

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 256**

51 Int. Cl.:

G01J 3/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.12.2011 PCT/EP2011/006588**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO2013097874**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2011 E 11808601 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2016 EP 2798321**

54 Título: **Instrumento espectroscópico y proceso para análisis espectral**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2017

73 Titular/es:
**WAVELIGHT GMBH (100.0%)
Am Wolfsmantel 5
91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:
**GORSCHBOTH, CLAUDIA;
JEGLORZ, TOBIAS;
MASSOW, OLE;
WISWEH, HENNING y
VOGLER, KLAUS**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 613 256 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

Instrumento espectroscópico y proceso para análisis espectral

La invención se refiere un instrumento espectroscópico, en particular un sistema de formación de imágenes para un instrumento espectroscópico, a un sistema para la tomografía de coherencia óptica y también a un proceso para análisis espectral.

La tomografía de coherencia óptica (OCT para abreviar) sirve para un examen estructural bidimensional y tridimensional (2D y 3D para abreviar) de un espécimen. En el así llamado OCT de dominio espectral (SD OCT para abreviar) o en el así llamado OCT de dominio de frecuencia (FD OCT para abreviar) una banda ancha espectralmente, es decir un haz de luz policromática es analizado espectralmente. Con este propósito se hace funcionar un instrumento espectroscópico. El haz de luz es acoplado al instrumento espectroscópico, es dividido espectralmente en él, y una distribución de intensidad espectral (un espectro) I es registrado con la ayuda de un sensor que tiene varios elementos sensores. A partir de esta distribución de intensidad espectral I se puede deducir a continuación la estructura espacial del espécimen, y puede ser determinado un tomograma unidimensional (1D para abreviar) del espécimen (un así llamado escaneo A).

Para determinar un escaneo A, la distribución de intensidad espectral I debería ser una distribución sobre el número de onda k , es decir $I = I(k)$, por lo que las periodicidades que aparecen aquí (las así llamadas frecuencias de modulación) proporcionan información acerca de la estructura espacial del espécimen directamente. Las frecuencias de modulación pueden ser fácilmente determinadas a partir de la distribución de intensidad espectral si sus valores de intensidad están disponibles para distintos números de onda k que difiere en entre sí por un intervalo de número de onda fijo Δk (o un múltiplo del mismo). Esto permite la formación de imágenes del espectro lineal sobre el número de onda k .

Sin embargo, en instrumentos espectroscópicos convencionales para medir la distribución de intensidad espectral se forma generalmente la imagen del espectro en el sensor de tal manera que los valores de intensidad son registrados para distintas longitudes de onda λ que difieren entre sí sustancialmente en un intervalo de longitud de onda fijo $\Delta\lambda$ (o un múltiplo del mismo). Es decir, la distribución de intensidad espectral se muestrea linealmente sobre la longitud de onda λ . Como la longitud de onda λ y el número de onda k están conectados entre sí de manera no lineal mediante $k = 2\pi/\lambda$, el espectro está por consiguiente disponible de una forma no lineal sobre k . Para la determinación de las frecuencias de modulación, un espectro $I(k)$ que es lineal sobre k por lo tanto ha de ser determinado desde a partir del espectro $I(\lambda)$ que es lineal sobre λ por tratamiento de datos adecuado. Este procedimiento es llamado re-muestreo. El re-muestreo requiere un cierto tiempo de computación, lo que dificulta una rápida representación de las señales de OCT, particularmente cuando grandes cantidades de datos están siendo determinadas para la distribución de intensidad espectral. Además, el re-muestreo es generalmente acompañado por una caída en sensibilidad sobre la profundidad de medición (es decir una pérdida de calidad en la relación señal a ruido, llamada caída SNR, término medio de SNR o caída de sensibilidad).

Una información más amplia sobre la tomografía de coherencia óptica, particularmente sobre el análisis espectral en conexión con la tomografía de coherencia óptica, puede ser acumulada a partir de las siguientes publicaciones:

W. Drexler, J.G. Fujimoto: Optical Coherence Tomography: Technology and Applications, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 2010;

V.M. Gelikonov, G.V. Gelikonoc, P.A. Shilyagin: Linear-Wavenumber Spectrometer for High-Speed Spectral-Domain Optical Coherence Tomography. Optics and Spectroscopy, 106, 459-465, 2009;

V.M. Gelikonov, G.V. Gelikonoc, P.A. Shilyagin: Linear-wave-number Spectrometer for spectral domain optical coherence tomography, Proc. SPIE 6847, 68470N, 2008;

Z. Hu, A.M. Rollins: Fourier domain optical coherence tomography with a linear-in-wavenumber spectrometer, Optics Letters, 32, 3525-3527, 2007.

El documento US 2011/102802 A1 se refiere a un GRISM k-lineal que es una combinación de un prisma y una rejilla, en la que la dispersión de número de onda del prisma equilibra la dispersión de número de onda de la rejilla. Alternativamente, una rejilla holográfica "gorjeada" puede ser confeccionada a medida para replicar la función de transmisión del GRISM.

Es un objeto de las realizaciones de la invención especificar un instrumento espectroscópico, en particular un sistema de formación de imágenes para un instrumento espectroscópico, un sistema para tomografía de coherencia óptica y también un proceso para análisis espectral que permita una determinación rápida de tomogramas de alta calidad de imagen.

Este objeto es conseguido por un instrumento espectroscópico de acuerdo con la reivindicación 1 o 7, un sistema para tomografía de coherencia óptica de acuerdo con la reivindicación 8, y un proceso para análisis espectral de acuerdo con la reivindicación 9 o 10.

- De acuerdo con realizaciones ventajosas, un instrumento espectroscópico incluye un primer componente óptico para división espectral espacial de un haz de luz policromática que impacta sobre el primer componente óptico, un objetivo, que encamina distintas regiones espectrales del haz de luz dividido sobre diferentes regiones espaciales, y también un sensor, situado aguas abajo del objetivo en el trayecto del haz de luz, con una pluralidad de elementos sensores sensibles a la luz, estando dispuestos los elementos sensores en el trayecto del haz de luz dividido de tal manera que cada elemento sensor registra la intensidad de un sector espectral del haz de luz y los intermedios de los sectores espectrales están situados equidistantes entre sí en el espacio k , donde k indica el número de onda. En otras palabras: después de pasar a través del primer componente óptico y el objetivo, se forma la imagen del espectro del haz de luz policromática sobre el sensor linealmente sobre el número de onda k .
- 5
- 10 Por consiguiente el propio instrumento espectroscópico proporciona una distribución de intensidad espectral que es lineal sobre el número de onda k . Un re-muestreo posterior de los datos en bruto que han sido emitidos desde el instrumento espectroscópico no es por tanto necesario. El instrumento espectroscópico propuesto hace posible que se reduzca el tiempo requerido para la extracción de un tomograma de OCT. Además, puede ser evitada y/o reducida una pérdida de sensibilidad, sobre la profundidad de medición, debido al re-muestreo.
- 15 El primer componente óptico puede tener la forma de un componente de difracción. En particular, un componente de difracción puede tener la forma de una rejilla de difracción, una rejilla de transmisión, una rejilla de reflexión, una rejilla de volumen, una rejilla de relieve, una rejilla de amplitud, una rejilla holográfica y/o una placa de zona de Fresnel. Los centros de difracción del componente de difracción están constituidos, en particular, por hendiduras, ranuras, lamas, pletinas y/o zonas de Fresnel. Los centros de difracción del primer componente óptico pueden estar dispuestos de manera no equidistante entre sí, en particular, con una separación entre centros de difracción recíproca ligeramente variable. En particular, los centros de difracción del primer componente óptico están dispuestos uno con respecto al otro de tal manera y/o el primer componente óptico está dispuesto en relación con el haz de luz incidente de tal manera que el primer componente óptico exhibe una dispersión angular $d\theta/dk$, en cuyo caso el ángulo de difracción θ del haz de luz que emerge desde el primer componente óptico en relación con el haz de luz que entra en el primer componente óptico depende del número de onda k . En la medida en que es una cuestión de difracción, solamente el primer orden de difracción está comprendido en lo que sigue. Los centros de difracción pueden exhibir una constante de rejilla ligeramente variable.
- 20
- 25 El primer componente óptico puede tener la forma de un componente de dispersión. Un componente de dispersión puede tener la forma de una estructura en forma de cuña y/o un prisma, en particular un prisma de dispersión y/o prisma de reflexión. La geometría (por ejemplo, el ángulo de refracción α), el material (por ejemplo, vidrio) y/o las propiedades ópticas del material (por ejemplo, el índice de refracción $n(k)$ y/o la dispersión dn/dk) del prisma pueden ser seleccionados de tal manera y/o el prisma puede estar dispuesto en relación con el haz de luz incidente de tal manera que el primer componente óptico exhiba una dispersión angular $d\theta/dk$, en cuyo caso el ángulo de desviación θ del haz de luz que emerge del primer componente óptico en relación con el haz de luz que entra en el primer componente óptico depende del número de onda k .
- 30
- 35 El primer componente óptico puede tener la forma de un prisma de rejilla (un así llamado grism). El prisma de rejilla puede tener la forma de una unidad modular que consiste de un componente de dispersión (por ejemplo, un prisma) y un componente de difracción (por ejemplo, una rejilla de difracción). La unidad modular puede haber sido diseñada de tal manera que el componente de dispersión y el componente de difracción están dispuestos de manera no ajustable entre sí. Con este propósito una pluralidad de centros de difracción (por ejemplo, en virtud de revestimiento apropiado, depósito de vapor, formación de relieve, marcado o similar) puede haber sido aplicado sobre una superficie de un prisma. La geometría (por ejemplo, el ángulo de refracción α), el material (por ejemplo, vidrio) y/o las propiedades ópticas del material (por ejemplo, el índice de refracción $n(k)$ y/o la dispersión dn/dk) del prisma pueden ser seleccionados de tal manera y/o los centros de difracción de la rejilla de difracción aplicada sobre el prisma pueden estar dispuestos entre sí de tal manera y/o el prisma de rejilla puede estar dispuesto en relación con el haz de luz incidente de tal manera que el prisma de rejilla divide el haz de luz de acuerdo con una dispersión angular $d\theta/dk$ combinada a partir de una dispersión angular de rejilla de la rejilla del prisma de rejilla y a partir de una dispersión angular de prisma del prisma de rejilla, en cuyo caso el ángulo de desviación θ del haz de luz que emerge del primer componente óptico en relación con el haz de luz que entra en el primer componente óptico depende del número de onda k .
- 40
- 45 El objetivo puede exhibir propiedades tales como que un haz de rayos colimados, que emanan desde el primer componente óptico sobre el lado del objeto, del haz de luz dividido es enfocado a un foco sobre el lado de la imagen de tal manera que después de pasar a través del objetivo, una separación lateral del foco a partir de un eje óptico del objetivo aumenta linealmente con el ángulo de incidencia con un ángulo creciente de incidencia en el que el haz de rayos colimado incide en el objetivo en relación con el eje óptico del objetivo.
- 50
- 55 El objetivo puede ser de diseño simétrico rotacionalmente. En particular, aloe activo puede ser de diseño simétrico cilíndricamente con respecto a su eje óptico. El objetivo tiene la forma, en particular, de una lente de escaneo de campo plano, un objetivo f -theta o un objetivo f -theta telecéntrico, en particular un objetivo f -theta que es telecéntrico sobre el lado de la imagen. El objetivo puede exhibir una pupila de entrada ubicada fuera del objetivo. El objetivo puede estar dispuesto en relación con el primer componente óptico de tal manera que el primer componente óptico, pero en particular también el punto sobre el primer componente óptico en el que el haz de luz dividido emerge desde el primer componente
- 60

óptico, está ubicado en el centro de la pupila de entrada del objetivo.

5 Alternativa o adicionalmente, el objetivo exhibe propiedades de formación de imagen de carga de distorsión y/o cromática lateral. El objetivo puede estar adaptado para encaminar el haz de luz dividido por el primer componente óptico de tal manera que las medianas, situadas equidistantes entre sí en el espacio k, de distintas regiones espectrales del haz de luz policromática estén enfocadas a diferentes focos, cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración.

10 Para este propósito, por selección adecuada de los vidrios utilizados dentro del objetivo para los elementos de refracción, en particular el material y/o sus formas, el objetivo puede exhibir tales propiedades de formación de imagen de carga de distorsión y/o cromática lateral que una separación axial adicional, dependiendo de la longitud de onda, produzca resultados que obedecen a una función no lineal. En particular, este efecto puede ser utilizado por ajuste de la posición y/u orientación del objetivo en relación con el trayecto de haz del haz de luz dividido por el primer componente óptico de tal manera que el haz de luz dividido es encaminado por el objetivo de tal manera que las medianas, situadas equidistantes entre sí en el espacio k, de distintos sectores espectrales estén enfocadas a diferentes focos, cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración.

15 "Lateral" significa a lo largo de un eje orientado perpendicular al eje óptico del objetivo. "Cromática" depende de la longitud de onda λ . "Axial adicional" significa en la dirección lateral con una separación desde el eje óptico sin desvanecimiento.

20 El objetivo puede estar dispuesto en relación con el primer componente óptico de tal manera que el haz de luz dividido pasa a través del objetivo sustancial o exclusivamente por encima de un plano en el cual está situado un eje óptico del objetivo. Adicional o alternativamente, el objetivo puede haber sido dispuesto en relación al primer componente óptico de tal manera que un eje óptico del objetivo ha sido inclinado en relación con la dirección de propagación de un tren de ondas de haz de luz dividido que representa la mediana del espectro completo del haz de luz policromática en el espacio k.

25 El instrumento espectroscópico puede incluir un segundo componente óptico que tiene la forma de un componente de dispersión y/o de difracción, que ha sido combinado con el objetivo de modo que forme una unidad modular de tal manera que el objetivo y el segundo componente óptico estén dispuestos de manera no ajustable entre sí. En particular, el segundo componente óptico puede tener la forma de un accesorio de objetivo. El segundo componente óptico puede haber sido dispuesto aguas arriba del objetivo en el trayecto de haz del haz de luz. Alternativamente, segundo componente óptico puede haber sido dispuesto aguas abajo del objetivo en el trayecto del haz del haz de luz.

30 El primer componente óptico, el objetivo, el sensor, los elementos sensores, una de las unidades modulares descritas antes y/o todos los demás componentes del instrumento espectroscópico pueden haber sido formados tal como sobre una placa base del instrumento espectroscópico de manera posicionalmente ajustable con la ayuda de medios de ajuste proporcionados para ello, tales como carriles, mesas deslizantes, articulación de barra, postes, etapas de traslación o etapas de rotación. En particular, las posiciones y/u orientaciones mutuas del primer componente óptico, del objetivo, del sensor, de los elementos sensores y/o de la unidad modular entre ellos mismos son ajustables, en particular de manera manual. Los componentes de una unidad modular, por otro lado, han sido conectados firmemente entre sí previamente de tal manera que la posición y/u orientación relativas de los mismos no es ajustable.

40 Los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores del sensor pueden estar dispuestos equidistantes entre sí. Alternativamente, los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores del sensor pueden haber sido dispuestos espacialmente de acuerdo con los focos o los centros de los focos sobre los que el objetivo enfoca las medianas, situadas equidistantes entre sí en el espacio k, de distintas regiones espectrales del haz de luz policromática sobre el lado de la imagen. En particular, el sensor puede tener la forma de un sensor de línea CCD o sensor de línea CMOS en donde los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores se encuentran en línea recta. Las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores pueden haber sido diseñadas para ser de igual o de diferente tamaño.

45 Un sistema de formación de imágenes para un instrumento espectroscópico incluye uno de los primeros componentes ópticos descritos antes, uno de los objetivos descritos antes y/o una de las unidades modulares descritas antes.

50 Un sistema para la tomografía de coherencia óptica incluye uno de los instrumentos espectroscópicos descritos antes. El sistema incluye además una fuente de luz para hacer disponible la luz policromática coherente, y un divisor de haz que ha sido configurado para acoplar la luz policromática coherente a un brazo de referencia y a un brazo de espécimen, para superponer la luz retro-dispersada desde el brazo de referencia y desde el brazo de espécimen de modo que forme un haz de luz policromática, y acople el haz de luz policromática al instrumento espectroscópico para el propósito de análisis espectral.

Un proceso para el análisis espectral comprende las operaciones de la reivindicación 9 o 10.

55 En la medida en que un proceso u operaciones individuales de un proceso para análisis espectral es/son descritos en esta descripción, el proceso u operaciones individuales del proceso pueden ser ejecutados por un aparato configurado

de manera adecuada. Observaciones análogas se aplican a la elucidación del modo de operación de un aparato que ejecuta operaciones del proceso. En esta medida, las características del aparato y las características del proceso de esta descripción son equivalentes. En particular, es posible realizar el proceso o las operaciones individuales del proceso con un ordenador sobre el cual es ejecutado un programa adecuado de acuerdo con la invención.

5 La invención será elucidada además, a continuación sobre la base de los dibujos adjuntos, de los que:

La fig. 1 muestra una representación general esquemática de un sistema para tomografía de coherencia óptica de acuerdo con un ejemplo,

La fig. 2 muestra una representación esquemática de un instrumento espectroscópico,

10 Las figs. 3a a 3e muestra una representación esquemática de una distribución de medianas de distintas regiones espectrales,

Las figs. 4a y 4b muestran una ilustración de un espectro que es lineal sobre la longitud de onda λ y no lineal sobre el número de onda k ,

Las figs. 5a y 5b muestran una ilustración de un espectro que es lineal sobre el número de onda k y no lineal sobre la longitud de onda λ ,

15 La fig. 6 muestra una representación esquemática de un instrumento espectroscópico de acuerdo con un ejemplo,

La fig. 7 muestra una representación esquemática de un instrumento espectroscópico de acuerdo con un segundo ejemplo,

La fig. 8 muestra una representación esquemática de un instrumento espectroscópico de acuerdo con una primera realización de la invención,

20 La fig. 9 muestra una representación esquemática de un instrumento espectroscópico de acuerdo con una primera realización de la invención,

Las figs. 10a y 10b muestran una representación esquemática de un instrumento espectroscópico de acuerdo con ejemplos, y

25 La fig. 11 muestra una representación esquemática de un instrumento de acuerdo con una segunda realización de la invención.

Un sistema para la tomografía de coherencia óptica está indicado generalmente en la fig. 1 por 10. El sistema 10 sirve en el caso ejemplar para examinar un objeto 12 mostrado en la forma de un ojo humano. La tomografía de coherencia óptica está basada sobre SD OCT o sobre FD OCT.

30 El sistema 10 incluye una fuente de luz 14 para emitir un haz de luz 16 policromática coherente. La fuente de luz 14 emite un espectro de luz coherente que es de banda ancha dentro del espacio de frecuencia. El haz de luz emitido desde la fuente de luz 14 es dirigido a un divisor de haz 18. El divisor de haz 18 es una parte constituyente de un interferómetro 20 y divide la salida óptica incidentes del haz de luz 16 de acuerdo con una relación de división predeterminada, por ejemplo 50:50. Un haz de rayos 22 discurre dentro de un brazo de referencia 24; otro haz de rayos 26 discurre dentro de un brazo de espécimen 28.

35 El haz de rayos 22 derivado al brazo de referencia 24 incide sobre un espejo 30 que refleja el haz de rayos 22 de forma colineal sobre el divisor de haz 18. Un tren óptico 32 de enfoque y los componentes 34 de escaneo controlable están previstos dentro del brazo del espécimen 28. Los componentes 34 de escaneo controlable han sido configurados para encaminar el haz de rayos 26 que llega desde el divisor de haz 18 a través del tren óptico 32 de enfoque al objetivo 12. A este respecto el ángulo de incidencia con el que el haz de rayos 26 que llega desde el divisor de haz 18 entra en el tren óptico 32 de enfoque es ajustable con la ayuda de los componentes 34 de escaneo. En el ejemplo mostrado en la fig. 1 los componentes 34 de escaneo sido diseñados para este propósito como espejos soportados giratoriamente. Los ejes de rotación de los espejos pueden ser perpendiculares entre sí. El ángulo de rotación de los espejos es establecido, por ejemplo, con la ayuda de un elemento que opera de acuerdo con el principio de un galvanómetro. El tren óptico 32 de enfoque enfoca el haz de rayos 26 sobre o hacia el objeto 12.

45 El haz de rayos 26 retro-dispersado desde el objeto 12 en el brazo de espécimen 28 es superpuesto en el divisor de haz 18 de forma colineal con el haz de rayos 22 reflejado desde el espejo 30 en el brazo de referencia 24 de modo que forme un haz de luz 36 policromática. Las longitudes del trayecto óptico en el brazo de referencia 24 y en el brazo de espécimen 28 son sustancialmente igual de largas, de manera que el haz de luz 36 presenta una interferencia entre los haces de rayos 22 y 26 retro-dispersados desde el brazo de referencia 24 y el brazo de espécimen 28. Un instrumento espectroscópico o espectrómetro 38 registra la distribución de intensidad espectral del haz de luz 36 policromática.

50 En vez de la configuración de espacio libre representada en la fig. 1, el interferómetro 20 puede haber sido también

realizado parcial o completamente con la ayuda de componentes de fibra óptica. En particular, el divisor de haz 18 puede tener la forma de un divisor de haz de fibra óptica y los rayos 16, 22, 26, 36 pueden ser guiados con la ayuda de fibras.

El instrumento espectroscópico 38 está representado en más detalle en la fig. 2. Como puede verse en la fig. 2, el haz de luz 36 que llega desde el divisor de haz 18 es acoplado al instrumento espectroscópico 38 con la ayuda de una fibra 40. La fibra termina en un colimador 44 mediante un acoplamiento de fibra 42. El colimador 44 puede comprender distintas lentes y ha sido configurado para recoger el haz de luz 36 que emerge de manera divergente desde la fibra 40, para formarlo en un haz de luz 46 policromática colimado y dirigir el último sobre un primer componente óptico 48. Para el propósito de un diseño estructural compacto entre el colimador 44 y el primer componente óptico 48, en el trayecto de haz del haz de luz 46 un espejo deflector adicional (no representado) puede haber sido dispuesto que ha sido configurado para encaminar el haz de luz 46 colimado hacia el primer componente óptico 48.

El primer componente óptico 48 sido configurado para dividir el haz de luz 46 policromática que incide sobre el primer componente óptico 48 espacialmente en sus constituyentes espectrales. De manera ejemplar se ha representado el recorrido de tres haces de luz colimados 46a, 46b, 46c de diferentes regiones espectrales del haz 46 de luz policromática dividido. Un objetivo 50 recoge los haces de luz 46a, 46b, 46c y dirige los últimos hacia diferentes regiones espaciales 52a, 52b, 52c. El objetivo 50 puede comprender varias lentes. El objetivo 50 exhibe una pupila de entrada (no representada) que está dispuesta en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido aguas arriba de todas las superficies de refracción del objetivo 50. El objetivo 50 puede estar dispuesto en relación con el primer componente óptico 48 de tal manera que el punto sobre el primer componente óptico 48 en el cual emerge el haz de luz 46a, 46b, 46c dividido desde el primer componente óptico 48 está ubicado en el centro de la pupila de entrada del objetivo 50.

Hay un sensor 54 ubicado aguas abajo del objetivo 50 en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido con una pluralidad de elementos sensores 54a, 54b, 54c sensibles a la luz. En el ejemplo que se ha mostrado aquí, el sensor 54 tiene la forma de una cámara CMOS o una cámara CCD (o cámara en línea) que exhibe una pluralidad de píxeles, por ejemplo 4096 píxeles. Los elementos sensores 54a, 54b, 54c representan por consiguiente los píxeles individuales de la cámara 54. Los elementos sensores 54a, 54b, 54c están dispuestos en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido de tal manera que cada elemento sensor 54a, 54b, 54c registra la intensidad de un sector espectral diferente A_1 , A_2 , A_3 del espectro del haz de luz 46. La totalidad de los valores de intensidad registrados por los elementos sensores 54a, 54b, 54c produce una distribución de intensidad espectral en forma de una señal de salida 56.

La señal de salida 56 generada por el instrumento espectroscópico 38 es transferida a un dispositivo de control 60; véase la fig. 1. Sobre la base de la distribución intensidad espectral registrada el dispositivo de control 60 discierne un tomograma del objeto 12. El dispositivo de control 60 controla los componentes 34 de escaneo de tal manera que es posible la extracción de tomogramas de 1D, 2D y/o 3D. Los tomogramas discernidos son presentados sobre una unidad de presentación 62 y pueden ser almacenados en una memoria 64.

El haz de luz 46 policromática colimado consiste de un gran número de trenes de ondas que se propagan sustancialmente en paralelo. En el caso de los trenes de ondas, las ondas planas armónicas pueden ser asumidas con objeto de simplicidad. Cada tren de ondas del haz de luz 46 es caracterizado precisamente por un vector de onda \mathbf{k} . La dirección/orientación del vector de onda \mathbf{k} representa la dirección de propagación del tren de ondas. La magnitud k del vector \mathbf{k} , llamada el número de onda k , es una medida de la separación espacial de dos frentes de onda dentro del tren de ondas. La periodicidad espacial del tren de ondas es reflejada en la longitud de onda λ . Se mantiene que $\lambda = (2\pi)/k$.

El espectro 66 del haz de luz 46 está representado esquemáticamente en la fig. 3a. De manera ejemplar el espectro 66 en el espacio k consiste de tres regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 . Por "espacio k " ha de entenderse una línea recta o eje sobre el cual los números de onda k son ordenados linealmente por magnitud. Cada región B_1 , B_2 , B_3 está caracterizada por una mediana Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 . Alternativamente, sin embargo para las implementaciones siguientes (tales como las que utilizan 4096 píxeles), por ejemplo, pueden definirse también diferentes regiones espectrales con un número correspondiente de medianas. En lo que sigue, la mediana Mk_2 representa, al mismo tiempo, la mediana del espectro completo 66 en el espacio k .

Una mediana Mk_i ($i = 1, 2, 3$) en el espacio k es determinada como sigue: Si los números de onda k_1 a k_{n_i} crecen dentro de una región espectral B_i (o sector espectral A_i) son ordenados por magnitud en una secuencia matemática, donde n_i representa el número de números de onda dentro de la región B_i (sector A_i), entonces la mediana Mk_i en el caso de que n_i sea impar significa el valor en el lugar $(n_i + 1/2)$ ésimo y, en el caso en que n sea par, significa el valor medio derivado a partir de los valores en los lugares $n/2$ ésimo y $(n/2+1)$ ésimo. Para una distribución continua o casi continua de los números de onda k_1 a k_{n_i} dentro de la región espectral B_i (sector A_i), alternativamente la mediana puede estar constituida por el valor medio derivado de k_1 y k_{n_i} , donde k_1 representa el número de onda menor y k_{n_i} representa el número de onda mayor que aparece dentro de la región espectral B_i (sector A_i). Las observaciones correspondientes se aplican a la determinación de una mediana en el espacio λ .

Antes de que el haz de luz 46 afecte al primer componente óptico 48, los trenes de ondas que están caracterizados por los números de onda k_1 , k_2 , k_3 correspondientes a las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 se mueven sustancialmente a lo largo del mismo trayecto 67 representado en trazos en la fig. 2. La dirección del trayecto 67 es determinada a partir de la dirección de los vectores de onda \mathbf{k}_1 , \mathbf{k}_2 , \mathbf{k}_3 . Por consiguiente, todos los tres trenes de ondas pasan a través de la línea recta x

dibujada en la fig. 2, que corta el haz de luz 46, en la misma posición $x_1 = x_2 = x_3$; véase la fig. 3b.

- Después de pasar a través del primer componente óptico 48 el espectro 66 ha sido dividido espacialmente (por ejemplo, de acuerdo con una cierta dispersión angular). El primer componente 48 cambia, dependiendo del número de onda k , la orientación de los vectores de onda k_1 , k_2 , k_3 pero no las magnitudes de los mismos, es decir los propios números de onda k_1 , k_2 , k_3 . Esto significa que los trenes de ondas correspondientes a las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 se mueven ahora sustancialmente a lo largo de diferentes trayectos 68a, 68b, 68c, similarmente representados en la fig. 2 como líneas de trazos. La dirección de los trayectos 68a, 68b, 68c es determinada a partir de las direcciones respectivas de los vectores de onda k_1 , k_2 , k_3 . Por tanto los tres trenes de ondas pasan a través de la línea recta y dibujada en la fig. 2, que corta los trayectos 68a, 68b, 68c, en diferentes posiciones y_1 , y_2 , y_3 ; véase la fig. 3c.
- Los trayectos 68a, 68b, 68c pueden ser influenciados/encaminados también, en particular desviados, en el otro recorrido por el objetivo 50, de manera que los trenes de ondas correspondientes a las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 pasan a través de la línea recta z dibujada en la fig. 2, que corta los trayectos 68a, 68b, 68c encaminados por el objetivo 50, en diferentes posiciones z_1 , z_2 , z_3 ; véase también la fig. 3d.
- En virtud del encaminamiento de los trenes de ondas lo largo de los trayectos 68a, 68b, 68c sobre los elementos sensores 54a, 54b, 54c, se forma la imagen del espectro 66 sobre el sensor 54. Los elementos sensores 54a, 54b, 54c registran cada uno una de las regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 o (más generalmente) sectores A_1 , A_2 , A_3 de las regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 ; véase la fig. 3e. Debería observarse que las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 de las regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 pueden coincidir con las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 de los sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 pero no necesariamente tienen que coincidir con ellas.
- En instrumentos espectroscópicos convencionales 38 los elementos sensores individuales 54a, 54b, 54c del sensor 54 están dispuestos en el trayecto de haz del haz de luz dividido 46, 46a, 46b, 46c de tal manera que los elementos sensores 54a, 54b, 54c registran sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 , cuyas medianas $M\lambda_1$, $M\lambda_2$, $M\lambda_3$ en el espacio λ están situadas equidistantes entre sí o están situadas al menos de manera no lineal en el espacio k .
- Este estado de cosas está representado de manera más precisa en los diagramas en las figs. 4a y 4b. El eje vertical muestra una numeración continua de los elementos sensores 54a, 54b, 54c, que en el ejemplo mostrado aquí comienza en 1 y finaliza, a modo de ejemplo, en 4096. El eje horizontal en la fig. 4a muestra la longitud de onda λ de las medianas $M\lambda_1$, $M\lambda_2$, $M\lambda_3$ de los diferentes sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 registrados por los elementos sensores 54a, 54b, 54c en unidades de μm . La curva 70 representada en la fig. 4a muestra una progresión aproximadamente lineal sobre la longitud de onda λ (para comparación, además se ha dibujado una línea recta 71). Consecuentemente se forma la imagen del espectro 66 sobre el sensor 54 de manera aproximadamente lineal sobre λ .
- Por otro lado, esto significa, en razón de la relación no lineal $k = 2n/\lambda$ entre el número de onda k y la longitud de onda λ , que en el caso de instrumentos espectroscópicos convencionales 38 se forma la imagen del espectro 66 del haz 46 de luz policromática sobre el sensor 54 de manera no lineal sobre el número de onda k . Esto queda claro por el diagrama en la fig. 4b, que fue calculado con ayuda de la fórmula anterior a partir de los datos del diagrama de la fig. 4a y en que el eje horizontal muestra el número de onda k de las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 de los diferentes sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 registrados por los elementos sensores 54a, 54b, 54c en unidades de $1/\mu\text{m}$ (para comparación, además se ha dibujado una línea recta 71).
- En el caso del instrumento espectroscópico 38 de acuerdo con la invención los elementos sensores 54a, 54b, 54c del sensor 54 están dispuestos en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido de tal manera que las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 de los sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 del espectro 66 del haz de luz 46 registradas por los elementos sensores 54a, 54b, 54c están situados equidistantes entre sí en el espacio k .
- Este estado de cosas está de nuevo representado en la fig. 5b. El eje vertical muestra de nuevo una numeración continua de elementos sensores 54a, 54b, 54c desde 1 a 4096. El eje horizontal muestra el número de onda k de las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 de los diferentes sectores espectrales A_1 , A_2 , A_3 registrados por los elementos sensores 54a, 54b, 54c en unidades de $1/\mu\text{m}$. Dentro de un intervalo de desde $6,9/\mu\text{m}$ a $9,3/\mu\text{m}$ que está mostrado de manera ejemplar la curva 72 muestra una progresión lineal sobre el número de onda k . Consecuentemente se forma la imagen del espectro 66 del haz 46 de luz policromática sobre el sensor 54 linealmente sobre el número de onda k . La fig. 5a muestra la progresión calculada, resultante de la fig. 5b, sobre la longitud de onda λ , que no es lineal (por comparación, además se ha dibujado una línea recta 71).
- En las figs. 8, 9 y 11 están representadas distintas realizaciones del instrumento espectroscópico 38 de acuerdo con la invención. Meramente para mejor claridad, en algunos de estos casos solamente se han representado dos haces de luz 46a y 46c, pero no el tercer haz de luz 46b ejemplar. El haz de luz 46a (46b o 46c) representa un tren de ondas que está caracterizado por un número de onda k_1 (k_2 o k_3) que corresponde con la mediana Mk_1 (Mk_2 o Mk_3) de la región espectral B_1 (B_2 o B_3). Se mantiene que $Mk_1 < Mk_2 < Mk_3$.
- En un primer ejemplo representado en la fig. 6, el primer componente óptico 48 tiene la forma de una rejilla de difracción. Los centros de difracción de la rejilla de difracción 48 están dispuestos uno con respecto al otro de tal manera y la rejilla

de difracción 48 está orientada en relación al haz de luz incidente 46 de tal manera que el primer componente óptico 48 exhibe una dispersión angular $d\theta/dk$, en cuyo caso el ángulo de difracción θ del haz de luz 46a, 46c que emerge desde el primer componente óptico 48 en relación al haz de luz 46 que entra en el primer componente óptico 48 depende linealmente del número de onda k , es decir $d\theta/dk = \text{constante}$. Por consiguiente se mantiene que $\theta_1/k_1 = \theta_3/k_3$, donde θ_1 es el ángulo de difracción mediante el cual el haz de luz 46a es desviado y θ_3 es el ángulo de difracción por el que el haz de luz 46c es desviado.

En un segundo ejemplo representado en la fig. 7, el primer componente óptico 48 tiene la forma de un prisma de rejilla e incluye un prisma 74 y una rejilla de difracción 76 con una pluralidad de centros de difracción, que han sido aplicados sobre una cara de entrada 77a del prisma 74. Alternativamente, la rejilla de difracción 76 puede haber sido aplicada también sobre una cara de salida 77b del prisma 74. El ángulo de refracción α , el material y el índice de refracción $n(k)$ del material del prisma 74 han sido seleccionados de tal manera, los centros de difracción de la rejilla de difracción 76 han sido dispuestos uno con respecto otro de tal manera y también el prisma de rejilla 48 ha sido orientado en relación al haz de luz incidente 46 de tal manera que el prisma de rejilla 48 divide el haz de luz 46 de acuerdo con una dispersión angular $d\theta/dk$ combinada a partir de una dispersión angular del prisma del prisma 76 y a partir de una dispersión angular de rejilla de la rejilla 74, en cuyo caso el ángulo de desviación θ del haz de luz 46a, 46c que emerge desde el prisma de rejilla 48 en relación con el haz de luz 46 que entra en el prisma de rejilla 48 depende linealmente sobre el número de onda k , es decir $d\theta/dk = \text{constante}$. Por consiguiente, aquí también se mantiene que $\theta_1/k_1 = \theta_3/k_3$, donde θ_1 es el ángulo de difracción por el cual el haz de luz 46a es desviado y θ_3 es el ángulo de difracción por el cual el haz de luz 46c es desviado.

El objetivo 50 del primer y segundo ejemplos mostrados en las figs. 6 y 7 tiene tales propiedades que un haz 46a o 46c de rayos sustancialmente colimados del haz de luz 46 dividido que emana desde el primer componente óptico 48 sobre el lado del objeto es enfocado a un foco 78a, 78c sobre el lado de la imagen de tal manera después de pasar a través del objetivo 50 que una separación lateral D_a, D_c del foco 78a, 78c desde un eje óptico 80 del objetivo 50 aumenta linealmente con el ángulo de incidencia δ_1, δ_3 con un ángulo creciente de incidencia δ_1, δ_3 con el que el haz de rayos 46a, 46c es incidente en el objetivo 50 en relación con el eje óptico 80. Con este propósito el objetivo tiene la forma, por ejemplo, de un objetivo f-theta.

En las figs. 8 y 9 se ha mostrado una primera realización de la invención. En las figs. 10a y 10b se han mostrado ejemplos. En la fig. 11 se ha mostrado una segunda realización de la invención.

En las figs. 8, 9, 10a, 10b y 11. En estas realizaciones y ejemplos el primer componente óptico 48 tiene la forma, por ejemplo, de una rejilla de difracción convencional con centros de difracción dispuestos espacialmente equidistantes entre sí, o de un prisma de dispersión convencional. El primer componente óptico 48 exhibe una dispersión angular $d\theta/dk$, en cuyo caso el ángulo de difracción θ del haz de luz 46a, 46c que emerge desde el primer componente óptico 48 en relación con el haz de luz 46 que entra en el primer componente óptico 48 depende de modo no lineal sobre el número de onda k , es decir $d\theta/dk \neq \text{constante}$.

En la primera realización y en los ejemplos de las figs. 10a y 10b el objetivo 50 exhibe tales propiedades de formación de imagen que el haz de luz 46a, 46b, 46c dividido por el primer componente óptico 48 es encaminado por el objetivo 50 de tal manera que las medianas Mk_1, Mk_2, Mk_3 , situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales B_1, B_2, B_3 son enfocadas a diferentes focos 78a, 78b, 78c, cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración; véanse, por ejemplo, las figs. 9, 10a y 10b. Así el objetivo 50 encamina los haces de luz 46a, 46b, 46c a las posiciones z_1, z_2, z_3 a lo largo de la línea recta z mostrada en la fig. 2, que corta el trayecto del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido encaminado por el objetivo 50, que están situados equidistantes espacialmente entre sí; véase la fig. 3d. Con este propósito el objetivo 50 exhibe tales propiedades que el encaminamiento de un haz de luz 46a, 46b, 46c depende de su número de onda k .

En las figs. 8 y 9 se ha representado la primera realización de la invención. En estos casos, en virtud de una selección adecuada de los vidrios que son utilizados dentro del objetivo 50 para los elementos de refracción el objetivo 50 exhibe propiedades de formación de imagen cromática lateral. Estas propiedades de formación de imagen cromática lateral son tales que resulta una separación axial adicional, dependiendo de la longitud de onda, que obedece una función no lineal. Este efecto es utilizado por ajuste de la posición y/o de la orientación del objetivo 50 en relación con el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c dividido de tal manera que el haz de luz 46a, 46b, 46c dividido es encaminado por el objetivo 50 de tal manera que las medianas Mk_1, Mk_2, Mk_3 situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales B_1, B_2, B_3 son enfocadas a diferentes focos 78a, 78b, 78c, cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración. El ajuste es efectuado descentrando y/o inclinando el objetivo 50.

En la primera realización, en la fig. 8, puede verse un descentrado del objetivo 50. El objetivo 50 está dispuesto en relación al primer componente óptico 48 de tal manera que el haz de luz 46a, 46c dividido pasa a través del objetivo 50 sustancialmente por encima de un plano 82 en el que está situado el eje óptico 80 del objetivo 50.

En la primera realización, en la fig. 9, puede verse una inclinación del objetivo 50. El objetivo 50 está dispuesto en relación al primer componente óptico 48 de tal manera que el eje óptico 80 del objetivo 50 está inclinado en relación con la dirección de propagación k_2 de un tren de ondas del haz de luz dividido 46b que representa la mediana Mk_2 del

espectro 66 del haz 46 de luz policromática en el espacio k. El ángulo ε_2 mostrado en la fig. 9 entre el eje óptico 80 y la dirección de propagación k_2 es por consiguiente diferente de cero.

5 En las figs. 10a y 10b se han mostrados ejemplos. En estos casos el instrumento espectroscópico 38 incluye un segundo componente óptico 82' que tiene la forma de un prisma, que ha sido combinado con el objetivo 50 de modo que forme una unidad modular 84 de tal manera que el objetivo 50 y el segundo componente óptico 82' están dispuestos de manera no ajustable entre sí. Alternativamente, el segundo componente óptico 82' puede tener la forma de un elemento óptico en forma de cuña. El segundo componente óptico 82' y el objetivo exhiben, en combinación, tales propiedades que el haz de luz 46a, 46b, 46c dividido es encaminado de tal manera al pasar a través de la unidad modular 84 que las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 situadas equidistantes entre sí en el espacio k, de distintas regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 del espectro 66 del haz de luz 46 son enfocadas a diferentes focos 78a, 78b, 78c, cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio configuración.

10 En la fig. 10a el segundo componente óptico 82' está dispuesto aguas arriba del objetivo 50 en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c. En este caso el segundo componente óptico 82' tiene la forma de un accesorio de objetivo. En la fig. 10b, por otro lado, el segundo componente óptico 82' está dispuesto aguas abajo del objetivo 50 en el trayecto de haz del haz de luz 46a, 46b, 46c.

15 El primer componente óptico 48, el objetivo 50, el sensor 54, los elementos sensores 54a, 54b, 54c, la unidad modular indicada por 84 y/o todos los demás componentes 40, 42, 44 del instrumento espectroscópico 38 pueden haber sido formados como tales sobre una placa base 88 del instrumento espectroscópico 38 de una manera posicionalmente ajustable con la ayuda de medios de ajuste 86 previstos para ello, tales como carriles, mesas deslizantes, articulaciones de barra, postes de espejo, etapas de traslación o etapas de rotación. En particular, las posiciones y/u orientaciones mutuas del primer componente óptico 48, del objetivo 50, del sensor 54, de los elementos sensores 54a, 54b, 54c y/o de la unidad modular 84 entre uno y otro son ajustables, en particular manualmente. Por otro lado, los componentes 74 y 76 o 50 y 82' de las unidades modulares 48 y 84, respectivamente, han sido conectados firmemente entre sí previamente de tal manera que la posición y/u orientación relativa de los mismos no es/no son ajustables.

20 En la primera realización y en los ejemplos mostrados en las figs. 6 a 10b las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores 54a, 54b, 54c, del sensor 54 están diseñados para ser igual de grandes. Además, los centros de las superficies sensibles a la luz están dispuestos equidistantes entre sí en el espacio de configuración.

25 En la fig. 11 se ha mostrado una segunda realización del instrumento espectroscópico 38. En este caso el objetivo 50 tiene la forma de un objetivo convencional. El objetivo 50 exhibe tales propiedades de formación de imagen que el haz de luz 46a, 46b, 46c dividido por el primer componente óptico 48 es encaminado por el objetivo 50 de tal manera que las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 , situadas equidistantes entre sí en el espacio k, de distintas regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 son enfocadas a diferentes focos 78a, 78b, 78c cuyos centros están situados de forma no equidistante unos con respecto a otros en el espacio de configuración. Por otro lado, en esta realización los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensibles a la luz 54a, 54b, 54c del sensor 54 están dispuestos de acuerdo con los focos 78a, 78b, 78c a los que el objetivo 50 enfoca las medianas Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 situadas equidistantes entre sí en el espacio k de distintas regiones espectrales B_1 , B_2 , B_3 sobre el lado de la imagen. A este respecto los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores 54a, 54b, 54c están situados de manera no equidistante entre sí en el espacio de configuración. Las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores 54a, 54b, 54c son grandes de forma variable.

REIVINDICACIONES

1. Instrumento espectroscópico (38), que incluye:

un primer componente óptico (48) configurado para dividir de manera espacial espectralmente un haz de luz (46) policromática que incide sobre el primer componente óptico (48),

5 en donde el primer componente óptico (48) exhibe una dispersión angular ($d\theta/dk$), en cuyo caso un ángulo de refracción (θ) del haz de luz (46a, 46c) que emerge del primer componente óptico (48) en relación con el haz de luz (46) que entra en el primer componente óptico (48) depende de manera no lineal sobre el número de onda (k),

un objetivo (50) configurado para encaminar distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido sobre diferentes regiones espaciales (52a, 52b, 52c), en donde el objetivo (50) está dispuesto en relación con el primer componente óptico (48) de tal manera que el primer componente óptico (48) está ubicado en el centro de una pupila de entrada del objetivo (50), y en donde el objetivo (50) está configurado para encaminar el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido por el primer componente óptico de tal manera que las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) están enfocadas a diferentes focos (78a, 78b, 78c), cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración, y

15 un sensor (54), situado aguas abajo del objetivo (50) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido, con una pluralidad de elementos sensores (54a, 54b, 54c) sensibles a la luz,

estando dispuestos los elementos sensores (54a, 54b, 54c) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido, configurado cada elemento sensor (54a, 54b, 54c) para registrar la intensidad de un sector espectral (A_1, A_2, A_3) del haz de luz (46) y las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3) de los sectores espectrales (A_1, A_2, A_3) están situadas equidistantes entre sí en el espacio k , donde k indica el número de onda.

2. Un instrumento espectroscópico (38) según la reivindicación 1, en donde el objetivo (50) exhibe las propiedades de formación de imagen cromática lateral.

3. Un instrumento espectroscópico (38) según la reivindicación 1 o 2, en donde el objetivo (50) está dispuesto en relación con el primer componente óptico (48) de tal manera que el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido pasa a través del objetivo (50) sustancialmente por encima de un plano (82) en el cual está situado un eje óptico (80) del objetivo (50).

4. Un instrumento espectroscópico (38) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el objetivo (50) está dispuesto en relación con el primer componente óptico (48) de tal manera que un eje óptico (80) del objetivo (50) está inclinado en relación con la dirección de propagación (k_2) de un tren de ondas del haz de luz (46b) dividido que representa la mediana (Mk_2) del espectro completo (66) del haz de luz (46) en el espacio k .

5. Un instrumento espectroscópico (38) según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el objetivo (50) está configurado para enfocar un haz de rayos (46a, 46b, 46c) sustancialmente colimado del haz de luz (46) dividido que emana desde el primer componente óptico (48) sobre el lado del objeto a un foco (78a, 78b, 78c) sobre el lado de la imagen después de pasar a través del objetivo (50), aumentando una separación lateral (D_a, D_c) del foco (78a, 78b, 78c) desde un eje óptico (80) del objetivo (50) linealmente con el ángulo de incidencia (δ_1, δ_3) con un ángulo creciente de incidencia (δ_1, δ_3) en el que el haz de rayos (46a, 46c) es incidente en el objetivo (50) en relación con el eje óptico (80) del objetivo 50.

6. Un instrumento espectroscópico según una de las reivindicaciones precedentes, en donde los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores del sensor están dispuestos equidistantes entre sí.

7. Un instrumento espectroscópico (38), que incluye:

40 un primer componente óptico (48) configurado para dividir de manera espacial espectralmente un haz de luz (46) policromática que incide sobre el primer componente óptico (48),

en donde el primer componente óptico (48) exhibe una dispersión angular ($d\theta/dk$), en cuyo caso un ángulo de refracción (θ) del haz de luz (46a, 46c) que emerge desde el primer componente óptico (48) en relación con el haz de luz (46) que entra en el primer componente óptico (48) depende de manera no lineal sobre el número de onda (k),

45 un objetivo (50) configurado para encaminar distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido sobre diferentes regiones espaciales (52a, 52b, 52c), en donde el objetivo (50) exhibe tales propiedades de formación de imágenes que el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido por el primer componente óptico (48) es encaminado por el objetivo (50) de tal manera que las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) están enfocadas a diferentes focos (78a, 78b, 78c), cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración, y

un sensor (54), situado aguas abajo del objetivo (50) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido, con

una pluralidad de elementos sensores (54a, 54b, 54c) sensibles a la luz,

estando dispuestos los elementos sensores (54a, 54b, 54c) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido, estando cada elemento sensor (54a, 54b, 54c) configurado para registrar la intensidad de un sector espectral (A_1, A_2, A_3) del haz de luz (46) y las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3) de los sectores espectrales (A_1, A_2, A_3) están situadas equidistantes entre sí en el espacio k , donde k indica el número de onda, en donde los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores (54a, 54b, 54c) del sensor (54) están dispuestos espacialmente de acuerdo con los centros de los focos (78a, 78b, 78c) a los que el objetivo (50) enfoca las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) sobre el lado de la imagen.

8. Sistema (10) para tomografía de coherencia óptica (OCT), que comprende:

un instrumento espectroscópico (38) según una de las reivindicaciones 1 a 7,

una fuente de luz (14) configurada para proporcionar luz policromática coherente (16),

un divisor de haz (18) configurado para acoplar la luz policromática coherente (16) a un brazo de referencia (24) y a un brazo de espécimen (28), para superponer la luz (22, 26) retro-dispersada desde el brazo de referencia (24) y desde el brazo de espécimen (28) de modo que forme un haz (36) de luz policromática, y acoplar el haz (36) de luz policromática en el instrumento espectroscópico (38) con el propósito de un análisis espectral.

9. Proceso para análisis espectral que comprende las siguientes operaciones:

división espectral espacial de un haz (46) de luz policromática que incide sobre un primer componente óptico (48),

en donde el primer componente óptico (48) exhibe una dispersión angular ($d\theta/dk$), en cuyo caso un ángulo de difracción (θ) del haz de luz (46a, 46c) que emerge desde el primer componente óptico (48) en relación al haz de luz (46) que entra en el primer componente óptico (48) depende de manera no lineal del número de onda (k),

encaminando una pluralidad de regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido sobre una pluralidad de diferentes regiones espaciales (52a, 52b, 52c) con la ayuda de un objetivo (50),

en donde el objetivo (50) está dispuesto en relación con el primer componente óptico (48) de tal manera que el primer componente óptico (48) está ubicado en el centro de una pupila de entrada del objetivo (50), y

en donde el objetivo (50) está configurado para encaminar el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido por el primer componente óptico de tal manera que las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) están enfocadas a diferentes focos (78a, 78b, 78c) cuyos centros están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración, y

registrando una o más intensidades desde el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido con la ayuda de un sensor (54) dispuesto aguas abajo del objetivo (50) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) con una pluralidad de elementos sensores (54a, 54b, 54c) sensible a la luz, estando cada elemento sensor (54a, 54b, 54c) configurado para registrar la intensidad de un sector espectral (A_1, A_2, A_3) del haz de luz (46) y estando las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3) de los sectores espectrales (A_1, A_2, A_3) situadas equidistantes entre sí en el espacio k , donde k indica el número de onda.

10. Proceso para análisis espectral, que comprende las siguientes operaciones:

división espectral espacial de un haz (46) de luz policromática que incide sobre un primer componente óptico (48),

en donde el primer componente óptico (48) exhibe una dispersión angular ($d\theta/dk$), en cuyo caso un ángulo de difracción (θ) del haz de luz (46a, 46c) que emerge desde el primer componente óptico (48) en relación con el haz de luz (46) que entra en el primer componente óptico (48) depende de manera no lineal del número de onda (k),

encaminando una pluralidad de regiones espectrales del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido sobre una pluralidad de diferentes regiones espaciales (52a, 52b, 52c) con la ayuda de un objetivo (50),

en donde el objetivo (50) exhibe tales propiedades de formación de imágenes que el haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido por el primer componente óptico (48) es encaminado por el objetivo (50) de tal manera que las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1, B_2, B_3) son enfocadas a diferentes focos (78a, 78b, 78c) cuyos centros no están situados equidistantes entre sí en el espacio de configuración, y

registrando una o más intensidades del haz de luz (46a, 46b, 46c) dividido con la ayuda de un sensor (54) dispuesto aguas abajo del objetivo (50) en el trayecto de haz del haz de luz (46a, 46b, 46c) con una pluralidad de elementos sensores (54a, 54b, 54c) sensibles a la luz, estando configurado cada elemento sensor (54a, 54b, 54c) para registrar la intensidad de un sector espectral (A_1, A_2, A_3) del haz de luz (46) y estando las medianas (Mk_1, Mk_2, Mk_3) de los sectores espectrales (A_1, A_2, A_3) situadas equidistantes entre sí en el espacio k , donde k indica el número de onda, en donde los centros de las superficies sensibles a la luz de los elementos sensores (54a, 54b, 54c) del sensor (54) están dispuestos

espacialmente de acuerdo con los centros de los focos (78a, 78b, 78c) a los que el objetivo (50) enfoca las medianas (Mk_1 , Mk_2 , Mk_3), situadas equidistantes entre sí en el espacio k , de distintas regiones espectrales (B_1 , B_2 , B_3) sobre el lado de la imagen.

FIG 1

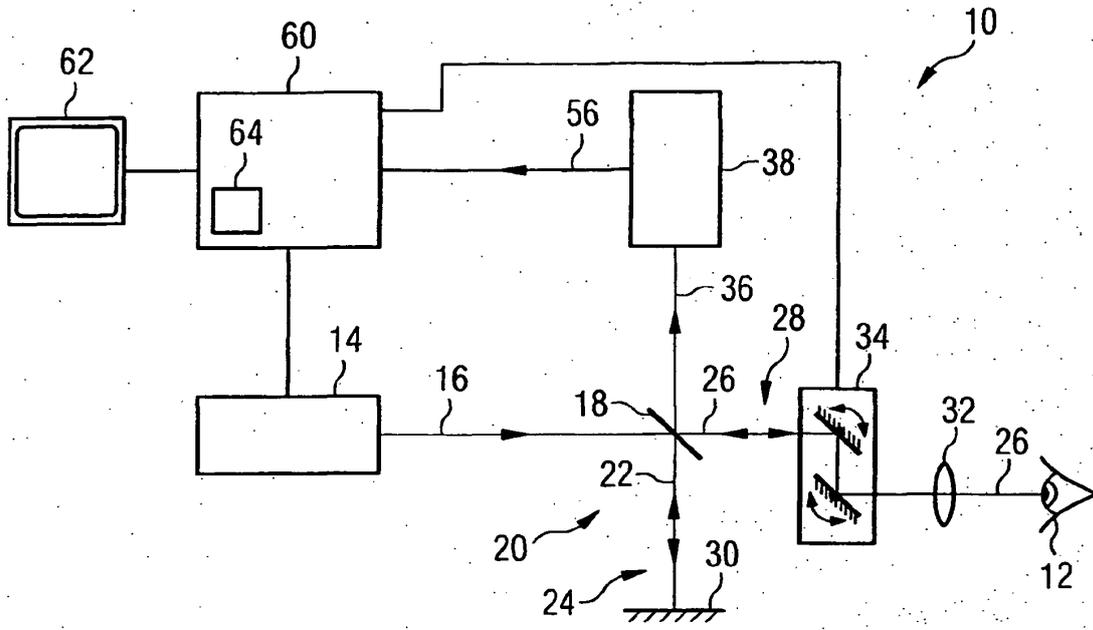


FIG 2

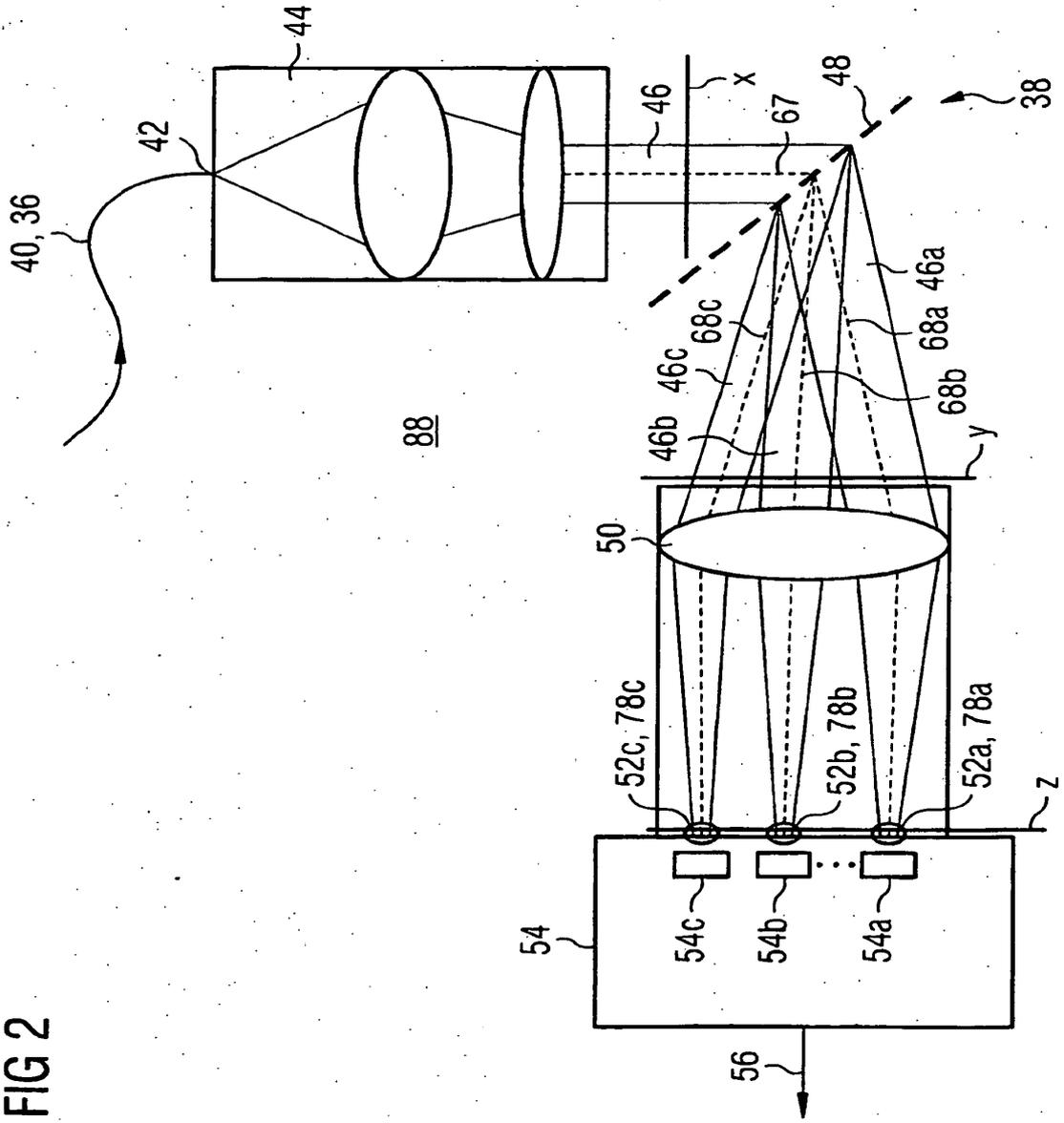


FIG 3a

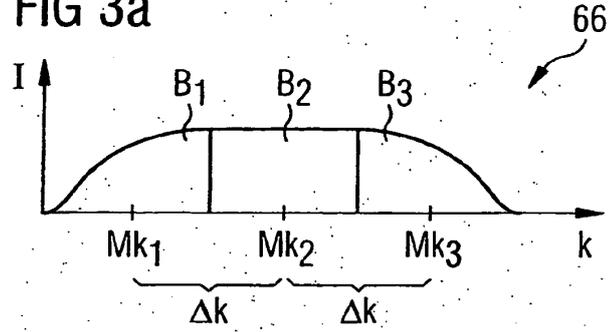


FIG 3b

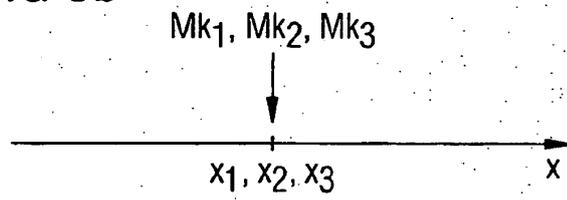


FIG 3c

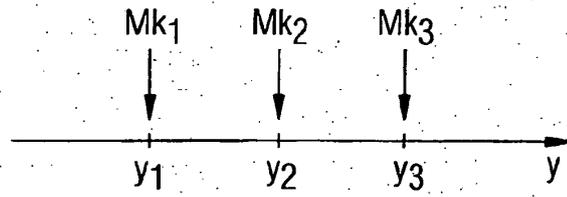


FIG 3d

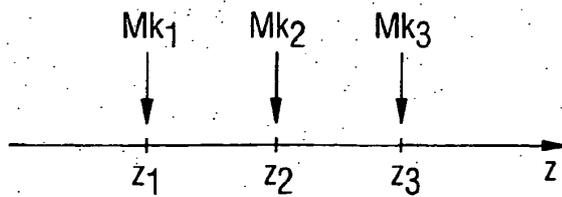
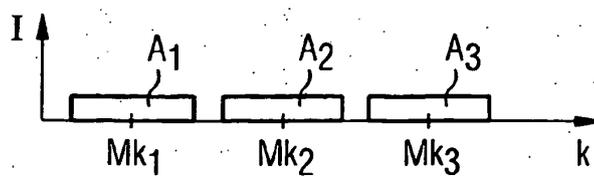
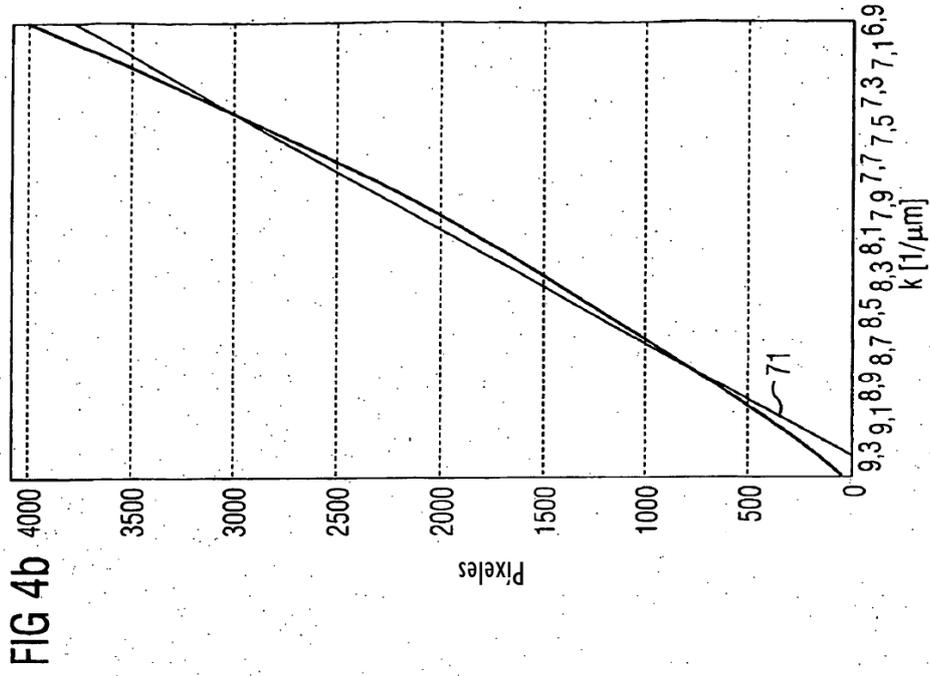
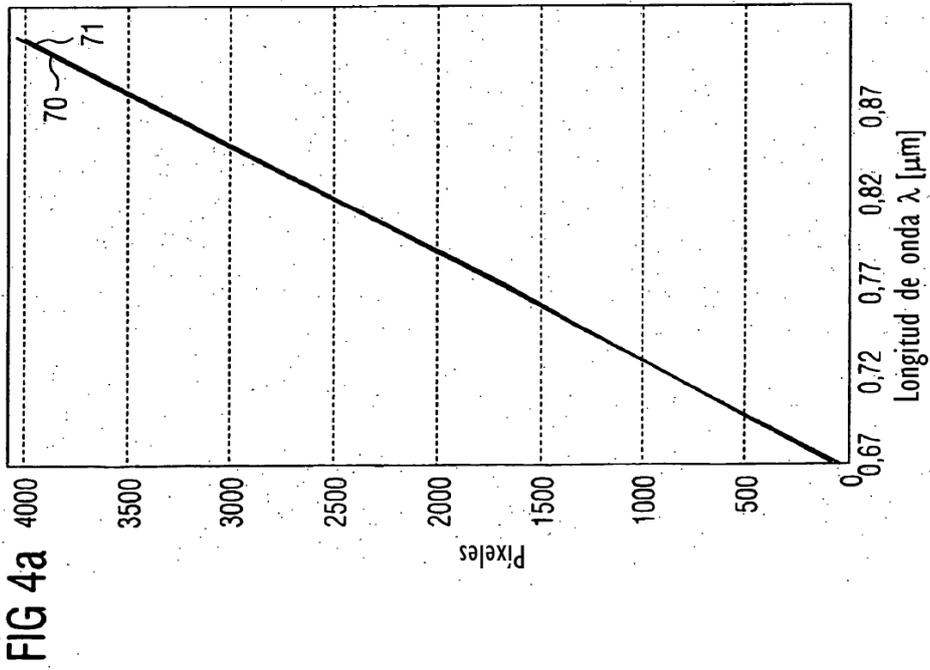


FIG 3e





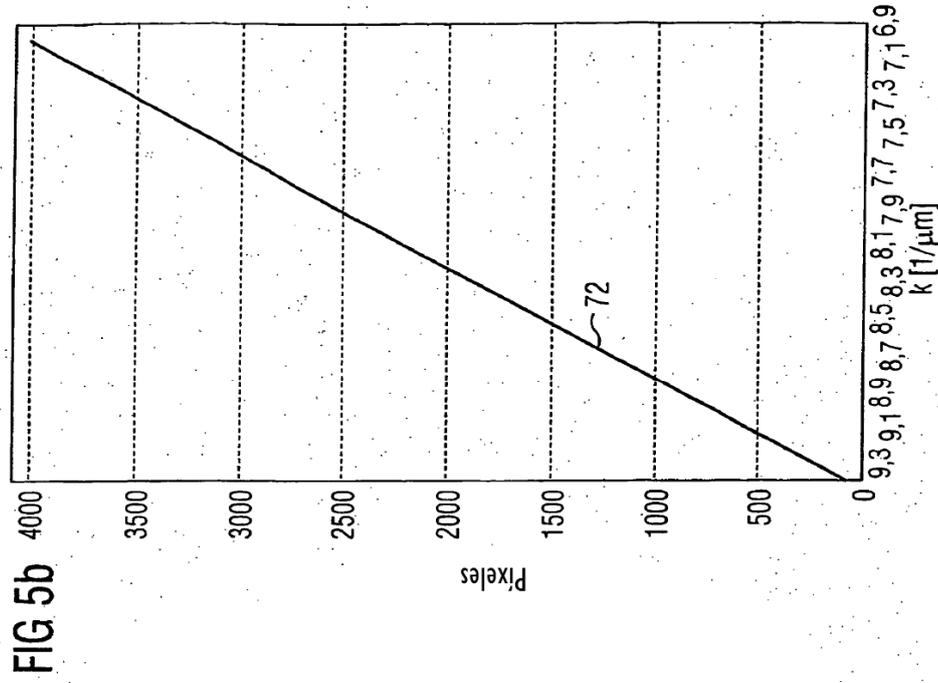
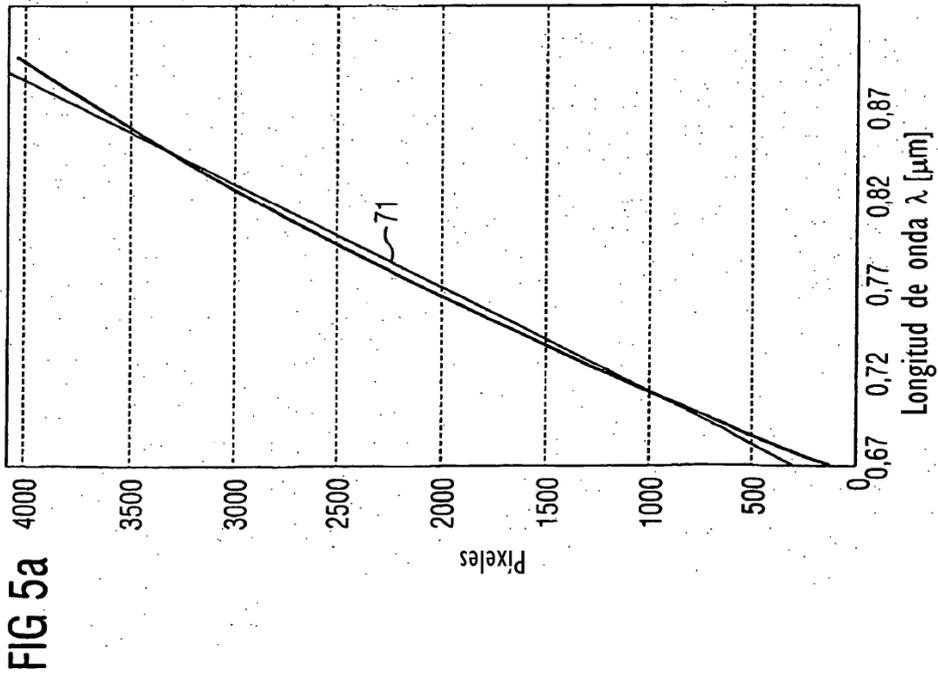


FIG 6

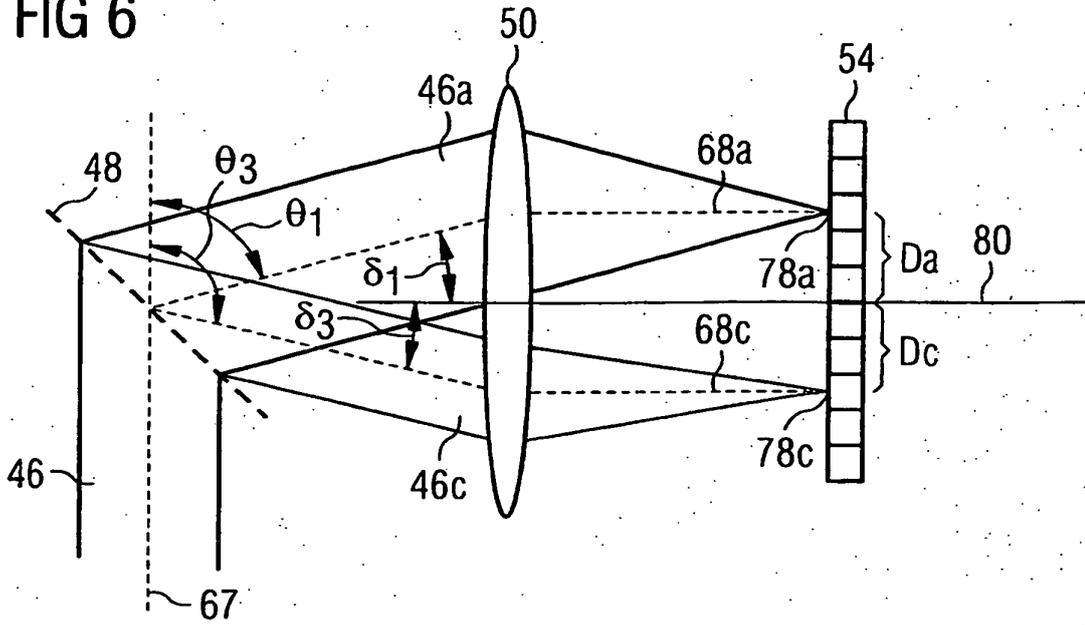


FIG 7

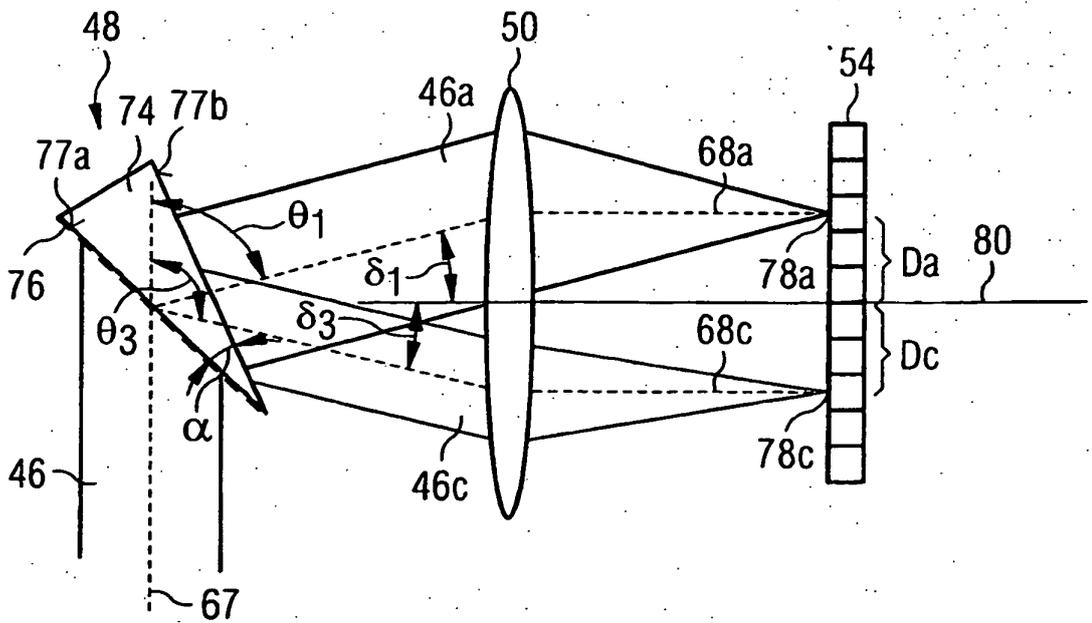


FIG 8

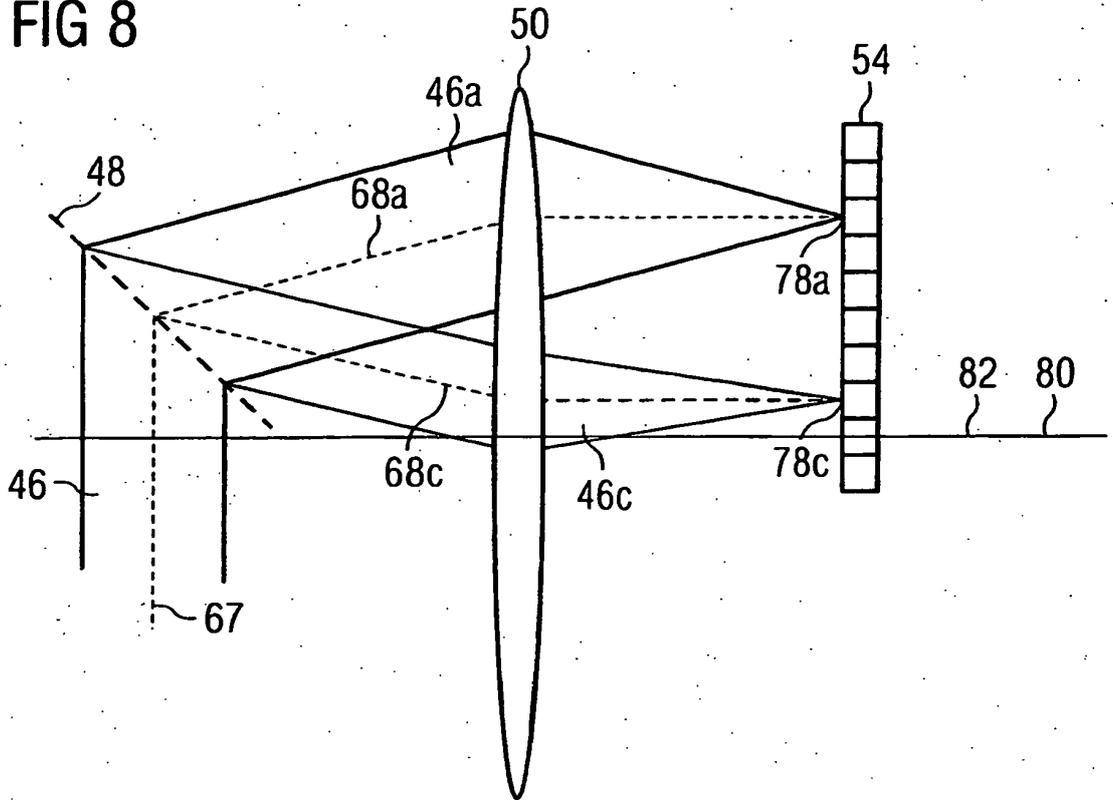


FIG 9

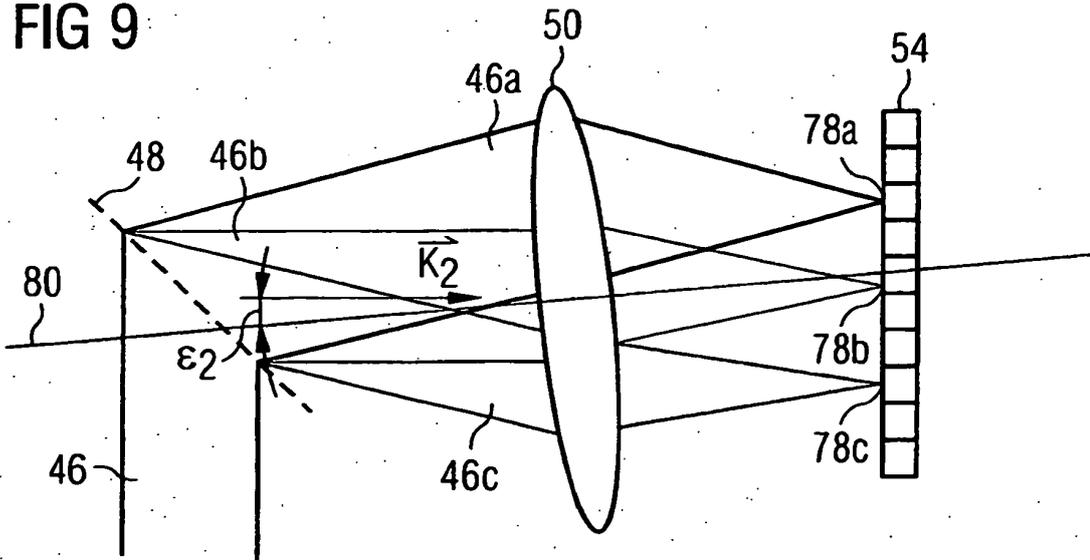


FIG 10a

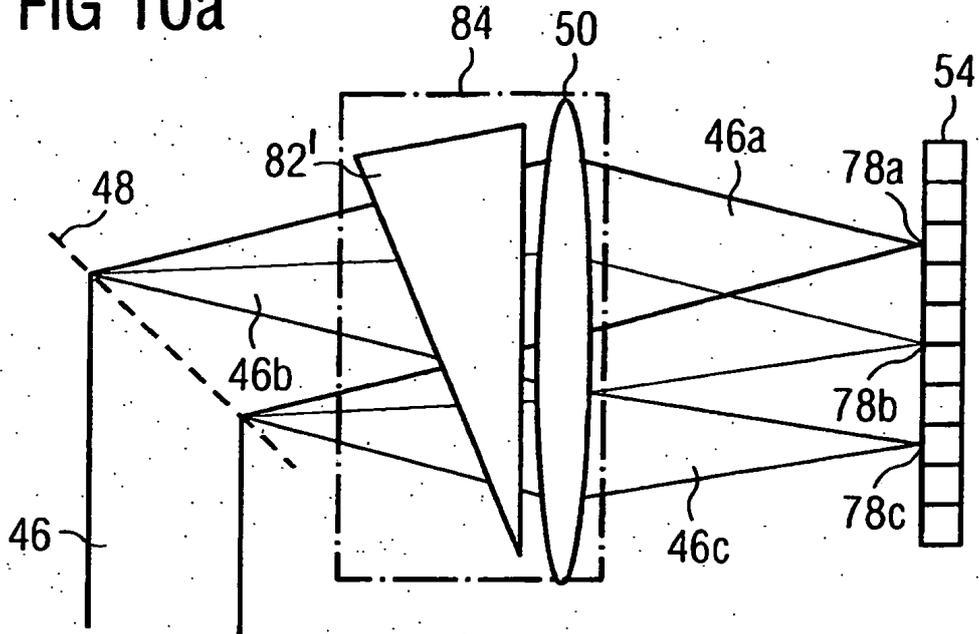


FIG 10b

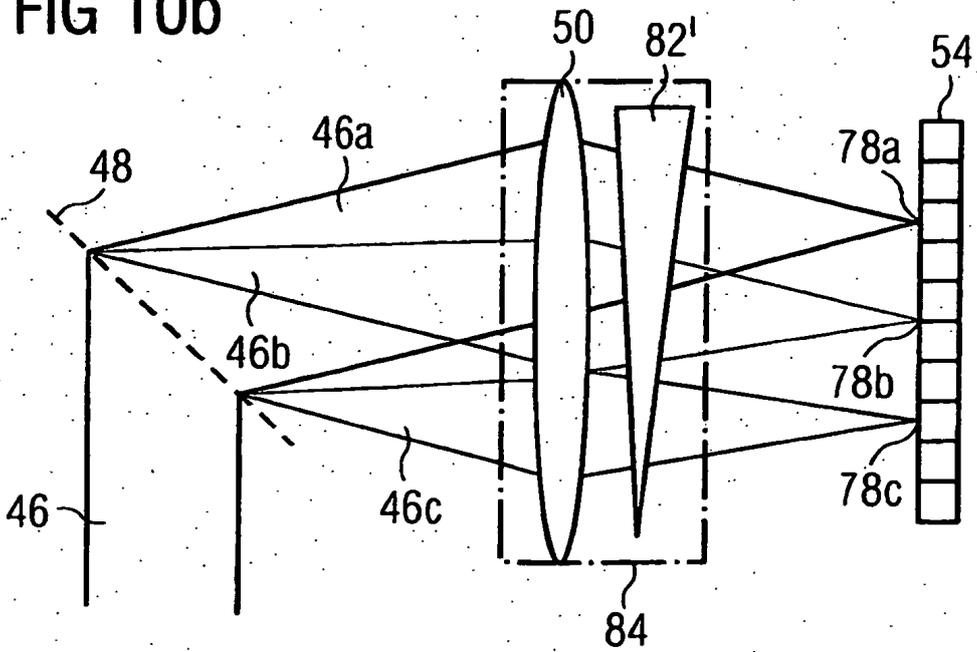


FIG 11

