

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 330**

51 Int. Cl.:

G01N 21/49 (2006.01)
G01B 11/25 (2006.01)
G02B 21/00 (2006.01)
G01N 21/25 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
A61C 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2011 E 11710506 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.02.2016 EP 2553428**

54 Título: **Método para determinar características del material de un objeto**

30 Prioridad:

16.07.2010 DE 102010036447
11.05.2010 DE 102010016904
26.03.2010 DE 102010016174

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.05.2016

73 Titular/es:

DENTSPLY INTERNATIONAL, INC. (100.0%)
Susquehanna Commerce Center, 221 West
Philadelphia Street
York, PA 17401, US

72 Inventor/es:

ERTL, THOMAS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 571 330 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para determinar características del material de un objeto

5 La presente invención hace referencia a un método para determinar características del material de un objeto que comprenden propiedades ópticas del objeto, donde son determinadas utilizando un sistema de medición 3D confocal para determinar datos de medición espectralmente selectivos del objeto.

Durante la medición óptica de objetos tridimensionales, por muchos motivos, puede considerarse conveniente conocer las propiedades del material, en particular las propiedades ópticas del área que debe ser medida. Lo mencionado hace referencia tanto a datos de la superficie, como también en el caso de objetos semitransparentes, a información sobre las propiedades del material en su volumen.

10 Por ejemplo, en el caso de objetos compuestos en base a distintos materiales, puede ser conveniente representar dichas propiedades de forma diferente también en un registro 3D o aplicarlas en algoritmos de filtro en función del material. Del mismo modo pueden aplicarse filtros especiales (respectivamente algoritmos para el manejo de datos) de forma selectiva en los límites del material dentro de un objeto que debe ser escaneado, cuando es conocido el desarrollo del perfil de su borde.

15 Asimismo, en el caso de objetos que no varían en su geometría, los cuales están colocados en un entorno con geometría variable, puede ser conveniente clasificar los objetos mediante sus diferentes propiedades ópticas, siempre que éstas se encuentren presentes.

20 Junto con el aprovechamiento de las propiedades del material para la reconstrucción 3D, la determinación de las propiedades de los materiales puede utilizarse por ejemplo también para representar los huecos del material o, en el área dental, para detectar caries, inflamaciones o el estado (color, grado de polimerización) de los rellenos de resinas compuestas.

25 Por la solicitud DE-A-10 2007 019 267 se conoce una medición 3D en particular de un objeto semitransparente mediante técnica confocal cromáticamente dispersiva. Los datos espectrales medidos se utilizan para determinar las coordenadas z de una pluralidad de puntos de medición. De acuerdo con ello, la determinación de las coordenadas z se efectúa en función del material. Son conocidos igualmente los datos de reflexión espectrales (WO-A-2005/068953) y las propiedades ópticas de diferentes materiales (solicitud (WO-A-2005/068953).

30 La solicitud US-A-2010/0033719 (WO-A- 2008/104913) hace referencia a un método y un dispositivo para determinar las propiedades ópticas de tejidos. Para ello, se determinan puntualmente registros espectrales de diferentes áreas del tejido mediante espectroscopia confocal, para poder obtener información sobre las propiedades de reflexión y de absorción del tejido.

Son objetos de la solicitud DE-A-10 2006 007 172 un método y una disposición para el análisis rápido, con resolución espacial, de geometría plana y espectroscópica de un objeto. De este modo, se utiliza una disposición plana, reticulada, mediante agujeros estenopeicos (del inglés pinhole).

35 Por la solicitud US-A-2009/0021750 se conocen un método y una disposición para una técnica de medición 3D confocal cromática fiable para poder determinar, en diferentes profundidades en el espacio de un objeto, la forma del objeto, como una dentición.

40 Es objeto de la presente invención proporcionar un método para determinar características del material, en particular propiedades ópticas de objetos, preferentemente de objetos utilizados en el área dental, sin que sean necesarios procedimientos de medición costosos. También se debe trabajar con instrumentos de medición sencillos en cuanto a su construcción, los cuales posibiliten un manejo sencillo.

45 De acuerdo con la invención, dicho objeto se alcanzará esencialmente a través de la utilización de un sistema de medición 3D confocal, donde los datos de medición del objeto espectralmente selectivos, determinados con el sistema de medición 3D confocal, se computan con datos espectralmente selectivos de un cuerpo de referencia, donde en base a los mismos puntos de medición se determinan varios datos espectralmente selectivos, donde el sistema de medición 3D, a distancias que difieren unas de otras con respecto al objeto, registra y almacena espectros del punto de medición, y a los datos medidos, espectralmente selectivos, del punto de medición, se aplica un factor de corrección que se determina en base a espectros del cuerpo de referencia, cuya reflexión se mide sin condiciones de medición confocales o cuyos espectros son tomados de una biblioteca almacenada en un ordenador, donde los espectros de medición, considerando el factor de corrección, se comparan con espectros guardados en
50 tablas de consulta, los cuales son representativos para características del material.

El sistema de medición 3D confocal consiste en particular en un sistema de medición 3D de dispersión de color confocal, tal como se conoce por la solicitud DE-A-10 2007 019 267, donde su descripción se toma expresamente en cuanto a la totalidad de su contenido.

5 Como cuerpo de referencia se utiliza en particular un cuerpo a base de un material que se disperse con alta difusión, como dióxido de titanio o Spectralon.

De acuerdo con la invención los datos, obtenidos de forma espectral a través del principio óptico de un escáner 3D por punto de medición, se utilizan para aprovechar el conocimiento sobre la caracterización y diferenciación del material, siempre que los materiales se diferencien unos de otros en cuanto a sus propiedades ópticas, como el índice de refracción, el factor de anisotropía, el coeficiente de dispersión y de absorción, o también a través de la fluorescencia.

10 Para ello, de acuerdo con la solicitud DE-A-10 2007 019 267, se utiliza al menos una fuente de luz, en particular una fuente de luz con un espectro continuo, un dispositivo para generar un patrón de iluminación multifocal, una lente con gran aberración cromática, para representar los focos del patrón de iluminación en el objeto, un dispositivo de detección para determinar los espectros de longitudes de onda de los focos representados en la lente del objeto, donde en base al respectivo espectro de longitudes de onda se determina la posición del pico de cada foco, a partir del cual se calcula la extensión en el espacio del objeto en la dirección del haz de la imagen (coordenadas z). De este modo, en el plano de los focos representados confocalmente mediante la lente se encuentra dispuesto un primer patrón de agujeros estenopeicos con primeros agujeros estenopeicos, cuya disposición geométrica se correlaciona con aquella del patrón de iluminación multifocal.

15 A través de las posiciones de los primeros agujeros estenopeicos se predeterminan las posiciones de los focos en el objeto en un plano que se extiende perpendicularmente con respecto al haz de la imagen (coordenadas X - Y), donde los espectros de longitudes de onda de los focos representados en los agujeros estenopeicos son registrados por el dispositivo de detección. De este modo, el espectro de longitudes de onda de cada foco representado en un agujero es dispersado de forma lateral mediante un dispositivo de dispersión situado aguas abajo. Además, segundos agujeros estenopeicos están asociados a los primeros agujeros estenopeicos del patrón de agujeros estenopeicos, donde los segundos agujeros estenopeicos, en cuanto a su disposición, difieren de aquellos del patrón de iluminación multifocal. Con ello, las señales de reflexión difusa inciden en los segundos agujeros estenopeicos, puesto que los focos no son representados en los segundos agujeros estenopeicos mediante la lente. De este modo, como metodología de medición puede utilizarse tanto la retrorreflexión directa en el punto de medición (en el caso de un ángulo adecuado incluyendo la parte de Fresnel), en el caso de un objeto semitransparente superpuesto con una señal de radiación de retorno difusa a partir del entorno próximo del punto de medición dentro de la apertura de medición, así como también la observación espacialmente desplazada de la señal de retrodispersión a una distancia reducida en el rango de por ejemplo 5 μm a 3 mm, preferentemente de 10 μm a 200 μm o la combinación de las dos señales.

20 A través de la retrorreflexión directa, es decir la radiación reflectada por uno de los focos representados, puede inferirse en particular la rugosidad, es decir, propiedades de dispersión difusa del material; puesto que los reflejos de Fresnel intensos sólo se registran donde se encuentra presente una rugosidad reducida. A partir de los espectros determinados por los puntos no iluminados puede obtenerse información sobre la dispersión sub-superficial.

25 A través de la condición confocal y de la óptica de dispersión de color, en cada profundidad Z es dominante un rango de longitudes de onda reducido. Otros rangos de longitud de onda son suprimidos. En el caso de una profundidad Z conocida de la medición 3D dicho efecto puede deducirse, ya que es conocido el comportamiento de la óptica confocal. Sin embargo, esa propiedad esencial para la medición de profundidad, en la valoración de las propiedades del material, conduce a un empeoramiento de la relación señal/ruido en los rangos de longitudes de onda suprimidos, así como a una limitación del rango espectral utilizable.

30 Por lo tanto, de acuerdo con la invención, se sugiere que se determinen varios espectros para el mismo punto de medición, pero en diferentes distancias del instrumento de medición con respecto al objeto, para la evaluación de los espectros, así como para calcular el valor medio en base al mismo. Gracias a ello puede mejorarse la relación de señal-ruido desfavorable.

35 Debe prestarse atención también a que pueden ocasionarse determinadas propiedades en el espectro, como por ejemplo una posición inclinada del pico debido a otras influencias que no son las propiedades del material, como por ejemplo una posición inclinada de la superficie. Lo mencionado debe evaluarse especialmente para evitar deducciones erróneas en cuanto a las propiedades del material que deben ser determinadas.

40 En otra variante de la invención que debe ser destacada, se prevé que se efectúe una medición óptica adicional no confocal para determinar las propiedades del material. Esto puede realizarse en el caso del dispositivo conocido por la solicitud DE-A-10 2007 019 267, con la ayuda de medios que posibilitan la creación de una imagen en vivo.

En el caso de estar presente uno o varios canales de referencia no confocales adicionales, por ejemplo para realizar una imagen en vivo durante la medición 3D, dicho canal o dichos canales pueden utilizarse en la determinación del material en base a las propiedades ópticas.

5 La iluminación de toda la superficie del objeto de medición puede tener lugar mediante una o varias fuentes de luz adicionales. Si el rango de longitudes de onda de la/s fuente/s de luz adicional/es se encuentra fuera del rango de longitudes de onda del sistema de medición 3D, se alcanza entonces una elevada independencia de los dos sistemas de medición. De modo alternativo ambos sistemas pueden medir de forma secuencial. Varias longitudes de onda en el canal de referencia pueden realizarse preferentemente mediante la activación secuencial, temporalmente desplazada, de diferentes LEDs o diodos láser. La manipulación de las fuentes de luz está sincronizada con la
10 velocidad de muestreo del sensor de medición. En el caso de dos fuentes de luz se ilumina de este modo cada segunda imagen con la misma longitud de onda.

Como sensor, en particular en el caso de una iluminación secuencial con varias fuentes de luz, puede utilizarse un sensor monocromo o un sensor de color, por ejemplo un chip RGB. Son posibles también varios sensores monocromos en combinación con separadores de colores adecuados.

15 El sensor que produce imágenes puede estar posicionado con una lente propia a través del desacoplamiento del haz delante de la lente cromática, o después del mismo, utilizando la lente cromática para la imagen. También es posible una segunda medición con una imagen óptica propia que no se sitúa de forma coaxial con respecto a aquella de la lente cromática.

20 Si la lente cromática se utiliza para la imagen, el sensor de color puede posicionarse de manera que se representa con nitidez una longitud de onda, proporcionando la resolución de la estructura. Las otras longitudes de onda proporcionan información espectral, pero con una resolución espacial reducida. O se utilizan varios sensores monocromos en combinación con filtros dicróicos adecuados, donde preferentemente, en correspondencia con la dispersión de la lente cromática, las posiciones axiales individuales de los sensores se ajustan a los respectivos planos de la imagen.

25 De manera opcional puede utilizarse también un sensor monocromo con un muestreo de imágenes más elevado. A modo de ejemplo, tres LEDs pueden sincronizarse con el muestreo de imágenes por segundo. La primera imagen, con una resolución nítida, proporciona la resolución de la estructura; las siguientes imágenes contribuyen a la determinación del color. Para la resolución final se considera determinante la imagen menos nítida. El muestreo de imágenes por segundo efectivo que puede ser regulado se reduce a través de la cantidad de canales de color. Ya
30 que aplica: muestreo de imágenes por segundo efectivo = muestreo de imágenes por segundo dividido por la cantidad de canales de color.

En función de la aplicación, en lugar de la variación de la longitud de onda de la iluminación puede seleccionarse una combinación de una fuente de luz blanca y una rueda de diferentes filtros.

35 Naturalmente, utilizando filtros adecuados en los canales de referencia puede aprovecharse también una valoración de la fluorescencia.

La rugosidad de la superficie, así como el grado de homogeneidad de la superficie, eventualmente pueden determinarse mediante varias tramas, así como imágenes, ya que el reflejo Fresnel se produce solamente en el caso de una ortogonalidad de la superficie de medición y del eje óptico en sí del sistema de medición, donde esa condición se cumple solamente de forma esporádica durante el escaneo. A través del emparejamiento - denominado también registro - de varias tomas del objeto - donde preferentemente se registran 30 tramas por segundo - los representantes de los puntos individuales de la superficie pueden reunirse en el sensor de escaneos individuales, donde el ángulo de iluminación y el ángulo visual pueden ser diferentes, ya que el escáner es desplazado. A pesar de ello, sin embargo, en cada trama debe partirse del hecho de que no tiene lugar un movimiento relativo entre el dispositivo de medición y el objeto, ya que una trama dura aproximadamente 35 ms. Si en las tramas individuales se producen variaciones de luminosidad intensas en al menos un punto de medición en la retroreflexión directa,
40 entonces puede partirse de una superficie lisa en la respectiva área. Naturalmente, la determinación de la relación de posición puede tener lugar también a través de plataformas con movimiento inercial en el sensor y en el objeto de medición.

50 En particular se prevé que para determinar los datos obtenidos de forma espectral al objeto se aplique una primera radiación mediante el sistema de medición 3D, la cual se ubica en el rango de longitudes de onda $\Delta\lambda_1$, de manera que al objeto se aplica una segunda radiación en un rango de longitudes de onda $\Delta\lambda_2$ y de manera que a partir de la segunda radiación emitida por el objeto se determina una imagen 2D del objeto, donde en particular $\Delta\lambda_1 \neq \Delta\lambda_2$. De este modo, se prevé que el sistema de medición 3D presente un primer sensor con primeros píxeles que deben asociarse a coordenadas espaciales del objeto y que la imagen 2D presente segundos píxeles que deben asociarse
55 a coordenadas espaciales del objeto mediante un segundo sensor, donde los primeros y los segundos píxeles se

asocian unos a otros. De este modo es posible una asociación unívoca entre coordenadas espaciales y propiedades del material, donde en particular, mediante la radiación reflejada en el rango de longitudes de onda $\Delta\lambda$ 2, se obtiene información sobre la autofluorescencia del material del objeto.

5 De acuerdo con la invención se prevé que a los espectros medidos se aplique un factor de corrección que se determina en base a espectros de un cuerpo de referencia, cuya reflexión se mide sin condiciones de medición confocales, o cuyos espectros se toman de una biblioteca guardada en un ordenador.

Además se prevé que los espectros de medición, considerando el factor de corrección, se comparen con espectros guardados en tablas de consulta, los cuales son representativos para características del material.

10 Asimismo, de manera preferente, se prevé cuales características del material se determinen tanto a partir de un espectro de medición de un punto de medición determinado bajo condiciones confocales, como también a partir de un espectro de fondo en las proximidades del punto de medición.

Otros detalles, ventajas y características de la invención resultan no sólo de las características que se indican en las reivindicaciones - tanto de las características en sí mismas y/o de la combinación de las mismas - sino también de la siguiente descripción de los ejemplos de ejecución preferentes que se representan en los dibujos.

15 Las figuras muestran:

Figura 1: una representación básica de una disposición de medición 3D;

Figura 2: una disposición de agujeros estenopeicos con primeros y segundos agujeros estenopeicos;

Figura 3: una representación básica para determinar propiedades del material de un objeto;

Figura 4: una variante de la disposición acorde a la figura 1;

20 Figura 5: una representación básica para determinar datos del material;

Figura 6: espectros para determinar factores de corrección;

Figura 7: espectros para determinar características del material de un objeto; y

Figura 8: espectros registrados con una disposición de medición acorde a la invención en las distancias Z1 y Z2 con respecto a un objeto que debe ser medido.

25 De acuerdo con la invención, mediante datos de cada uno de los puntos de medición de una pluralidad de puntos de medición registrados al mismo tiempo, que proporcionan información sobre la geometría de la superficie de un objeto, como en particular de un objeto semitransparente, como el área de una dentición o de la mandíbula, se determinan al mismo tiempo propiedades del material del objeto, al evaluar los datos obtenidos de forma espectral que proporcionan las coordenadas espaciales del objeto. Se remite con ello a un dispositivo como el que se describe en la solicitud DE-A-10 2007 019 267, a cuya descripción se hace referencia expresamente del modo mencionado.

30 Por consiguiente, la disposición de medición de la figura 1 corresponde también a aquella de la solicitud DE-A-10 2007 019 267.

35 La disposición de medición comprende como elementos esenciales una fuente de luz 10 como lámpara halógena, cuya luz es colimada mediante una lente 12. El haz de luz colimado incide sobre una disposición de microlentes 14, la cual representa un patrón de iluminación 16 en un plano del foco de un objeto 18 de aberración cromática elevada.

El patrón de iluminación puede presentar por ejemplo un tamaño de 20 mm x 15 mm con aproximadamente 1600 focos o por ejemplo un tamaño de 5 mm x 6,5 mm con aproximadamente 2000 focos a una distancia de 250 μm , lo cual se produce a través de la disposición de microlentes 14.

40 El patrón de iluminación 16 puede estar diseñado de manera que resulta un diámetro de los focos 20, 22, respectivamente, de forma aproximada, de 25 μm o de aproximadamente 12 μm .

45 Para mejorar la estructura de iluminación, la disposición de microlentes 14 puede estar combinada con una disposición de agujeros estenopeicos adaptada a dicha disposición, la cual se encuentra en el plano del objeto de la lente 18. De este modo, los agujeros estenopeicos de la disposición de agujeros estenopeicos están adaptados de forma geométrica, así como en cuanto a la posición, al patrón de iluminación que se forma a través de los focos.

De acuerdo con la representación de la figura 1, la luz que proviene de la fuente de luz 10, según el patrón de iluminación 16, incide sobre un divisor de haces 24, desde el cual la parte transmitida incide sobre la lente 18 con aberración cromática elevada.

5 El divisor de haces 24 se ilustra en correspondencia con la representación del dibujo, como placa con una capa parcialmente reflectante. De manera alternativa son posibles otros elementos divisores de haces. A modo de ejemplo pueden mencionarse los cubos divisores de haces. También es posible un espejo anular o un espejo de menor tamaño, donde respectivamente la parte del haz externa o interna se utiliza para la detección que se explica a continuación o para la iluminación.

10 La radiación que debe imponerse a la lente 18 se representa mediante un dispositivo de deflexión 26, como un espejo de deflexión, en un objeto 28 que debe ser medido, como una dentición. De este modo, la distancia entre el plano del patrón de iluminación 16 y el objeto 28 se selecciona de manera que los focos, después de la desviación mediante el dispositivo de deflexión 26, se representan sobre la superficie del objeto 28, donde dependiendo de la distancia de la superficie del objeto con respecto a la lente 18 se representa de forma nítida otro color, es decir otra longitud de onda. La escala de la imagen seleccionada determina el tamaño del campo de medición y la resolución.

15 La radiación reflectada por el objeto 28, así como la luz, recae parcialmente en la lente 18 y, después de una reflexión parcial en el divisor de haces 24, en un primer patrón de agujeros estenopeicos o disposición de agujeros estenopeicos 39, cuyos agujeros estenopeicos, así como la distancia de los agujeros estenopeicos unos con respecto a otros, el tamaño y la disposición geométrica corresponden en conjunto a aquellos del patrón de iluminación 16.

20 Expresado de otro modo, la ubicación axial y lateral de la disposición de agujeros estenopeicos 30, es decir, sus agujeros, se seleccionan de manera que los focos sobre la superficie del objeto 28 se representan de modo confocal en los agujeros estenopeicos de la disposición de agujeros estenopeicos 30. Con ello, a través de cada agujero de la disposición de agujeros estenopeicos 30, se predeterminan las coordenadas X, Y del foco representado sobre la superficie del objeto 28.

25 En la figura 2 se muestra la disposición de agujeros estenopeicos 30, donde los círculos abiertos 32, en su disposición y extensión, corresponden al patrón de los focos del patrón de iluminación 16.

30 A través de la aberración cromática elevada de la lente 18, en los respectivos puntos de medición predeterminados por la ubicación de los focos del patrón de iluminación 16, en correspondencia con sus distancias con respecto a la lente 18, se representa nítidamente sólo un color determinado, es decir que sólo una longitud de onda determinada cumple con la condición confocal. De manera correspondiente, en el espectro de la luz transmitida a través del respectivo agujero estenopeico 32 de la disposición de agujeros estenopeicos 30, en esa longitud de onda, se presenta un máximo de intensidad.

35 Al aumentar la densidad de los puntos de medición y al aumentar la radiación luminosa del objeto 28, junto con la longitud de onda del pico, desciende también una parte de luz blanca creciente a través del agujero o del agujero estenopeico. A pesar de ello, para determinar la longitud de onda del pico característica para el foco en un alcance suficiente y con la precisión necesaria, se prevé que una disposición espectrométrica ajustada al patrón de iluminación 16 y, con ello, al patrón de agujeros estenopeicos de la disposición de agujeros estenopeicos 30, esté situada aguas abajo de la disposición de agujeros estenopeicos 30, donde en el ejemplo de ejecución dicha disposición está compuesta por ópticas 34, 36 y por un elemento de dispersión espectral dispuesto entre las ópticas, donde en el ejemplo de ejecución dicho elemento es un prisma 38.

40 Mediante las ópticas 34, 36 que pueden estar compuestas por una o más lentes, la disposición de agujeros estenopeicos 30 se representa en un sensor de superficie CCD como dispositivo de detección 40. El elemento de dispersión espectral, es decir el prisma 38, provoca una dispersión espectral lateral del rango de longitudes de onda de la luz del foco que se presenta con un máximo de intensidad en los agujeros estenopeicos, de manera que, por consiguiente, cada agujero de la disposición de agujeros estenopeicos 30 se representa en una línea en el sensor de superficie CCD, es decir, en los píxeles dispuestos en una superficie, donde - como en un espectrómetro de líneas - la posición a lo largo de esa línea se correlaciona con una longitud de onda determinada. De este modo, la unidad de dispersión espectral, compuesta por las ópticas 34, 36 y el prisma 38, y el sensor CCD 40 se alinean con respecto a la disposición de agujeros estenopeicos 30, de manera que las líneas espectrales lateralmente dispersas de agujeros estenopeicos sucesivos de la disposición de agujeros estenopeicos 30, los cuales por tanto forman líneas en los píxeles, se convierten unas en otras sin dejar espacio libre o casi sin espacio libre, sin que tenga lugar una superposición.

55 A modo de ejemplo, si se selecciona el patrón de iluminación indicado más arriba con las dimensiones indicadas, y un chip CCD o un chip de cámara con un tamaño de 6,4 mm x 4,8 mm con un millón de píxeles (tamaño del píxel 6,7 μm x 6,7 μm), entonces por punto de medición se dispone de 186 píxeles para la dispersión espectral. En el caso de

- una anchura de la línea de 2 píxeles, en correspondencia con el diámetro de los agujeros estenopeicos, para cada uno de los aproximadamente 2000 puntos de medición y aproximadamente 2000 puntos de fondo, se realiza un espectrómetro de líneas, respectivamente con 93 elementos para la dispersión espectral. Después de la toma de la imagen tiene lugar la evaluación de la información de la imagen, así como de los datos de medición, ya en el sensor CCD o en una unidad externa. Para ello, en cada punto de medición, a través de un algoritmo adecuado, se determina la posición del pico espectral y, en base a ello, la distancia de cada punto de medición con respecto al objeto 28. Con una imagen se obtiene de este modo la estructura tridimensional del objeto 28 en los puntos de apoyo o puntos de medición, donde la resolución depende de la distancia seleccionada de los focos unos con respecto a otros y de la escala de representación de la lente 18.
- 5 Si la distancia de los puntos de apoyo es mayor que la resolución requerida y/o la estructura tridimensional no puede registrarse desde una perspectiva, entonces el patrón de iluminación 16 puede desplazarse de forma correspondiente.
- 10 Si la disposición de medición consiste en un dispositivo que debe accionarse manualmente, entonces a través del movimiento continuo de la disposición de medición puede efectuarse un registro completo del objeto 28, donde las imágenes individuales resultantes pueden reunirse de modo adecuado formando una imagen completa.
- 15 Puesto que, del modo ya mencionado, cuando el objeto 28 se encuentra altamente disperso en los agujeros estenopeicos 32 de la disposición de agujeros estenopeicos 30, no sólo se representa la longitud de onda del foco representado de forma nítida, sino también luz blanca en un alcance considerable, deben aplicarse métodos para eliminar o reducir el fondo condicionado debido a ello.
- 20 Cuanto más elevada es la proporción de fondo de luz blanca en la señal de medición, con mayor precisión debe ser conocido el desarrollo espectral del fondo en cada punto de medición para determinar la ubicación del pico característico de la longitud de onda del foco. En ese caso puede utilizarse un método que se ilustra de forma básica en la figura 2. De este modo, la disposición de agujeros estenopeicos 30, junto con los agujeros estenopeicos 32, en los cuales se representan los focos, presenta otros agujeros estenopeicos 54 que no coinciden con el patrón de iluminación 14. En correspondencia con la disposición preferente acorde a la figura 2, los agujeros estenopeicos 54 que no coinciden con el patrón de iluminación 14 se sitúan entre los agujeros estenopeicos 32 correspondientes al patrón de iluminación 14. Los espectros en los agujeros estenopeicos 54 en los cuales no se representan focos reflejan por consiguiente de forma aproximada la señal de fondo de los agujeros estenopeicos 32 contiguos, en los cuales están representados focos, formando por tanto puntos de medición. De este modo, de manera alternativa, la señal de medición de un agujero 54 individual contiguo contiene fundamentalmente sólo luz blanca como fondo o el valor medio a lo largo de varios agujeros estenopeicos 54 contiguos se utiliza para determinar el fondo 52. Los agujeros estenopeicos 54 pueden denominarse como agujeros estenopeicos no iluminados y los agujeros estenopeicos 32 como agujeros iluminados o agujeros estenopeicos.
- 25 30
- 35 En correspondencia con la disposición de los primeros agujeros estenopeicos 32 o agujeros estenopeicos iluminados, en los cuales se representan focos, y de los segundos agujeros estenopeicos 54 utilizados para determinar el fondo, los cuales pueden denominarse también como agujeros estenopeicos no iluminados, por punto de medición se dispone solamente de la mitad de los píxeles para la división espectral.
- 40 Como ayuda para el posicionamiento y para la asociación de las imágenes individuales para generar una imagen completa puede proporcionarse un registro de imágenes en vivo. Para ello, en el ejemplo de ejecución se proporciona otro chip de cámara 62 sobre el cual se representa el objeto 28. De manera adicional puede proporcionarse otra fuente de luz 64 que preferentemente irradia el objeto 28 mediante el dispositivo de deflexión 26. En lugar de una fuente de luz 64 pueden proporcionarse también varias fuentes de luz. Para el registro de imágenes en vivo, la fuente de luz 64 debe emitir luz en un rango espectral que se ubica por fuera del rango de longitudes de onda utilizado para la medición propiamente dicha. Debido a ello, la imagen en vivo y la medición son posibles independientemente una de otra.
- 45
- Para la división del haz, en la trayectoria del haz entre la lente 18 y el primer divisor de haces 24 puede utilizarse un segundo divisor de haces 66, como un filtro dicróico, el cual presenta una elevada transmisión para la señal de medición y una elevada reflexión para la señal de la imagen en vivo.
- 50 Del modo mencionado, para representar el objeto 28 en el chip de cámara 62 se utiliza igualmente la lente 18, donde la posición axial del chip de cámara 62 se selecciona de manera que la imagen en vivo es nítida aproximadamente en el centro del área de medición.
- 55 En particular en el caso de una aplicación intraoral para la medición de dientes son de vital importancia el tamaño y la forma de la construcción de la disposición de medición, así como del instrumento de medición. De este modo, en la variante de la invención, solamente la lente 18 y el deflector del haz 26 pueden estar dispuestos en una parte intraoral de un aparato manual que puede introducirse en una cavidad bucal. Los otros componentes pueden estar

integrados en una parte extracorporal del aparato manual o en una unidad separada del aparato. En el caso de una fuente de luz compacta es posible una integración en un aparato manual.

En lugar de la lámpara halógena 10 son posibles también otras fuentes de luz, como por ejemplo un LED de luz blanca o varios LEDs de diferentes colores con una óptica de colimación adecuada.

5 De manera alternativa, la fuente de luz 10 puede estar integrada en un aparato externo y la luz puede ser guiada al aparato manual mediante fibras, donde el extremo de desacople del guiaondas se extiende en el foco de la lente del colimador 12.

10 Para producir el patrón de iluminación multifocal 16, en lugar de la disposición de microlentes 14 o de forma adicional con respecto a la misma, puede utilizarse también una disposición de agujeros estenopeicos, la cual puede disponerse en el plano del patrón de iluminación 16 representado en las figuras.

15 En tanto el objeto 28 no es medido o escaneado a través de una única toma, sino a través de una pluralidad de tomas, es decir de imágenes individuales, las imágenes individuales deben poseer una asociación unívoca unas con otras, para posibilitar una evaluación sencilla. Para ello, en particular se prevé que las imágenes individuales se superpongan en partes que ascienden desde el 50% al 95% de cada imagen. De manera alternativa o complementaria, como medio auxiliar para la superposición de las imágenes individuales, puede ser de utilidad también la colocación de puntos fijos en el objeto 28.

20 De manera alternativa con respecto a un desplazamiento manual del instrumento de medición antes mencionado, diseñado preferentemente como aparato manual, en la disposición de medición pueden estar integrados elementos de ajuste para desplazar los puntos de medición. El recorrido de desplazamiento máximo necesario corresponde a la distancia del punto de medición menos la resolución deseada, donde en el ejemplo de ejecución se trata de una resolución deseada de 225 μm (250 μm distancia de los agujeros estenopeicos - 25 μm de resolución).

25 La disposición de medición explicada de forma básica mediante las figuras 1 y 2 se utiliza también para determinar propiedades del material del objeto, tal como puede observarse de forma muy básica en la figura 3. De este modo se utiliza el sistema confocal que comprende el patrón de iluminación 16, el divisor de haces 24 y la lente 18 con aberración cromática elevada, así como el patrón de agujeros estenopeicos 30.

En la figura 3, los elementos de construcción se denominan como sistema de lentes confocal 100 con dispersión de color. La radiación eventualmente se genera desde una fuente de luz multipunto TX102. Eventualmente, aguas abajo de la lente 18 puede situarse un elemento de deflexión 104, mediante el cual la radiación puede desviarse hacia el objeto 106, como por ejemplo una dentición.

30 De acuerdo con la figura 1, una disposición 107, como un prisma para la dispersión espectral con un sensor 108, se encuentra dispuesta aguas abajo del sistema de lentes confocal 100 de dispersión de color, donde sobre dicha disposición se representan los espectros de la luz del objeto 106, retrorreflejada, así como dispersada. De este modo, sobre el sensor 108 se producen espectros SP1 de los puntos de medición directamente iluminados, así como espectros SP2, los cuales no son iluminados mediante el sistema confocal 100. Los puntos correspondientes están desplazados en una distancia Δx que se ubica en el rango entre 5 μm y 3 mm, en particular en el rango entre 35 10 μm y 200 μm . Los puntos del objeto 106 no iluminados mediante el sistema confocal y, con ello, los espectros SP2, son aquellos generados por la luz, los cuales se dispersan en la disposición de agujeros estenopeicos 30, utilizados para determinar el fondo.

40 Los espectros SP1 y SP2 se computan posteriormente con datos de una tabla de consulta. Para generar los datos para la tabla de consulta se miden muestras conocidas con el sistema acorde a la invención y la información espectral SP1, SP2 y eventualmente se almacenan otros canales, por ejemplo el canal de referencia, en base a la imagen en vivo de la óptica, guardándose como registro en la tabla de consulta. Preferentemente, los datos ya se almacenan corregidos en cuanto al valor de la distancia z. Los datos de medición de un material desconocido, igualmente corregidos en cuanto a la distancia, se comparan con registros de la tabla de consulta, por ejemplo con 45 un algoritmo "Best fit" que calcula la distancia mediante los mínimos cuadrados por punto de medición espectral. Para calibrar el sistema se utilizan los datos obtenidos de forma espectral de un cuerpo de referencia en base a material que se dispersa con alta difusión, como óxidos de titanio o Spectralon, tal como se explica mediante las figuras 6 a 8.

50 La diferencia entre los espectros SP1 y SP2 correspondientes reside en la ausencia de un reflejo Fresnel en el espectro SP2 y de la presencia por tanto de una proporción más elevada de información de volumen, en el caso de un objeto semitraslúcido.

Por tanto, el espectro SP2 contiene más información sobre áreas del material más profundas que el espectro SP1. Sin embargo, el espectro SP2 puede encontrarse también como sustituto para una pluralidad de puntos de medición correspondientes de esa clase.

5 Por el contrario, el espectro SP1 proporciona también información cuando se trata de un material con una profundidad de penetración muy reducida, ya que la señal de reflexión se evalúa en base al entorno próximo.

De este modo, al comparar ambos espectros resultan posibilidades de evaluación interesantes. A modo de ejemplo, una superficie de metal lisa produce un espectro SP1 intenso, en el caso de una ubicación de la superficie perpendicular con respecto a la dirección visual con reflejo Fresnel. Por tanto, en el espectro SP2 la intensidad idealmente es nula.

10 En el caso de un material semitraslúcido con una superficie que se dispersa de forma difusa, el espectro SP1 contiene principalmente información sobre la superficie del material, pero el espectro SP2 además no es nulo, sino que contiene información a través de la luz dispersada en el objeto, la cual permite deducir propiedades ópticas del material. La diferencia de los espectros SP1 -SP2 permite inferir el comportamiento de absorción y de dispersión del material y, con ello, una diferenciación del material.

15 En el caso de una superficie lisa del material (por ejemplo tejidos con película líquida) la presencia de un reflejo Fresnel puede resultar perjudicial. Sin embargo, puesto que el mismo sólo se presenta bajo un ángulo visual determinado, éste puede ser detectado y tratado de forma separada, ya que en el caso de presentarse el reflejo Fresnel puede tener lugar una sobreexcitación del sensor.

20 A través de la condición confocal y de la óptica de dispersión de color, en cada profundidad Z es dominante un rango de longitudes de onda reducido; otros rangos de longitudes de onda son suprimidos. En el caso de una profundidad Z conocida de la medición 3D dicho efecto puede deducirse, ya que es conocido el comportamiento de la óptica confocal. Sin embargo, esa propiedad esencial para la medición de profundidad, en la valoración de las propiedades del material, conduce a un empeoramiento de la relación señal/ruido en los rangos de longitudes de onda suprimidos, así como a una limitación del rango espectral utilizable.

25 A través de la combinación de varias tramas para el mismo punto de medición, registradas a distancias diferentes, esto puede sin embargo compensarse.

El sensor 108 puede ser un sensor de superficie o un sensor de líneas múltiples, en base a tecnología CMOS, CCD, con los materiales Si, Ge enhanced Si o InGaAs.

30 En la figura 4 puede observarse un perfeccionamiento preferente de la disposición de medición acorde a la invención. Utilizando el principio de la generación de imágenes en vivo descrito con respecto a la figura 1 puede realizarse otra medición del objeto 106 para determinar las propiedades del material. Mediante fuentes de luz TX λ_1 , λ_2 ... λ_n , bajo un ángulo diferente de la dirección de detección RX, al objeto 106 se le puede aplicar luz que se encuentra en un rango de longitudes de onda $\Delta\lambda_2$, el cual preferentemente no coincide con aquel realizado en la medición acorde a la figura 3, es decir, en la medición 3D. En ese caso, mediante un filtro dicróico 110 o mediante
 35 un filtro 112 dispuesto entre la lente 18 y el divisor de haces 24, las longitudes de onda consideradas de interés pueden desviarse a otro sensor 114, así como 116. En ese caso puede tratarse del sensor 62 utilizado para determinar la imagen en vivo en la figura 1. Preferentemente se utiliza la disposición en base al filtro dicróico 110 y al sensor 114, ya que no se necesita la óptica 18 de dispersión de color. Si se utilizan varias longitudes de onda λ_1 , λ_2 ... λ_n de manera secuencial, con un sensor monocromo puede registrarse un espectro discreto DSp3, así como
 40 DSp4, que contiene información sobre las propiedades ópticas del objeto de medición 106, preferentemente por fuera del rango de longitudes de onda utilizado para la medición 3D.

45 Los sensores 114 a 116, con respecto a sus píxeles, están asociados a los píxeles del sensor 108 de forma exacta o casi exacta en cuanto a los píxeles, de manera que para cada punto de medición que se determina de acuerdo con la disposición de la figura 3 puede añadirse información en el rango de longitudes de onda ampliado, donde dicha información puede utilizarse por ejemplo como referencia para la intensidad.

50 En la figura 5 puede observarse un clasificador de material 118 que, recibiendo información espectral de los espectros SP1, SP2 de la figura 3 y de las líneas espectrales discretas DSp3 o DSp4 de la figura 4, en base a una trama o a varias tramas que muestran el mismo punto de medición en diferentes vistas y en diferentes momento, calcula una asociación del material. De este modo, en el clasificador R se calcula un "Best fit" para uno de los registros de una muestra de material, guardado en la tabla de consulta (por ejemplo esmalte dental o encías, o también un material de relleno, por ejemplo amalgama u oro). Los espectros SP1 y SP2 se computan posteriormente con datos de una tabla de consulta. Para generar los datos para la tabla de consulta se miden muestras conocidas con el sistema acorde a la invención y la información espectral SP1, SP2 y eventualmente se almacenan otros canales, por ejemplo el canal de referencia, en base a la imagen en vivo de la óptica, guardándose como registro en

- la tabla de consulta. Preferentemente, los datos ya se almacenan corregidos en cuanto al valor de la distancia z. Los datos de medición de un material desconocido, igualmente corregidos en cuanto a la distancia, se comparan con registros de la tabla de consulta, por ejemplo con un algoritmo "Best fit" que calcula la distancia mediante los mínimos cuadrados por punto de medición espectral. Para calibrar el sistema se utilizan los datos obtenidos de forma espectral de un cuerpo de referencia en base a material que se dispersa con alta difusión, como óxidos de titanio o Spectralon. En el caso de utilizar canales de referencia, los mismos pueden utilizarse de forma adicional (Ref 1 ... Ref n). En el caso de estar presente uno o varios canales de referencia no confocales adicionales, por ejemplo para realizar una imagen en vivo durante la medición 3D, dicho canal o dichos canales pueden utilizarse en la determinación del material en base a las propiedades ópticas.
- 5
- 10 Mediante los espectros que se muestran en la figura 6 puede observarse con claridad cómo los espectros son calibrados, corregidos en cuanto a la distancia, para poder compararlos después con espectros guardados en tablas de consulta, posibilitando la deducción de las propiedades del material.
- Mediante la figura 6 se explica de forma básica un calibrado del sistema. De este modo, los espectros en la figura 6a) reflejan de forma muy básica un espectro de fondo (representación izquierda) y un espectro de medición (representación derecha), los cuales se registran a una distancia Z determinada con respecto a punto que debe ser medido, donde la disposición acorde a la invención se utiliza con la disposición de agujeros estenopeicos 30, la cual presenta los agujeros estenopeicos 32, en donde se representan los focos, y los agujeros estenopeicos 54 que no coinciden con el patrón de iluminación 14. El espectro de fondo se mide mediante la radiación que pasa a través de al menos uno de los agujeros estenopeicos 54. El espectro de medición es medido en base a una radiación que atraviesa uno de los agujeros estenopeicos 32, el cual es contiguo al agujero o a los agujeros estenopeicos mediante los cuales se determina la radiación de fondo. Se mide en ese caso en un cuerpo de prueba. En la representación derecha de la figura 6a) puede observarse un pico para una longitud de onda determinada que depende de la distancia (dependiente de Z). En efecto, sin embargo, el espectro de medición del cuerpo de prueba, sin la estructura de medición confocal acorde a la invención, es decir, en el caso de una simple medición de reflexión en función de la longitud de onda λ , presentaría un desarrollo correspondiente a la figura 6b), representación derecha. En ese caso se utiliza por ejemplo Spectralon como cuerpo de prueba, el cual en la señal de medición presenta un desarrollo liso recto, ya que el Spectralon refleja del mismo modo en todas las longitudes de onda en el rango espectral visible.
- 15
- 20
- 25
- 30 Con ello, el espectro del cuerpo de referencia efectivamente medido (figura 6a, representación derecha) está provisto de un factor de corrección para alcanzar un desarrollo que corresponde al desarrollo acorde a la figura 6), representación derecha. El factor de corrección ($c = b : a$) se muestra en la figura 6c), representación derecha. Considerando el factor de corrección, el espectro de medición efectivo (figura 6a, representación derecha) se convierte en el espectro 6b), representación derecha.
- De este modo se obtiene un registro de corrección que compensa la influencia del sistema de medición confocal.
- 35 Lo correspondiente es válido para los resultados de medición del fondo, los cuales están representados por los espectros de las figuras 6a), b) y c).
- Los espectros correspondientes se miden para una pluralidad de distancias Z entre $Z = 0$ y $Z = Z_{MAX}$, de manera que se almacena un conjunto completo de espectros a diferentes profundidades (distancias Z), donde los factores de corrección C se calculan mediante λ y se almacenan.
- 40 Los factores de corrección mencionados pueden aplicarse en espectros de cualquier cuerpo (objetos) como una dentición, material de relleno, tejido, etc., de manera que se obtienen los espectros de reflexión relativos a los materiales, los cuales posteriormente se comparan con espectros de prueba almacenados (tablas de consulta), para efectuar una clasificación del material, donde en la comparación se consideran por ejemplo los cuadrados erróneos más reducidos con respecto al espectro de prueba y al espectro medido.
- 45 Puesto que un registro correspondiente que comprende una pluralidad de mediciones para diferentes distancias por punto de medición contiene redundancias considerables, puede descartarse una parte de los espectros que presentan una señal reducida con respecto a las condiciones de ruido, utilizando solamente las áreas próximas al pico de la señal.
- 50 A modo de ejemplo, en la figura 7 pueden observarse espectros que han sido tomados de un objeto que debe ser medido a una distancia Z determinada, para posteriormente comparar los espectros corregidos con espectros almacenados (tablas de consulta), y poder deducir las propiedades del material.
- De este modo, en la figura 7a), representación derecha, se representa un espectro de medición para una dentición como objeto. La representación izquierda en la figura 7a) refleja el espectro de fondo en el caso de la misma distancia Z.

5 En correspondencia con las explicaciones según la figura 6, los espectros 7a) medidos se corrigen con los factores de corrección según la figura 6c), los cuales corresponden a los espectros 7b), para posteriormente obtener espectros corregidos del diente acorde a la figura 7c). Los espectros correspondientes se comparan después con los espectros previamente almacenados. Las mediciones correspondientes se efectúan en correspondencia con la idea acorde a la invención para el mismo punto de medición, a diferentes distancias de la disposición de medición acorde a la invención.

10 En la figura 8, de forma muy básica, puede observarse que los espectros de medición y los espectros de fondo varían en función de la distancia, ya que la condición confocal se cumple en función de la distancia con respecto al punto de medición, respectivamente para determinadas longitudes de onda, de manera que los picos se producen en función de las longitudes de onda. Lo mencionado puede observarse claramente mediante la figura 8a). De este modo, ha sido registrada una primera curva de medición en el caso de la distancia Z_1 y una segunda curva de medición en el caso de la distancia Z_2 , donde los picos se presentan en el caso de longitudes de onda λ_1 y λ_2 diferentes.

15 En la figura 8b) se encuentra corregida la medición de fondo (representación izquierda) y el espectro de medición (representación derecha) con respecto a la distancia Z_1 , donde fue considerado un factor de corrección correspondiente a las explicaciones relativas a la figura 6. En la figura 8c) se representa el espectro de medición corregido (representación derecha), así como el espectro de fondo corregido para la distancia Z_2 . Si se realiza una discretización (binning) con respecto a las longitudes de onda λ_1 , λ_2 contiguas, entonces tiene lugar una reducción del ruido, tal como se muestra claramente en la figura 8d).

20 Tanto en base a los espectros de medición (representación derecha), como también a los espectros de fondo (representación izquierda en las figuras), en una comparación con espectros de referencia almacenados (tabla de consulta) pueden deducirse las propiedades del material.

25 En base al pico medido del espectro de medición puede obtenerse información por ejemplo sobre el grado de homogeneidad de la superficie del objeto y, en base al espectro de fondo puede obtenerse información en particular sobre la profundidad del objeto, donde a partir de la medición de un punto del objeto a diferentes distancias de la disposición de medición se determinan propiedades del material en función de las longitudes de onda.

30 En particular, en base a los espectros de medición pueden deducirse propiedades del material con respecto a la rugosidad de la superficie, así como a la homogeneidad de la superficie, al índice de refracción y al comportamiento de absorción, y en base a los espectros de fondo pueden deducirse características del material como la dispersión y la absorción.

35 Preferentemente, el cálculo se realiza "en tiempo real" o casi "en tiempo real" en un FPGA (Field Programmable Gate Array), para no cargar el CPU del ordenador principal. La clasificación en tiempo real es posible en el caso de que la información necesaria se encuentre contenida en una única trama. Pero si se debe esperar a otras tramas, las cuales pueden contener por ejemplo un reflejo Fresnel que se presenta raramente, entonces la evaluación definitiva sólo pueden efectuarse una vez obtenida dicha información. Si la distancia temporal es reducida, por ejemplo 30 FPS (Frames Per Second - tramas por segundo), entonces la información generalmente se encuentra disponible en rangos de pocos segundos.

40 La información del material, posteriormente, puede visualizarse en GUI (Graphical User Interface - interfaz gráfica de usuario), superpuesta sobre la información 3D, por ejemplo mediante una coloración diferente de los puntos de medición y/o puede utilizarse para el tratamiento selectivo del objeto escaneado en correspondencia con el material. En el caso de una utilización en el área de la odontología, de este modo, puede determinarse claramente el pasaje de la sustancia dura del diente al tejido blando, al algodón o al hilo de retracción. Es posible eliminar partes del tejido blando que varían en cuanto a la geometría, antes de registrar las tramas individuales. También pueden diferenciarse materiales de relleno o caries de sustancia dura del diente que se encuentra sana. Además puede realizarse una determinación del color del diente en 3D, incluyendo la determinación de las propiedades ópticas μ_a , μ_s y g .

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para determinar características del material de un objeto que son propiedades ópticas del objeto, donde son determinadas utilizando un sistema de medición 3D confocal para determinar datos de medición espectralmente selectivos del objeto, caracterizado porque se utiliza un sistema de medición 3D confocal de dispersión de color, y porque los datos de medición del objeto espectralmente selectivos, determinados con el sistema de medición 3D confocal, se computan con datos espectralmente selectivos de un cuerpo de referencia, donde en base a los mismos puntos de medición se determinan varios datos espectralmente selectivos, donde el sistema de medición 3D, a distancias que difieren unas de otras con respecto al objeto, registra y almacena espectros del punto de medición, y a los datos medidos, espectralmente selectivos, del punto de medición, se aplica un factor de corrección que se determina en base a espectros del cuerpo de referencia, cuya reflexión se mide sin condiciones de medición confocales o cuyos espectros son tomados de una biblioteca almacenada en un ordenador, donde los espectros de medición, considerando el factor de corrección, se comparan con espectros guardados en tablas de consulta, los cuales son representativos para características del material.
- 10
- 15 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque para determinar características del material se miden tanto datos espectralmente selectivos de una primera radiación directamente reflectada desde focos representados sobre el objeto, de un patrón de iluminación multifocal, como también una segunda radiación reflectada en forma difusa a una distancia Δx desde el respectivo foco representado.
- 20 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la distancia entre una primera radiación reflectada de forma directa, asociada a un foco, y una segunda radiación reflectada de forma difusa, se ubica entre 5 μm y 3 mm, en particular entre 10 μm y 200 μm .
- 25 4. Método según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque para determinar los datos espectralmente selectivos del objeto mediante la disposición de medición 3D, se aplica una primera radiación que se ubica en el rango de longitudes de onda $\Delta\lambda_1$, porque al objeto se aplica una segunda radiación en un rango de longitudes de onda $\Delta\lambda_2$ y porque en base a la segunda radiación reflectada por el objeto se determina una imagen 2D del objeto.
5. Método según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la imagen 3D se mide con un primer sensor con primeros píxeles que deben asociarse a coordenadas espaciales del objeto y la imagen 2D se mide con un segundo sensor con segundos píxeles que deben asociarse con coordenadas espaciales del objeto, y porque los primeros y los segundos píxeles se asocian unos a otros.
- 30 6. Método según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque mediante la información espectral determinada con el primer sensor y la información espectral determinada con el segundo sensor, una o varias tramas que muestran el mismo punto de medición en diferentes vistas y/o en diferentes tiempos, se utilizan para computar una asociación del material.
- 35 7. Método según al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las características del material se determinan tanto a partir de un espectro de medición de un punto de medición determinado bajo condiciones confocales, como también a partir de un espectro de fondo en una zona del punto de medición.

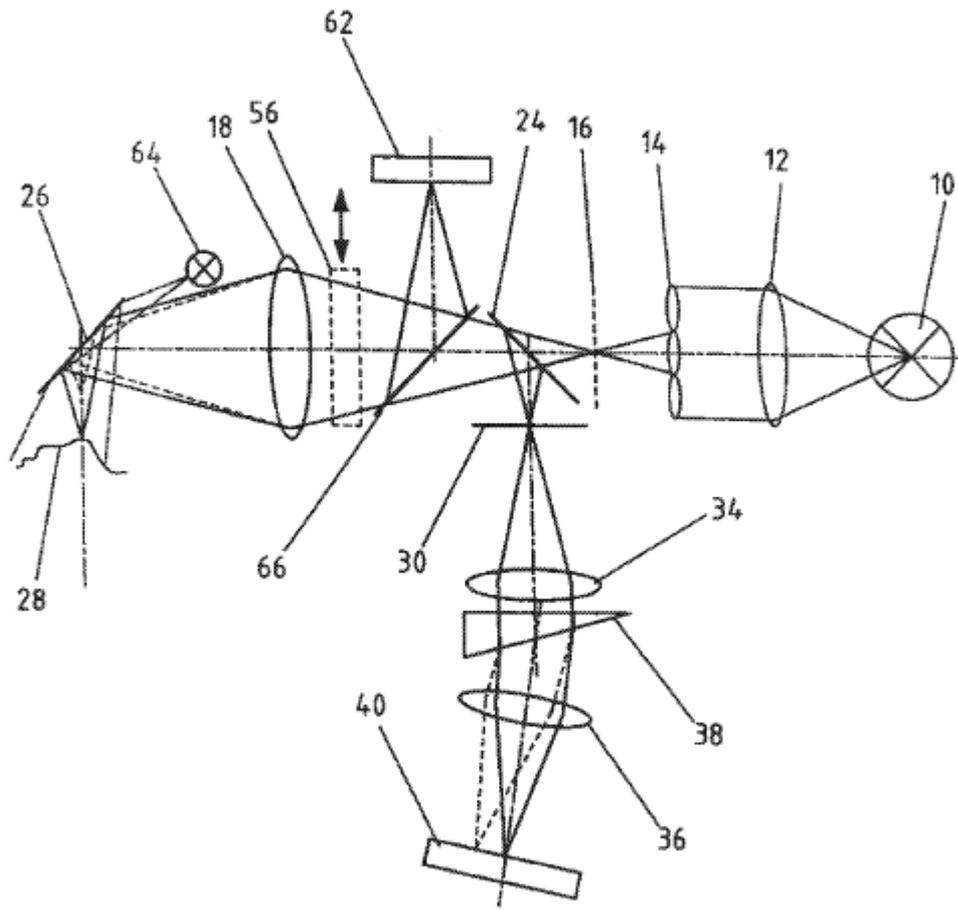


Fig. 1

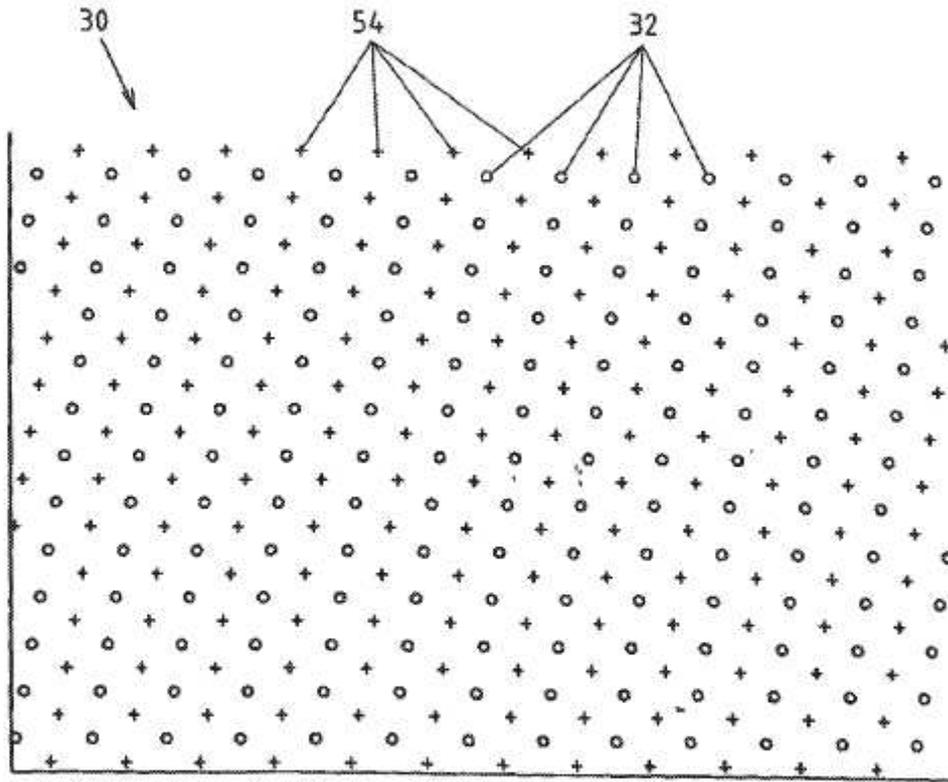


Fig. 2

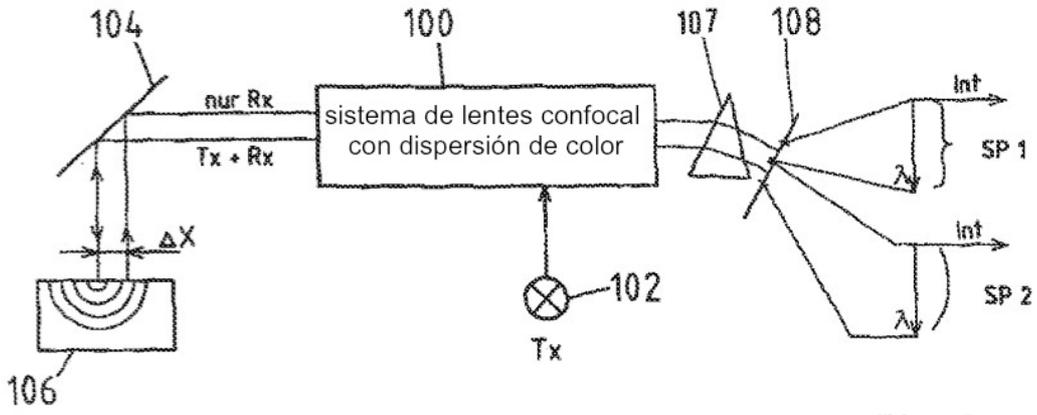


Fig. 3

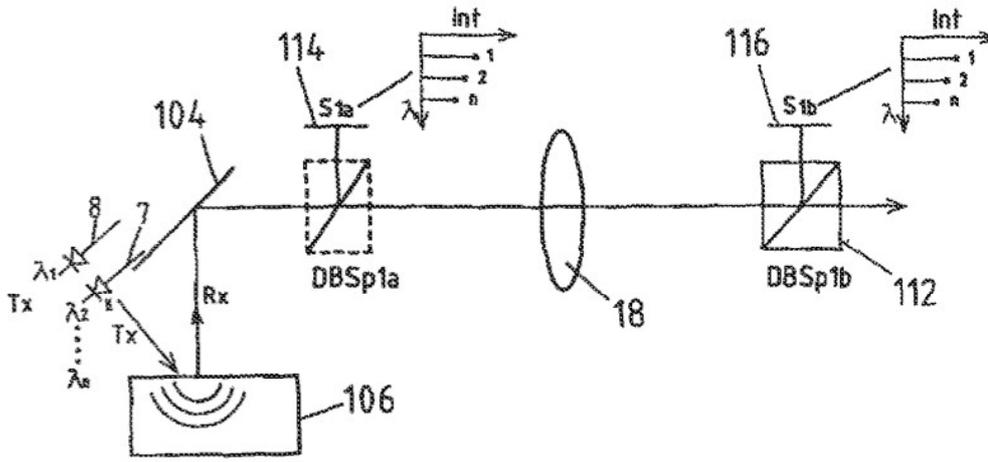


Fig. 4

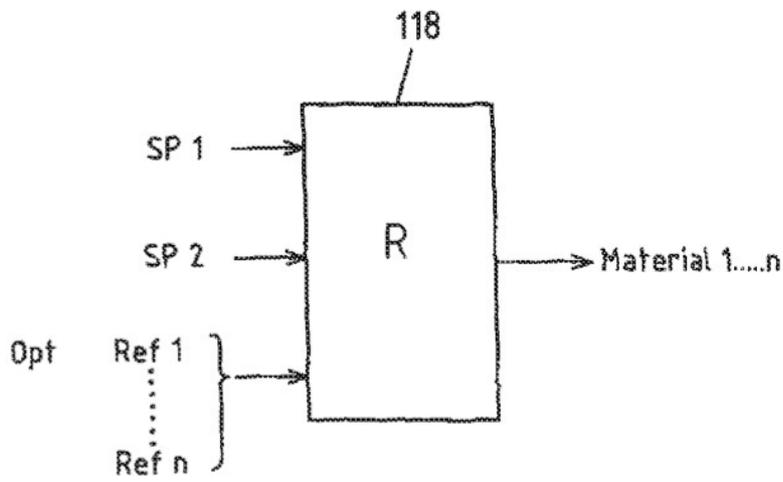


Fig. 5

Fig. 6

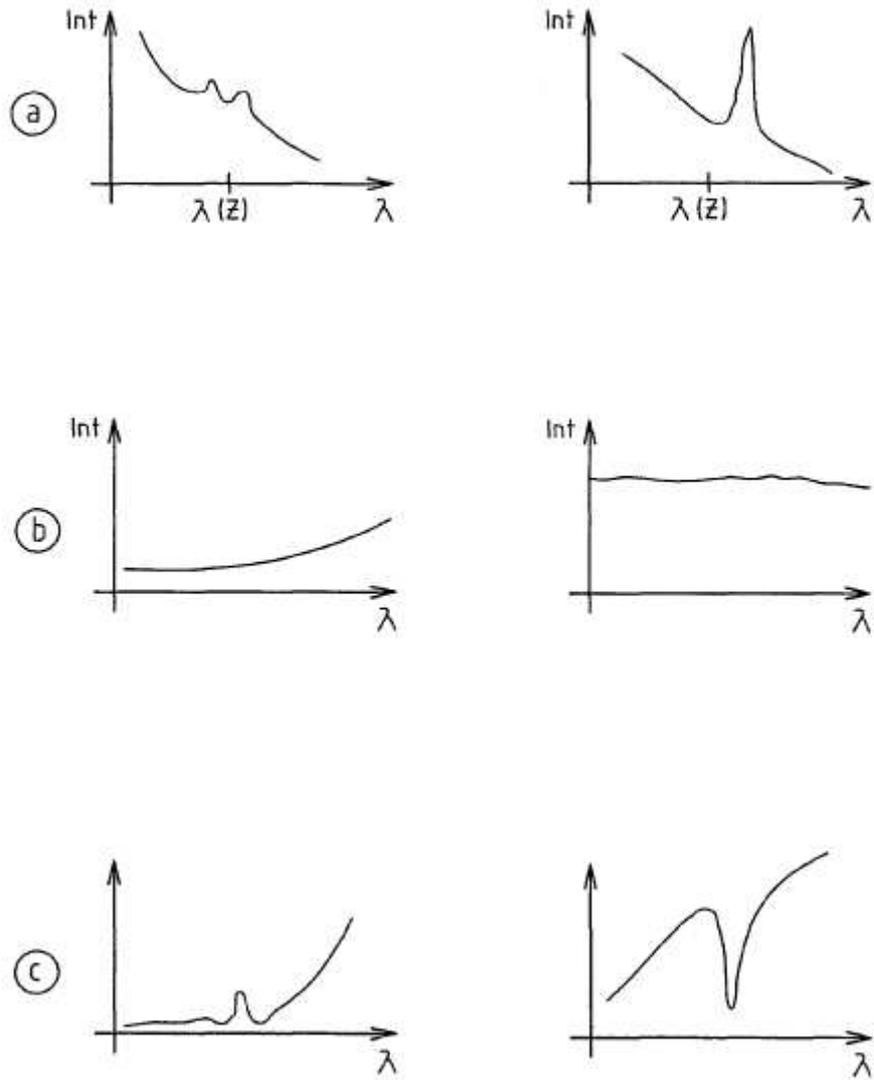


Fig. 7

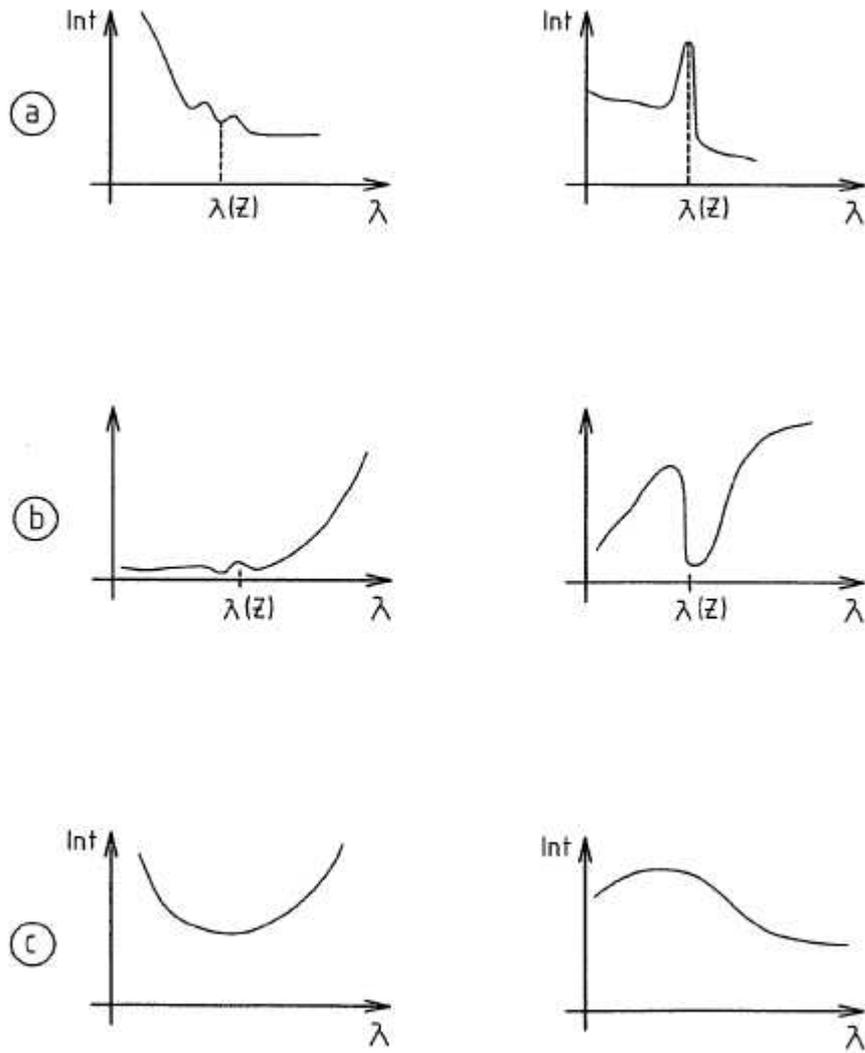


Fig. 8

