sensibilidades. La detección puede efectuarse por medio de un detector individual. Por consiguiente, durante el funcionamiento, se hace posible una calibración de intensidad y desplazamiento de longitud de onda sin componente de espectrómetro externo adicional.

El módulo de microespectrómetro puede presentar, por ejemplo, un sensor de distancia para medir la distancia entre espejos. De acuerdo con una forma de realización, en la etapa de la evaluación el espectro de transmisión puede evaluarse empleando una distancia entre espejos medida por el sensor de distancia durante el control. Por ello, pueden compensarse errores de medición del sensor de distancia debidos a la fabricación.

El módulo de microespectrómetro puede presentar, además, una fuente de luz para iluminar un objeto que va a analizarse con luz en una gama de longitud de onda de calibración. De acuerdo con una forma de realización, en la etapa del control, la fuente de luz puede controlarse para iluminar el objeto. A este respecto, en la etapa de la evaluación, el espectro de transmisión puede evaluarse empleando la gama de longitud de onda de calibración. Por una gama de longitud de onda de calibración puede entenderse un espectro de emisión de la fuente de luz conocido. Por ello, la calibración del módulo de microespectrómetro puede llevarse a cabo bajo relaciones de iluminación controladas. Por consiguiente, puede aumentarse la fiabilidad de la calibración.

Es, además, ventajoso cuando en la etapa de la evaluación, el espectro de referencia representa la banda de paso del filtro pasabanda o, adicionalmente o como alternativa, un espectro con bandas de absorción conocidas, en particular, un espectro de luz solar, o, adicionalmente o como alternativa, un espectro averiguado en una medición de referencia anterior empleando un objeto que va a analizarse con relación espectral conocida. Por ello, puede garantizarse una calibración eficiente.

El módulo de microespectrómetro puede presentar, opcionalmente, un sensor de temperatura. De acuerdo con una forma de realización, en la etapa de la evaluación, el espectro de transmisión puede evaluarse empleando una temperatura medida mediante el sensor de temperatura durante el control. Por ello, pueden considerarse influencias de temperatura en la calibración.

Además, en la etapa de la evaluación, el espectro de transmisión puede evaluarse empleando, al menos, dos puntos de calibración predeterminados mediante el espectro de referencia. Por ejemplo, los puntos de calibración pueden ser puntos de medición de una corriente oscura, puntos que representan bordes de filtro del filtro pasabanda, o puntos característicos en un espectro con bandas de absorción conocidas. Mediante esta forma de realización, se permite una calibración rápida y fiable con ayuda de pocos puntos de calibración.

De acuerdo con una forma de realización adicional, en la etapa del control la banda de paso del filtro pasabanda puede ser menor o igual a una distancia de longitud de onda entre dos órdenes diferentes de una longitud de onda de resonancia del resonador óptico que va a detectarse. Adicionalmente o como alternativa, el resonador óptico en la etapa del control puede controlarse de tal modo que el resonador óptico deja pasar longitudes de onda de resonancia de órdenes diferentes. El uso de órdenes diferentes permite, por ejemplo, llevar a cabo un ajuste de sensibilidades sin componentes adicionales.

Es ventajoso también cuando en la etapa del control se controla el resonador óptico para desplazar la banda de paso del resonador óptico más allá de un límite superior y un límite inferior de la banda de paso del filtro pasabanda. Por ello, puede aumentarse la exactitud de la calibración.

El procedimiento según una forma de realización adicional puede comprender una etapa de la recepción de datos de detección de objetos o, adicionalmente o como alternativa, de datos de balance de blancos a través de una interfaz a una cámara para tomar imágenes del objeto que va a analizarse. Por consiguiente, en la etapa de la evaluación, el espectro de transmisión puede evaluarse empleando los datos de detección de objetos o los datos de balance de blancos. Mediante esta forma de realización, la exactitud de la calibración puede aumentarse adicionalmente.

Este procedimiento puede estar implementado, por ejemplo, en software o hardware o en una forma combinada de software y hardware, por ejemplo, en un mecanismo de mando.

El planteamiento representado en la presente memoria crea, además, un dispositivo que está configurado para llevar a cabo, controlar o implementar las etapas de una variante de un procedimiento presentado en la presente memoria en

equipos correspondientes. También mediante estas variantes de realización de la invención en forma de un dispositivo, el objetivo en el que se basa la invención puede resolverse de manera rápida y eficiente.

Para ello, el dispositivo puede presentar, al menos, una unidad aritmética para el procesamiento de señales o datos, al menos, una unidad de almacenamiento para el almacenamiento de señales o datos, al menos, una interfaz a un sensor o un actuador para la lectura de señales de sensor mediante el sensor, o para la emisión de señales de datos o de control al actuador y/o, al menos, un interfaz de comunicación para la lectura o emisión de datos que están integrados en un protocolo de comunicación. La unidad aritmética puede ser, por ejemplo, un procesador de señales, un microcontrolador o similar, pudiendo ser la unidad de almacenamiento, una memoria Flash, una memoria EPROM o una unidad de almacenamiento magnética. La interfaz de comunicación puede estar configurada para leer o emitir datos de manera inalámbrica y/o por cable, en donde una interfaz de comunicación, que puede leer o emitir datos por cable, puede leer estos datos, por ejemplo, eléctrica u ópticamente desde una línea de transmisión de datos correspondiente o puede emitir a una línea de transmisión de datos correspondiente.

Por un dispositivo, puede entenderse en la presente memoria un aparato eléctrico que procesa señales de sensor y, dependiendo de estas, emite señales de control y/o datos. El dispositivo puede presentar una interfaz que puede estar configurada en hardware y/o software. En una configuración de hardware, las interfaces, por ejemplo, pueden ser parte de un sistema denominado ASIC que contiene las funciones más diversas del dispositivo. Sin embargo, también es posible que las interfaces sean circuitos de conmutación propios, integrados o consten, al menos, parcialmente de elementos constructivos discretos. En una configuración de software, las interfaces pueden ser módulos de software que están presentes, por ejemplo, en un microcontrolador junto a otros módulos de software.

Es ventajoso también un producto de programa informático o programa informático con código de programa que puede estar almacenado en un soporte o medio de almacenamiento legible a la máquina, como una memoria de semiconductores, una memoria de disco duro o una memoria óptica y se emplea para la realización, implementación y/o control de las etapas del procedimiento según una de las formas de realización descritas anteriormente, en particular, cuando el producto de programa o programa se ejecuta en un ordenador o un dispositivo.

En los dibujos están representados ejemplos de realización de la invención y se explican con más detalle en la siguiente descripción. Muestra:

- la figura 1 una representación esquemática de un módulo de microespectrómetro y de un dispositivo de acuerdo con un ejemplo de realización;
- la figura 2 una representación esquemática de un dispositivo de la figura 1;
- la figura 3 un organigrama de un procedimiento de acuerdo con un ejemplo de realización;
- la figura 4 diagramas para la representación de un concepto para generar un espectro normalizado basándose en influencias mediante componentes de un módulo de microespectrómetro;
- la figura 5 un diagrama de la figura 4;
- la figura 6 un diagrama para la representación de posiciones de calibración de espectro bruto para el uso en un procedimiento de acuerdo con un ejemplo de realización; y
- la figura 7 un diagrama para la representación de una calibración de espectro bruto en un procedimiento de acuerdo con un ejemplo de realización.

En la siguiente descripción de ejemplos de realización favorables de la presente invención, para los elementos representado en las distintas figuras y elementos de efecto similar se emplean los mismos números de referencia o similares, renunciándose a una descripción repetida de estos elementos.

La figura 1 muestra una esquemática representación de un módulo 100 de microespectrómetro y de un dispositivo 102 de acuerdo con un ejemplo de realización. El módulo 100 de microespectrómetro comprende, de acuerdo con este ejemplo de realización, un resonador óptico 104 en forma un interferómetro de Fabry-Perot que consta de dos elementos 106, 108 de espejo parcialmente transparentes, cuya distancia recíproca, llamada también distancia entre espejos o longitud o distancia de cavidades, puede variar por medio de un actuador 110 para la regulación de diferentes longitudes de onda de resonancia. El control del actuador 110 se realiza por medio de una señal 111 de control correspondiente que se genera y emite mediante el dispositivo 102. Aguas arriba del resonador óptico 104, está conectado un filtro pasabanda 112 para filtrar previamente una gama de longitud de onda que va a filtrarse mediante el resonador óptico 104, por ejemplo, para dejar pasar un orden n . Los rayos de luz que inciden en el módulo 100 de microespectrómetro o filtrados en éste, están marcados esquemáticamente con flechas onduladas. Además, el módulo 100 de microespectrómetro presenta un detector 114, por ejemplo, un detector individual, que está conectado aguas abajo del resonador óptico 104 y está configurado para detectar una intensidad de la luz que ha dejado pasar el resonador óptico 104, y enviar al dispositivo 102 una señal 116 de medición que representa la intensidad. El dispositivo 102 está configurado para registrar un espectro de transmisión empleando la señal 116 de medición y mediante la variación correspondiente de la distancia entre espejos.

De acuerdo con el principio presentado en la presente memoria, el dispositivo 102 está configurado para modificar la distancia entre espejos mediante control del actuador 110 por medio de la señal 111 de control para la calibración del módulo 100 de microespectrómetro, de tal modo que una banda de paso del resonador óptico 104, es decir, una gama de frecuencias, para la cual el resonador óptico 104 es transparente, se ha desplazado más allá de, al menos, un límite

de una banda de paso del filtro pasabanda 112, tal como se muestra con más detalle mediante la figura 2. En este sentido, el dispositivo 102 está configurado para leer el detector 114 en respuesta al control del actuador para registrar el espectro de transmisión en el caso de una banda de paso del resonador óptico 104. Este espectro de transmisión se evalúa mediante el dispositivo 102 empleando un espectro de referencia adecuado para la calibración. Dependiendo del resultado de evaluación, la calibración del módulo 100 de microespectrómetro se realiza, por ejemplo, mediante modificación correspondiente de un valor de tensión o de corriente que representa la señal 111 de control, por ejemplo, para compensar un error de desplazamiento de longitud de onda.

La banda de paso del resonador óptico 104 y la banda de paso del filtro pasabanda 112 representan, en particular, diferentes órdenes de longitudes de onda.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el módulo 100 de microespectrómetro comprende un sensor 118 de distancia, que está configurado para medir la distancia entre espejos y enviar al dispositivo 102 una señal 120 de medición de distancia que representa la distancia entre espejos. Por consiguiente, el dispositivo 102 está configurado para evaluar el espectro de transmisión para la calibración del módulo 100 de microespectrómetro, empleando, además, la señal 120 de medición de distancia. En particular, la señal 120 de medición de distancia representa, en este sentido, una distancia entre espejos medida en el momento de la selección del detector 114. Por ejemplo, el dispositivo 102 evalúa el espectro de transmisión empleando la señal 120 de medición de distancia para compensar desplazamientos de longitud de onda debidos a la fabricación, mediante una calibración correspondiente del sensor 118 de distancia.

A continuación, se resumen con otras palabras distintos ejemplos de realización del planteamiento presentado en la presente memoria de nuevo.

De acuerdo con un ejemplo de realización, un efecto de filtro pasabanda de longitud de onda del filtro pasabanda 112 es menor o igual a una distancia de longitud de onda entre dos órdenes diferentes de una longitud de onda de resonancia que va a medirse. A este respecto, el control del resonador óptico 104 se regula o se controla de modo que puede filtrarse una gama de longitud de onda mayor en comparación con el filtro pasabanda, de modo que pueden detectarse longitudes de onda de resonancia de orden diferente.

La calibración del error de desplazamiento de longitud de onda se realiza en función del ejemplo de realización, a través de una tensión de actuador o una corriente de actuador o señales de medición del sensor 118 de distancia, utilizando los bordes de filtro pasabanda respectivos para el ajuste de desfase de longitud de onda, utilizando la diferencia de borde de filtro pasabanda respectiva para el ajuste de sensibilidad de longitud de onda, utilizando la diferencia de onda de resonancia respectiva de órdenes diferentes para el ajuste de sensibilidad de longitud de onda o utilizando fuentes de luz naturales y artificiales conocidas con bandas de absorción o diferencias de bandas de absorción medibles.

La calibración de la distribución de intensidad espectral del módulo 100 de microespectrómetro con módulo de emisor, es decir, con fuente de luz, se realiza en función del ejemplo de realización, empleando materiales metálicos con reflexión difusa o directa, como, por ejemplo, cuchillos, espejos metálicos o monedas, o empleando materiales estándar como, por ejemplo, vajilla (de porcelana) o una superficie cutánea. La calibración de la distribución de intensidad espectral o del desplazamiento de longitud de onda del módulo 100 de microespectrómetro se realiza, por ejemplo, mediante el empleo de luz natural o artificial, como, por ejemplo, luz solar, flash, luz de halógeno o de lámpara incandescente. Adicionalmente, la calibración puede llevarse a cabo en combinación con una detección de objeto de calibración simultánea mediante una cámara, en particular, una cámara de teléfono inteligente, o utilizando datos de balance de blancos RGB de la cámara.

Ventajosamente, la calibración de desplazamiento de longitud de onda, es decir, la calibración de offset y sensibilidad puede llevarse a cabo sin gasto de hardware adicional en cada medición. Por ello, pueden desarrollarse y producirse sistemas de espectrómetro favorables, robustos, sobre todo, puede omitirse un sensor de posición diferencial. Esto significa que solo la no linealidad del sensor de posición debería ser muy robusta.

Es ventajoso también que la calibración de la distribución de intensidad pueda llevarse a cabo sin componente adicional. Mediante la reducción de los componentes, pueden reducirse los costes de materiales de todo el sistema.

Una primera calibración de la intensidad puede llevarse a cabo, por ejemplo, ya durante la fabricación del módulo 100 de microespectrómetro. Estos parámetros de calibración deberían adaptarse, por ejemplo, cuando el módulo 100 de microespectrómetro está muy sucio o desgastado.

La figura 2 muestra una representación esquemática de un dispositivo 102 de la figura 1. El dispositivo 102 comprende una unidad 210 de control para controlar el resonador óptico mediante generación y emisión de la señal 111 de control. Una unidad 220 de selección está configurada para seleccionar el detector empleando la señal 111 de control para el registro del espectro de transmisión. Una unidad 230 de evaluación está configurada para recibir de la unidad 220 de selección, una señal 232 de registro que representa el espectro de transmisión y evaluarla en combinación con un espectro de referencia adecuado para la calibración del módulo de microespectrómetro. Un resultado de evaluación de esta evaluación está señalado con el número de referencia 234.

El espectro de referencia en función del ejemplo de realización es, por ejemplo, una gama de longitud de onda que representa la banda de paso del filtro pasabanda, un espectro con bandas de absorción conocidas, por ejemplo, un

espectro de luz solar, o un espectro averiguado en una medición de referencia anterior empleando un objeto que va a analizarse con relación espectral conocida.

La figura 3 muestra un organigrama de un procedimiento 300 de acuerdo con un ejemplo de realización. El procedimiento 300 para calibrar un módulo de microespectrómetro puede llevarse a cabo, por ejemplo, empleando un dispositivo, como se ha descrito previamente mediante las figuras 1 y 2. A este respecto, en una etapa 310, el resonador óptico se controla para desplazar la banda de paso del resonador óptico a través de, al menos, un límite de la banda de paso de la señal de filtro pasabanda. En respuesta al control 310, el detector se selecciona en una etapa 320 para registrar el espectro de transmisión. Finalmente, en una etapa 330 se realiza la evaluación del espectro de transmisión empleando el espectro de referencia para calibrar el módulo de microespectrómetro.

La figura 4 muestra diagramas 402, 404, 406, 408, 410, 412, 414 dispuestos unos sobre otros para la representación de un concepto, para generar un espectro normalizado sobre la base de influencias mediante componentes de un módulo de microespectrómetro. El espectro normalizado se generó, por ejemplo, empleando un dispositivo descrito anteriormente mediante las figuras 1 a 3. Se muestran un primer diagrama 402 para la representación de una intensidad de emisor, un segundo diagrama 404 para la representación de una reflectividad de un objetivo, un tercer diagrama 406 para la representación de una transmisión del filtro pasabanda, un cuarto diagrama 408 para la representación de una transmisión del resonador óptico, un quinto diagrama 410 para la representación de una sensibilidad del detector, un sexto diagrama 412 para la representación de un espectro bruto, así como un séptimo diagrama 414 para la representación del espectro normalizado.

En la abscisa de los diagramas 402 a 410 se ha trazado, en cada caso, una longitud de onda λ in nm, mientras que, en la abscisa de ambos diagramas 412, 414, se ha trazado, en cada caso, la distancia entre espejos del resonador óptico. La ordenada de todos los siete diagramas representa en cada caso una intensidad.

Del tercer diagrama 406 y el cuarto diagrama 408 puede verse que la banda 416 de paso del resonador óptico se ha desplazado más allá de uno de los dos límites de la banda de paso 418 del filtro pasabanda, en este caso, a modo de ejemplo, a través de un flanco de filtro que representa una frecuencia límite superior del filtro pasabanda. A este respecto, por ejemplo, la banda 418 de paso del filtro pasabanda representa un orden n , mientras que la banda 416 de paso del resonador óptico representa un orden $n+1$, es decir, un orden que se desvía del orden del filtro pasabanda. Como alternativa o adicionalmente, la banda 416 de paso del resonador óptico representa un orden $n-1$, habiéndose desplazado la banda 416 de paso más allá de una frecuencia límite inferior de la banda 418 de paso del filtro pasabanda.

Un área 420 por debajo de una curva del séptimo diagrama 414 que representa el espectro normalizado representa un intervalo de regulación de distancia, dentro del cual la distancia entre espejos del resonador óptico, y, por consiguiente, la longitud de onda de resonancia puede variar.

Además, están dibujados a modo de ejemplo cuatro puntos P1, P2, P3, P4 que se emplean de acuerdo con un ejemplo de realización como puntos de calibración para la calibración del monopolio de microespectrómetro. En función del ejemplo de realización, la calibración puede realizarse también empleando menos o más de cuatro puntos de calibración.

En la figura 4 se muestra la relación espectral principal de subcomponentes del módulo de microespectrómetro. El emisor, es decir, una fuente de luz del módulo de microespectrómetro, irradia con banda ancha el espectro correspondiente y el objetivo, por ejemplo, de espectralon, refleja la iluminación al módulo de microespectrómetro que presenta, además, el filtro pasabanda, el filtro espectral regulable en forma del resonador óptico y el detector. En esta configuración, el filtro pasabanda está regulado de modo que solo longitudes de onda de un orden pueden alcanzar el resonador óptico. Esto significa que la gama de medida de longitud de onda está limitada por el orden n . Si el resonador óptico se controla a través del límite del filtro pasabanda, entonces, mediante el detector, pueden detectarse las intensidades de los diferentes órdenes como $n+1$ o $n-1$, dado que las longitudes de onda relevantes del orden n se suprimen y no pueden falsificar el resultado de medición. Debido a la intensidad de iluminación de emisor espectral diferente, y a la sensibilidad del detector, puede ser necesaria una calibración del módulo de microespectrómetro. El espectro normalizado muestra, por ejemplo, el resultado de una sensibilidad espectral constante del módulo de microespectrómetro, siendo la distancia de cavidades una medida para la longitud de onda, y siendo la intensidad una medida para la absorción espectral del objetivo.

Por consiguiente, deberían calibrarse los factores de conversión para el cálculo entre longitudes de onda y distancias de cavidades correspondientes, así como las intensidades espectrales.

La figura 5 muestra un diagrama 414 de la figura 4 para la representación de posiciones de calibración de espectro bruto para el uso en un procedimiento de acuerdo con un ejemplo de realización. Se muestran los puntos P1, P2, P3, P4 que, de acuerdo con este ejemplo de realización, funcionan como posiciones de calibración de espectro bruto para la calibración de las respectivas relaciones de longitudes de onda o de sensor de posición para minimizar errores de desplazamiento de longitud de onda. Están dibujadas, además, un primer margen 500 de distancia para una primera calibración de sensibilidad, un segundo margen 502 de distancia para una segunda calibración de sensibilidad, así

como una gama 504 de medición del módulo de microespectrómetro. Además, están dibujados puntos 506 de medición de ajuste de oscuros para la calibración del módulo de microespectrómetro en la oscuridad.

De acuerdo con un ejemplo de realización, se compensan desviaciones dependientes de la temperatura al considerar una temperatura averiguada por medio de un sensor de temperatura del módulo de microespectrómetro.

5 La calibración del sensor de distancia del módulo de microespectrómetro se realiza, por ejemplo, en cada medición.

En la figura 5 se muestran posibles puntos de calibración con respecto a la calibración de longitudes de onda-distancias de cavidades para offset y sensibilidad. Para la calibración, el detector se comprueba, por ejemplo, con respecto a una corriente oscura para compensar desviaciones con respecto a la intensidad. El offset y la sensibilidad de la calibración de longitudes de onda-distancias de cavidades dependen del rendimiento de flanco de filtro del filtro pasabanda. La diferencia de longitud de onda de diferentes órdenes de longitud de onda se da físicamente, de modo que, con una selección de flanco adecuada, es posible una calibración muy buena de la conversión de longitudes de onda-distancias de cavidades.

Adicionalmente, al procedimiento mostrado en la figura 5, de acuerdo con la figura 6, puede recurrirse a puntos de calibración característicos, por ejemplo, desde el espectro solar para comprobar o mejorar la calibración.

15 La figura 6 muestra un diagrama para la representación de posiciones de calibración de espectro bruto para el uso en un procedimiento de acuerdo con un ejemplo de realización, por ejemplo, un procedimiento descrito anteriormente mediante las figuras 1 a 5. Se muestran posiciones 600 de calibración de espectro bruto adicionales en un espectro solar o en otro espectro con bandas de absorción conocidas a las que se recurre opcionalmente para la calibración del desplazamiento de onda.

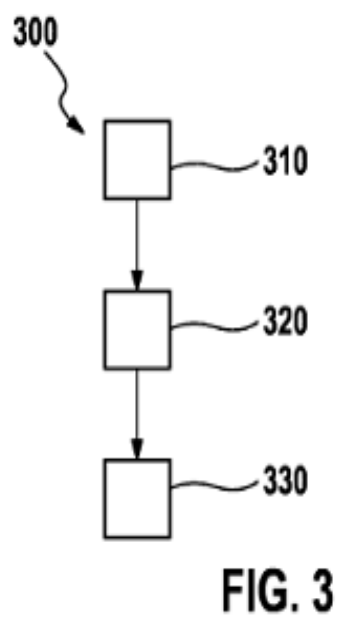
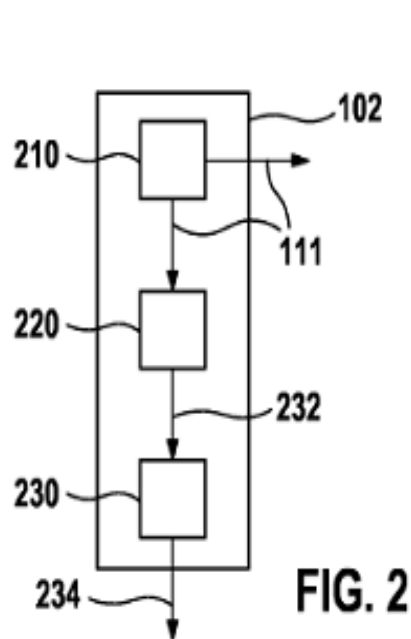
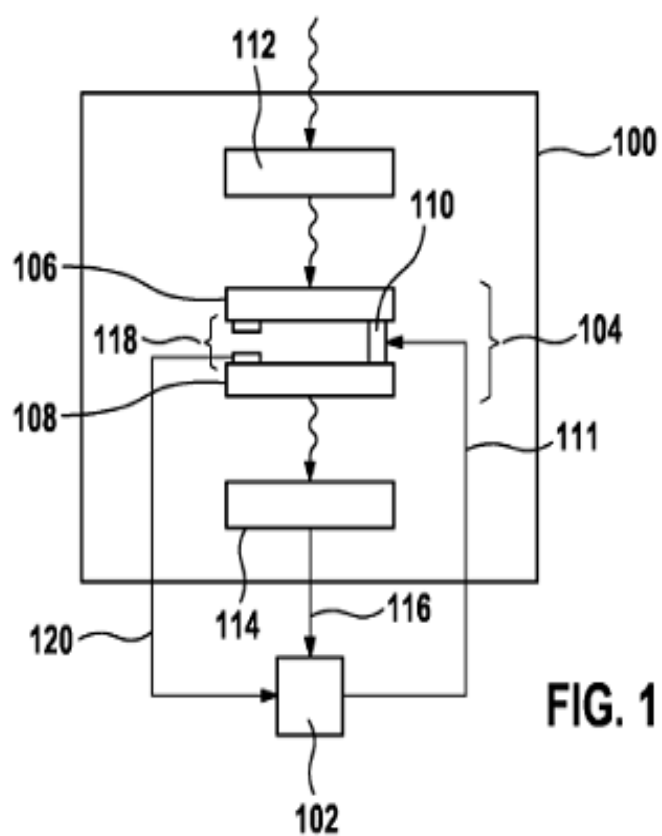
20 La figura 7 muestra un diagrama para la representación de una calibración de espectro en un procedimiento descrito anteriormente mediante las figuras 1 a 6 de acuerdo con un ejemplo de realización. Se muestra una curva que una calibración de espectro, con ayuda de una superficie metálica, limpia, que se analiza mediante el módulo de microespectrómetro en una posición estable sin presencia de reflexiones directas. La superficie metálica no debería presentar ninguna relación espectral desconocida. Los puntos en los que se mide, en cada caso, una corriente oscura, están señalados con el número de referencia 700.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de realización de una calibración en la que el módulo de microespectrómetro se coloca sobre un objetivo sin influencia espectral, por ejemplo, una placa metálica limpia. La meta es una medición sin influencia espectral del objetivo. Esto se realiza, por ejemplo, mediante una senda óptica en la que se utiliza el brillo de metal. Como alternativa, se lleva a cabo una calibración con materiales estándar como, por ejemplo, vajilla, en particular, de porcelana, o de una superficie cutánea, en donde se conoce la relación espectral respectiva. La detección de los materiales se realiza, por ejemplo, a través de una cámara, por ejemplo, en combinación con un balance de blancos RGB o con una señal en bruto del microespectrómetro, de modo que puede asociarse a la muestra una distribución de intensidad definida. Con estas informaciones se calibra el módulo de microespectrómetro. De acuerdo con un ejemplo de realización adicional, se realiza la calibración basándose de una medición de fuentes de luz naturales o artificiales.

Si un ejemplo de realización comprende una conjunción "y/o" entre una primera característica y una segunda característica, esto ha de leerse de modo que el ejemplo de realización, de acuerdo con una forma de realización, presenta tanto la primera característica como la segunda característica, y, de acuerdo con una forma de realización adicional, o solo la primera característica o solo la segunda característica.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (300) para calibrar un módulo (100) de microespectrómetro, en donde el módulo (100) de microespectrómetro presenta un resonador óptico (104) con distancia entre espejos regulable, un filtro pasabanda (112) (104) conectado aguas arriba del resonador óptico y un detector (114) para detectar una intensidad de luz que ha dejado pasar el resonador óptico (104), en donde el procedimiento (300) comprende las siguientes etapas:
5 control (310) del resonador óptico (104) para desplazar una banda (416) de paso del resonador óptico (104) mediante la modificación de la distancia entre espejos más allá de, al menos, un límite de una banda (418) de paso del filtro pasabanda (112);
10 selección (320) del detector (114) en respuesta al control (310) para registrar un espectro de transmisión; y evaluación (330) del espectro de transmisión empleando un espectro de referencia para calibrar el módulo (100) de microespectrómetro,
15 caracterizado porque en la etapa del control (310), la banda (418) de paso del filtro pasabanda (112) es menor o igual a una distancia de longitud de onda entre dos órdenes diferentes de una longitud de onda de resonancia del resonador óptico (104) que va a detectarse, y/o el resonador óptico (104) se controla de tal modo que el resonador óptico (104) deja pasar longitudes de onda de resonancia de órdenes diferentes y, en donde, en la etapa de la evaluación (320), el espectro de transmisión se evalúa empleando, al menos, dos puntos (P1, P2, P3, P4; 506; 600; 700) de calibración predeterminados mediante el espectro de referencia, que representan
20 bordes de filtro del filtro pasabanda, en donde el resonador (104) se desplaza más allá de la zona de banda de paso, de modo que se detectan diferentes órdenes.
2. Procedimiento (300) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el módulo (100) de microespectrómetro presenta un sensor (118) de distancia para medir la distancia entre espejos, en donde en la etapa de la evaluación (320), el espectro de transmisión se evalúa empleando una distancia entre espejos medida por el sensor (118) de distancia durante el control (310).
- 25 3. Procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (100) de microespectrómetro presenta una fuente de luz para iluminar un objeto que va a analizarse con luz en una gama de longitud de onda de calibración, en donde, en la etapa del control (310), se controla la fuente de luz para iluminar el objeto, en donde, en la etapa de la evaluación (320), se evalúa el espectro de transmisión empleando la gama de longitud de onda de calibración.
- 30 4. Procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa de la evaluación (320) el espectro de referencia representa un espectro que representa la banda (418) de paso del filtro pasabanda (112) y/o un espectro con bandas de absorción conocidas, en particular, un espectro de luz solar, y/o un espectro averiguado en una medición de referencia anterior empleando un objeto que va a analizarse con relación espectral conocida.
- 35 5. Procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (100) de microespectrómetro presenta un sensor de temperatura, en donde en la etapa de la evaluación (320) se evalúa el espectro de transmisión empleando una temperatura medida por el sensor de temperatura durante el control (310).
6. Procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa del control (310), el resonador óptico (104) se controla para desplazar la banda (416) de paso del resonador óptico (104) más allá de un límite superior y un límite inferior de la banda (418) de paso del filtro pasabanda (112).
- 40 7. Procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, con una etapa de la recepción de datos de detección de objetos y/o datos de balance de blancos a través de una interfaz a una cámara para tomar imágenes del objeto que va a analizarse, en donde en la etapa de la evaluación (320), el espectro de transmisión se evalúa empleando los datos de detección de objetos y/o los datos de balance de blancos.
- 45 8. Dispositivo (102) con una unidad (210) de control, una unidad (220) de selección y una unidad (230) de evaluación que están configuradas y programadas para llevar a cabo y/o controlar las etapas correspondientes del procedimiento (300) para calibrar un módulo (100) de microespectrómetro, en donde el módulo de microespectrómetro (100) presenta un resonador óptico (104) con distancia entre espejos regulable, un filtro pasabanda (112) conectado aguas arriba del resonador óptico (104) y un detector (114) para detectar una intensidad de luz que ha dejado pasar el resonador óptico (104), y en donde una banda (418) de paso del filtro pasabanda (112) es menor o igual a una distancia de longitud de onda entre dos órdenes diferentes de una longitud de onda de resonancia del resonador óptico (104) que va a detectarse, de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores 1 a 7.
- 50 9. Programa informático que está configurado para ejecutar y/o controlar el procedimiento (300) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7.
10. Medio de almacenamiento legible a la máquina en el que está almacenado el programa informático según la reivindicación 9.
- 55



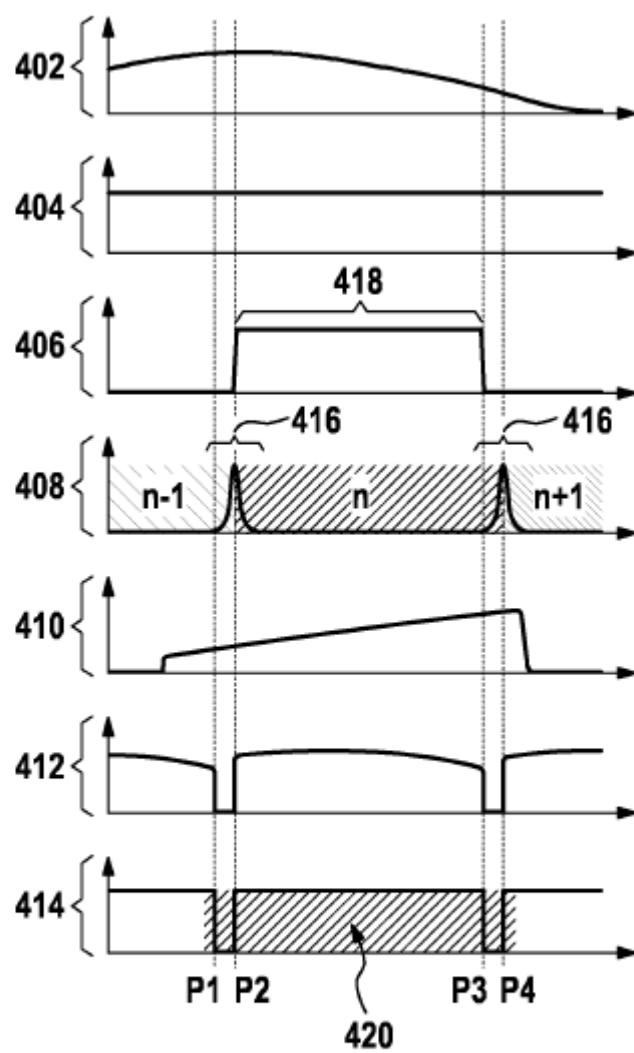


FIG. 4

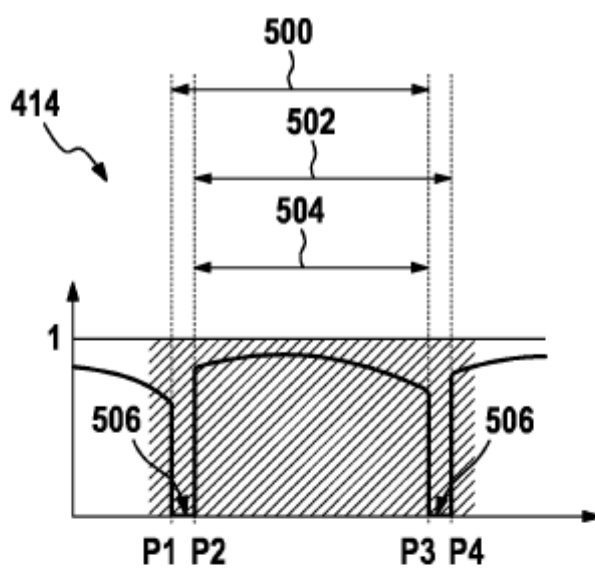


FIG. 5

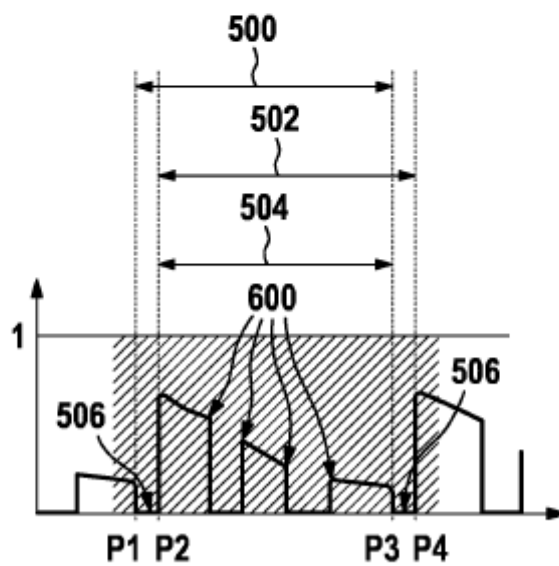


FIG. 6

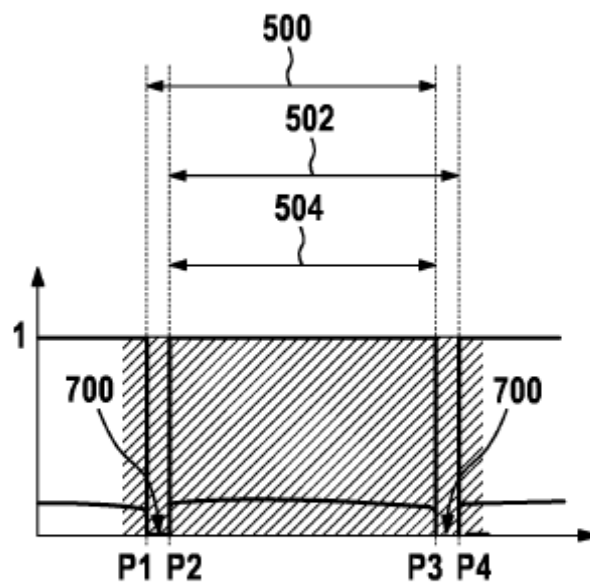


FIG. 7