



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 306 923**

(51) Int. Cl.:

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 21/00 (2006.01)

G02B 23/24 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03815393 .8**

(86) Fecha de presentación : **12.12.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1581833**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **05.10.2005**

(54) Título: **Cabeza óptica confocal miniaturizada con barrido integrado y sistema de imagen confocal utilizando dicha cabeza.**

(30) Prioridad: **20.12.2002 FR 02 16279**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2008

(73) Titular/es: **Mauna Kea Technologies**
9, rue d'Enghien
75010 Paris, FR

(72) Inventor/es: **Berier, Frédéric;**
Viellerobe, Bertrand;
Genet, Magalie;
Lacombe, François y
Santos, Pedro

(74) Agente: **Díaz Núñez, Joaquín**

ES 2 306 923 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

Cabeza óptica confocal miniaturizada con barrido integrado y sistema de imagen confocal utilizando dicha cabeza.

5 La invención presente se refiere a una cabeza óptica confocal, particularmente en miniatura, comprendiendo medios de barrido de haz integrado y un sistema de imagen confocal equipado con dicha cabeza.

Más precisamente, la presente invención se refiere a una cabeza óptica y un sistema óptico correspondiente, en los cuales un campo de reproducción de imágenes en una muestra es barrido punto por punto por una señal de excitación. Este tipo de sistema permite obtener, gracias a un tratamiento informático, una imagen confocal construida en tiempo real punto por punto. El carácter confocal se obtiene gracias a una filtración espacial que permite detectar una señal de retorno que únicamente proviene del punto excitado de la muestra que toma el mismo camino óptico que la señal de excitación.

15 Uno de los campos de aplicación referido es el de la imagen confocal de alta resolución, que permite observar y analizar un tejido biológico *in vivo in situ* en tiempo real, particularmente accesible vía el canal operador de un endoscopio o integrado en el endoscopio. La invención también puede aplicarse en los campos de dermatología o ginecología que necesitan una miniaturización menos potente de cabeza óptica. También puede incluso aplicarse en el campo de la electrónica por ejemplo para el control de semiconductores o materiales similares.

20 Según el primer tipo de sistema, particularmente descrito en la solicitud de patente WO 00/16151 se utiliza una guía de imagen, constituida por un haz de fibras ópticas flexibles, que contienen en su extremo distal una cabeza óptica de focalización destinada a estar en contacto con la muestra a analizar. Los medios de barrido del haz de excitación están situados en el extremo próximo de la guía de imagen previstos para barrer por turno las fibras. El carácter confocal reside aquí particularmente en el hecho de que la misma fibra óptica de la guía es utilizada para vehicular la señal de excitación y la señal de retorno emitida. Este tipo de sistema presenta la ventaja de una cabeza óptica simplificada desde el punto de vista mecánico y que contiene así esencialmente medios ópticos de focalización que pueden ser miniaturizados. En cambio, presenta ciertos inconvenientes, vinculados a la utilización de una matriz de fibras ópticas, particularmente el problema de la preparación de muestras del tejido (continuidad entre los puntos de excitación correspondientes a la iluminación de una fibra), el problema de la inyección de las fibras una a una y reflexiones parásitas a la entrada y a la salida de la guía de imagen, el tratamiento sofisticado informático de la imagen necesaria para corregir luego el motivo de las fibras sobre la imagen, etc.

35 Según otro tipo de sistema conocido, los medios de barrido del haz están situados en la cabeza óptica en el extremo distal de una guía de imagen que comprende una única fibra óptica y flexible. El carácter confocal se obtiene aquí gracias al hecho de que la fibra óptica se utiliza para vehicular la señal de excitación y de retorno emitida con un diámetro de núcleo apropiado de la fibra.

40 Los inconvenientes de este tipo de sistema están entonces esencialmente vinculados a las dificultades para miniaturizar la cabeza, a la reproducibilidad y la fiabilidad de los medios mecánicos utilizados para realizar el barrido del haz emergente de la fibra óptica.

45 El documento US 6.091.067 describe un sistema de barrido en el cual una fibra óptica está fijada sobre dos posicionadores piezoeléctricos bimorfos, uno de los posicionadores está colocado en la dirección axial de la fibra y la otra en la dirección perpendicular al eje óptico. Los posicionadores, para ofrecer un movimiento apropiado de un eje con relación al campo de observación, deben presentar una longitud determinada. Perpendicularmente al eje de la fibra óptica, esta contracción de longitud conduce de hecho a un diámetro de cabeza óptica demasiado importante para las aplicaciones *in vivo in situ* referidas según la invención presente.

50 Varios documentos describen cabezas ópticas en miniaturas confocales que ponen en ejecución micro espejos de tipo micromecánico (MEMs).

55 La solicitud de patente US 2002/0018276 describe un sistema confocal en miniatura que utiliza una fibra óptica. La luz que sale de la fibra se refleja sobre la parte metalizada de una lente. Esta luz va luego a reflejarse sobre un micro espejo MEMs en dos dimensiones que rodea la fibra. La luz es enviada entonces hacia la muestra vía un sistema óptico. La luz que vuelve de la muestra sigue el camino inverso y vuelve a pasar por la fibra que sirve de filtración espacial. El sistema es en miniatura, presentando 2 mm de diámetro y 2,5 mm de longitud.

60 Las patentes US 6.154.305, US 6.088.145, US 6.007.208, US 5.907.425 y US 5.742.419, describen una cabeza confocal en la cual el barrido del campo de observación está realizado por dos micro espejos MEMs pivotados electrostáticamente. La cabeza propuesta es miniaturizable pero en cambio ofrece un campo de observación de 60 x 60 Pm demasiado pequeño con relación a las aplicaciones referidas según la invención que corresponde a un campo como mínimo de 100 x 100 Pm para poder observar por ejemplo varios huesos de 5 Pm de diámetro espaciados en general por varias decenas de Pm. El número de imagen por segundo de 5 a 8 es todavía insuficiente por otro lado para un tratamiento de imágenes en tiempo real (que necesita un mínimo de 10 a 12 imágenes por segundo en el modo más lento de 640 líneas). Por otro lado todavía, el campo de observación se encuentra paralelo al eje de la fibra óptica, lo que puede conducir a dificultades prácticas de utilización (posicionamiento correcto de la sonda).

Las patentes US 6.172.789 y US 6.057.952 describen una cabeza óptica confocal con un campo de observación esta vez en el eje de la fibra óptica y que permite un arreglo de la profundidad del plano de observación. Los medios de barrido comprenden un espejo móvil y un espejo fijo. El espejo móvil tiene una abertura en su centro, y es de tipo MEMs, montado para poder pivotar por lo menos según una dirección. Las superficies de reflexión de los espejos móviles y fijos están situadas cara a cara. La luz que sale de la fibra óptica pasa a través de la abertura del espejo móvil, luego se refleja por el espejo fijo en dirección al espejo móvil. Encontramos particularmente los inconvenientes siguientes con dicha construcción de cabeza: un coste importante para el espejo móvil perforado en el centro, y también la velocidad de barrido de dicho espejo MEMs en dos dimensiones que no es suficiente para un tratamiento de imágenes en tiempo real.

De manera general, como en el documento US 2002/0018276, el cambio de dirección del haz óptico por reflexiones sucesivas sobre microespejos conlleva defectos ópticos complicados de corregir, particularmente de distorsión o de curvatura de campo.

La invención presente tiene por objeto paliar estos inconvenientes y proponer una cabeza óptica que sea de alta resolución, confocal (ofreciendo una resolución óptica axial sensiblemente de 1 a 2 μm) y que contiene medios integrados de barrido de un haz de excitación. Según otros objetivos, la cabeza óptica debe poder ser miniaturizada (no sobrepasando los 3 mm de diámetro total), permitir la realización de una imagen en tiempo real (por lo menos 10 imágenes/s) y cubrir un campo de reproducción de imágenes del orden de por lo menos 100 x 100 μm y preferentemente de 150x150 μm .

Propone una cabeza óptica confocal en miniatura para un sistema de imagen confocal, particularmente endoscópica, dicha cabeza comprendiendo:

- una fuente puntual que produce un haz de excitación;

- medios ópticos adaptados particularmente a hacer converger dicho haz óptico en un punto de excitación situado en un plano subsuperficial con relación a la superficie de una muestra, dicho plano es perpendicular al eje óptico de la cabeza óptica; y

- medios de barrido de dicho punto de excitación para describir un campo de observación en dicho plano subsuperficial según dos direcciones perpendiculares de barrido, un barrido rápido en línea y un barrido lento en columna, caracterizada por medios micro sistemas mecánicos MEMs adaptados para desplazar en traslación según un movimiento escogido de por lo menos uno de los medios ópticos que es móvil según una dirección perpendicular a dicho eje óptico para obtener por lo menos una de dichas direcciones de barrido.

Según la invención, se realiza un barrido lateral de haz desplazando lateralmente con relación al eje óptico una de las ópticas de transmisión, el eje óptico de la cabeza óptica no se modifica así más que lateralmente y no angularmente como con ópticas de reflexión. Esto tiene como ventaja conservar una iluminación axial de la muestra y minimizar el diámetro de la cabeza óptica.

Los medios micro sistemas mecánicos pertenecen a la familia de los micro componentes, conocidos bajo el nombre genérico de MEMs, que permiten realizar barridos, conmutaciones, deflexiones (particularmente de espejos) etc., accionados bajo el impulso generalmente de un campo eléctrico.

Los medios MEMs que pueden ser utilizados según la invención son particularmente los siguientes:

- los actuadores electrostáticos que utilizan la fuerza de atracción entre dos cargas;

- los actuadores térmicos que utilizan un gradiente de temperatura o la diferencia de coeficiente de dilatación térmico entre dos materiales, una corriente eléctrica que crea por ejemplo la elevación de temperatura;

- los actuadores magnéticos que utiliza la fuerza resultante de la interacción de dos campos magnéticos; generalmente, se aplican un campo externo y un campo interno en los MEMs, por ejemplo una bobina que crea un campo externo cuando una corriente eléctrica la atraviesa.

Los MEMs presentan un tiempo de respuesta compatible con el desplazamiento de una óptica, particularmente una lente, sobre una distancia que corresponde, al aumento aproximado, a la dimensión del campo de reproducción de imágenes pretendida según la invención, a saber del orden de 150 μm , y a una velocidad que permite la elección de un barrido lento comprendido sensiblemente entre 10 y 15 Hz, correspondiente al barrido en columna del campo de reproducción de imágenes, o rápido sensiblemente de 4 kHz, correspondiente al barrido en línea del campo. Los MEMs tienen por otro lado dimensiones compatibles con una miniaturización de la cabeza óptica, del orden de 2 a 3 mm de diámetro total, como lo muestra la descripción detallada dada más posteriormente. Permiten imprimir un movimiento estable y respetable de las ópticas. Preferentemente, en este sentido, los medios MEMs utilizados según la invención están constituidos por medios de desplazamiento, por ejemplo pares de peines electrostáticos, dispuestos de manera diametralmente opuesta y accionados según diferentes modos, simultáneamente o alternativamente. También existen otros sistemas de MEMs en forma de anillo en la abertura de la cual una lente puede ser sujeta y funcionando también alternativamente para imprimir un movimiento en traslación de vaivén.

La fuente puntual puede ser conectada a la fibra óptica, y pues desviada: el extremo de una fibra óptica flexible conectada a una fuente láser está sujeto a la cabeza óptica. La fuente puede también estar constituida por un componente VCSEL ("Vertical-Cavity Semiconductor Emitting láser" en lengua inglesa) que es una fuente láser casi puntual que tiene una cavidad cuya salida mide algunos micrones de diámetro. En ambos casos, la dimensión de la fuente (diámetro de corazón de la fibra óptica o el diámetro de salida de la cavidad del componente VCSEL) es escogida para poder servir de orificio de filtración de la señal retro emitida y realizar una imagen confocal. Si se utiliza una fuente VCSEL, se coloca un detector justo detrás de la cavidad para construir la vía de detección. Por otro lado, la abertura numérica de la fuente, conectada a la fibra óptica o VCSEL, se escoge para recoger el máximo de fotones emitidos por cada punto luminoso de excitación, típicamente comprendida entre 0,2 y 0,4.

Los medios ópticos utilizados en la cabeza óptica comprenden generalmente primeros medios ópticos, colocados a una distancia focal escogida por la fuente puntual, adaptados para transformar el haz de excitación saliente de la fuente, que es divergente a causa de la abertura numérica de la fuente, en un haz paralelo o ligeramente divergente. Estos medios ópticos están constituidos por una lente o por un juego de lentes refractivas (estándares o con gradiente de índice y/o difractivas. Las lentes difractivas presentan la ventaja de ser más pequeñas y más ligeras. Segundos medios ópticos colocados a una distancia focal escogida por los primeros medios ópticos tienen como función luego enfocar el haz óptico en un punto de excitación situado en el plano subsuperficial de observación. Estos medios ópticos pueden también estar constituidos por una lente o por un juego de lentes refractivas y/o difractivas.

Preferentemente, se ponen en marcha medios MEMs según la invención para desplazar los primeros medios ópticos más que los segundos medios ópticos y a una frecuencia que permite realizar el barrido lento en columna. El barrido de los segundos medios ópticos conllevaría aberraciones ópticas suplementarias a causa de su gran abertura numérica sobre la muestra.

En cuanto al barrido rápido en línea, según la invención, éste puede ser realizado o desplazando la fuente, con ayuda por ejemplo de medios piezoeléctricos adaptados, o con una fuente fija y un desplazamiento de los segundos medios ópticos igualmente con la ayuda de medios MEMs apropiados y según una dirección perpendicular al desplazamiento de los primeros medios ópticos.

Un barrido suplementario en z, para modificar la profundidad de visualización, puede además estar previsto en la cabeza óptica según la invención, por ejemplo con ayuda de medios MEMs adaptados para desplazar uno de los medios ópticos móviles según el eje óptico de la cabeza óptica, o con ayuda de medios adaptados para modificar el rayo de curvatura de uno de los medios ópticos, preferentemente el más próximo de la muestra. Dicho barrido permite ventajosamente recrear por tratamiento informático una imagen en 3D.

La invención presente también propone un sistema de tratamiento de imágenes confocal que pone en marcha una cabeza óptica tal como la definida anteriormente. Según el primer ejemplo, el sistema comprende una fuente conectada a la fibra óptica. Según un segundo ejemplo, comprende una fuente de tipo VCSEL asociada con medios de detección integrados en la cabeza óptica y medios de enlace flexible entre dicha cabeza y medios de tratamiento informático de señal.

La invención presente será mejor comprendida y aparecerán otras ventajas más claramente a la luz de la descripción que va a seguir de ejemplos de realización, descripción hecha en referencia a los dibujos adjuntados sobre los cuales:

- la figura 1 es un esquema general de un ejemplo de sistema de imagen confocal conectado a la fibra óptica que pone en marcha la cabeza en miniatura según la invención;

- la figura 2 es una vista en corte de lado de una cabeza en miniatura según el primer ejemplo de realización;

- la figura 3 es un esquema óptico de la cabeza en miniatura de la figura 2; y

- la figura 4 es una vista similar a la figura 2 que ilustra el segundo modo de realización posible.

La figura 1 representa esquemáticamente un sistema de formación de imágenes confocal fibrado que puede incluir una cabeza en miniatura según la invención.

El sistema comprende una fuente 1, por ejemplo una fuente láser, adaptada para emitir una señal de excitación a una longitud de onda capaz de generar en una muestra una señal de retorno de fluorescencia o de retrodifusión, dicha señal es transportada por una primera fibra óptica monomodo 2a hasta medios de acoplamiento 3, por ejemplo un acoplador 50/50 de fibra, previstos para dirigir la señal de excitación que proviene de la fuente 1 en una fibra óptica monomodo 2b al final de la cual se encuentra la cabeza óptica en miniatura 4 según la invención y para dirigir la señal de retorno que proviene del lugar excitado hacia medios de detección 5, por ejemplo un fotodetector, con ayuda de una tercera fibra óptica monomodo 2c. El sistema comprende medios 6 electrónicos de control, de dirección y de sincronización, permitiendo pilotar la fuente 1, los medios de barrido de la cabeza óptica 4 y los medios de detección 5, de manera sincronizada, con el fin de conocer particularmente el emplazamiento de la señal en la muestra para permitir la construcción de una imagen en tiempo real. El sistema comprende además medios 7 electrónicos de amplificación, de conformación y de conversión A/N de la señal detectada por los medios de detección 5, medios 8 informáticos que comprenden una tarjeta de adquisición y una tarjeta gráfica y medios de fijación 9 de las imágenes obtenidas.

Este sistema funciona globalmente de la manera siguiente: la cabeza óptica en miniatura 4 se pone en contacto con una muestra que hay que analizar, por ejemplo vía el canal operador de un endoscopio. La fuente 1 envía una señal de excitación a una longitud de onda escogida en la porción de fibra 2a. El acoplador 3 dirige la señal de excitación en la porción de fibra 2b conduciendo la señal en la cabeza óptica 4 donde es barrido y enfocado sobre una superficie de análisis (o campo de análisis) en un plano de la muestra perpendicular al eje óptico definido por la fibra óptica 2b, a una profundidad determinada en la muestra. Una señal de retorno procedente de la superficie barrida en la muestra sigue el camino inverso de la señal de excitación hasta el acoplador 3: es captada por los medios ópticos de la cabeza óptica 4, reacoplada en la porción de fibra 2b, luego dirigida por el acoplador 3 en la porción de fibra 2c hacia el detector 5. La señal detectada es ampliada y convertida en una señal numérica, luego tratada de manera informática por constituir para acabar un elemento de imagen fijada en tiempo real.

La cabeza en miniatura según la invención es ahora descrita detalladamente en referencia al ejemplo de realización escogido y representado en la figura 2.

La cabeza comprende, en una estructura de soporte mecánico 15:

- medios de tipo piezoeléctricos 11 a los cuales está sujeta la porción terminal de la fibra óptica 2b, adaptados para desplazar esta parte terminal de fibra óptica, y pues el haz óptico saliente de la misma, sensiblemente en traslación de vaivén según un desplazamiento escogido DL, sensiblemente perpendicular al eje óptico A definido por la fibra óptica, y que corresponde a un desplazamiento sobre una línea de campo de reproducción de imágenes (estos medios piezoeléctricos son descritos posteriormente más detalladamente);

- primeros medios ópticos 12 adaptados para convertir el haz saliente de la fibra 2b que es divergente en un haz paralelo o ligeramente divergente, y que captan el haz de retorno nacido de la muestra; estos medios ópticos son según la invención móviles en traslación, para desplazar el haz óptico según un desplazamiento escogido, esquematizado según la flecha doble DC, perpendicularmente al desplazamiento DL, y correspondiente a un desplazamiento sobre una columna de campo de reproducción de imágenes;

- medios micromecánicos de tipo MEMs, 14a y 14b, adaptados para desplazar en vaivén los medios ópticos 12 según el desplazamiento DL (estos medios son descritos posteriormente más detalladamente);

- segundos medios ópticos fijos 13 adaptados para hacer converger dicho haz paralelo para enfocarlo en un punto o un punto luminoso S en un plano P de la muestra E examinada situado a una determinada profundidad y sensiblemente perpendicular al eje óptico A.

Los medios piezoeléctricos 11 y los medios MEMs 14a y 14b permiten así conjuntamente realizar el barrido del haz enfocado sobre el campo de reproducción de imágenes, los medios piezoeléctricos 11 sirven para realizar un barrido rápido en línea y los medios MEMs 14a y 14b sirven para realizar un barrido lento en columna.

La estructura de soporte mecánico 15 está constituida por un cuerpo hueco 16, por ejemplo por porta-ópticas tubular, con una ventanilla de impermeabilidad 17 en un extremo, destinada a estar en contacto con la muestra E, adaptada para ser atravesada por las señales de excitación y a cambio de retrodifusión o de fluorescencia, y con un paso en su otro extremo 18 para la porción terminal de la fibra óptica 2b y también para los medios piezoeléctricos 11. Una pared de lado 19 rodea el paso 18 para cerrar la cabeza óptica de manera estanca. Los medios ópticos fijos 13 están fijados y centrados con relación al eje óptico A en el interior del cuerpo 16, y los medios ópticos móviles 12 están conectados a la cara interior del cuerpo 16 vía los medios MEMs 14a y 14b como se explica después más detalladamente.

La fibra óptica 2b acoplada a la cabeza óptica es preferentemente monomodo, permitiendo la iluminación de la muestra lo más homogénea posible. La abertura numérica de la fibra se escoge por ser la más grande posible para permitir una captación optimizada de fotones, y para permitir, conjuntamente con un diámetro de corazón apropiado, un acoplamiento de la señal de retorno en la fibra, y pues un filtrado espacial, que sea lo mejor posible. Típicamente, la abertura numérica es de 0,4 y el diámetro de corazón está comprendido entre 1 y 2 adaptación de índice μm . Esta elección de características para la fibra óptica, conjuntamente con las características de los medios ópticos 12 y 13, permiten realizar una filtración espacial de la señal de retorno que asegura la confocalidad del sistema.

Según el ejemplo escogido, los medios piezoeléctricos 11 están constituidos por un posicionador piezoeléctrico que presenta una superficie sobre la cual está sujeta, por ejemplo por encolado, la parte terminal de la fibra óptica 2b con una porción de extremo de la fibra que sobrepasa. Este posicionador 11 es doble, llamado también bimorfo, que tiene la particularidad de deformarse cuando se le aplica una tensión eléctrica que permite desplazar la fibra óptica entre una posición no excitada o de descanso del posicionador y una posición excitada correspondiente a la excitación del posicionador. El posicionador 11 se escoge de forma que presenta un desplazamiento entre estas dos posiciones que corresponden, al aumento aproximado, a la anchura del campo de reproducción de imágenes en la muestra. Además, el posicionador 11 se escoge para poder ser excitada a una frecuencia que permite realizar el barrido rápido deseado en línea de la muestra. Además, para un posicionador de longitud determinada y compatible al máximo con una miniaturización, una amplitud de barrido máximo, puede ser obtenida excitando el posicionador en su frecuencia de resonancia. Típicamente, un posicionador de 7,5 mm de longitud, excitada con una tensión sinusoidal de excitación de 60V, permite alcanzar una frecuencia de resonancia de 4kHz, permitiendo realizar un barrido línea a una velocidad

adaptada a la formación de imagen en tiempo real (por lo menos 10 imágenes/s), sobre un campo de reproducción de imágenes de 150 Pm de anchura (con un engrandecimiento unitario). Esta longitud es compatible con la dimensión total máxima para la cabeza sensiblemente de 30 mm. La anchura del posicionador (dimensión perpendicularmente a la fibra óptica) no influye ni en la resonancia, ni en la amplitud de barrido. Típicamente, la anchura del posicionador puede ser de algunas centenas de micrones, no sobrepasando el diámetro total máximo exterior previsto para la cabeza, sensiblemente de 2 a 3 mm. Para tener en cuenta un aumento superior a 1, para una dimensión de campo de reproducción de imágenes determinado, podemos escoger un posicionador piezoeléctrico de mayor longitud para tener un desplazamiento mayor y que posea una mayor tensión de excitación (100V a 120V). El sistema comprende además los medios de seguridad necesarios para la utilización de tensiones eléctricas de esta orden para aplicaciones *in vivo*.

Los medios MEMs 14a y 14b sirven para desplazar lateralmente los medios ópticos móviles 12 en una dirección perpendicular a la del movimiento de la fibra concedido por los medios piezoeléctricos. Más particularmente según el ejemplo escogido y representado sobre las figuras, los medios ópticos móviles 12 que están constituidos por una lente simple, los medios MEMs comprenden dos pares de peines 14a y 14b, diametralmente opuestos, cada par de peine comprende un peine sujeto a dicha lente 12 y un peine conectado con el cuerpo 16. Los peines son unos filamentos de semiconductor que están alineados y los dos peines de un par tienen filamentos que se superponen. El movimiento de la lente 12 se obtiene desplazando un peine con relación al otro gracias a un efecto electrostático. El movimiento transversal realizado gracias a los pares de peines es perpendicular al eje de la fibra. Se realiza a una frecuencia lenta (típicamente de 10 a 15 Hz) y permite realizar un tamaño de campo de reproducción de imágenes de 150 Pm escogiendo la amplitud apropiada de barrido.

La óptica móvil 12 tiene como función transformar el haz divergente emergente de la fibra óptica 2b en un haz paralelo o divergente. Debe responder a contracciones de dimensiones: su diámetro debe ser compatible con una miniaturización de la cabeza que debe presentar un diámetro total exterior de 2 a 3 mm como máximo. Debe responder a contracciones mecánicas y ser suficientemente sólida y resistente para poder ser solidaria con los medios MEMs 14 y accionada en traslación. También debe responder a contracciones ópticas: su diámetro debe suficientemente grande con relación al diámetro del haz proyectado para el campo de reproducción de imágenes que se quiere obtener (corremos peligro sino de observar defectos en el borde de campo (particularmente viñeteado); La abertura numérica de la óptica 12 debe ser por lo menos igual o preferentemente superior a la abertura numérica de la fibra para conservar la confocalidad de la cabeza y una optimización del número de fotones detectado en el curso del barrido. Se puede obtener como mínimo un diámetro de óptica de 1 mm con una abertura numérica superior a 0,4 (ON de la fibra óptica 2b), lo que es compatible con una cabeza en miniatura de 2 a 3 mm de diámetro exterior y el intercalado de los medios MEMs 14. En calidad de ejemplo, según un modo más simplificado, esta óptica 12 es una lente clásica pero podría también ser un doblete de lentes u otra óptica usual que permite conservar una medida y un peso compatibles con los objetivos buscados. En calidad de ejemplo de ópticas más sofisticadas, podemos utilizar una lente difractiva que utiliza la difracción para descomponer el frente de onda del haz incidente sobre diferentes zonas y que después de recombinación permite obtener el frente de onda buscado. Además, estas ópticas presentan las ventajas de una gran abertura numérica, poco estorbo, escaso peso y un coste bajo.

Los medios ópticos fijos 13 deben permitir enfocar el haz barrido en un punto luminoso S a una cierta profundidad en la muestra en un plano de focalización y recolectar un máximo de fotones que provienen de cada punto luminoso en el mismo plano de focalización. Las características de estos medios ópticos (particularmente el engrandecimiento y la abertura numérica) están definidas teniendo en cuenta especificaciones de la fibra óptica y los medios ópticos móviles 12 con el fin de asegurar la confocalidad al conjunto del sistema y también para minimizar las aberraciones ópticas que podrían ser engendradas por el barrido (distorsión, inestabilidad, diferencia de los medios ópticos móviles con relación al eje óptico, etc.).

La ventanilla de salida 17 es la última interfaz situada entre la cabeza óptica y la muestra. Tiene como función proteger las ópticas, y también hacer una adaptación de índice entre la cabeza y la muestra, particularmente gracias a un tratamiento de su cara externa por ejemplo para un índice de 1,33 igual al del agua. La ventanilla también puede estar constituida como variante de una lente que tiene una función de vergencia sobre el haz óptico.

Sobre la figura 3 se representa un esquema óptico de la cabeza que acaba de ser descrita según un ejemplo particular posible, ilustrando particularmente el barrido en línea de la muestra, sobre la cual la fibra 2b está representada clásicamente en su posición de descanso I y en dos posiciones laterales extremas II y III.

Las especificaciones ópticas son las siguientes:

- campo barrido: $2\Delta x = 400 \mu\text{m}$
- diámetro de núcleo de la fibra 2b: $\varnothing_{\text{núcleo}} = 1,3 \mu\text{m}$
- abertura numérica de la fibra 2b: $\text{ON} = \sin(\alpha_1) = 0,4$
- lente 12: difractiva
- focal de la lente 12 móvil: $f_{12} = 1,83 \text{ mm}$

ES 2 306 923 T3

- diámetro total de la lente 12: $\varnothing_{12} = 2 \text{ mm}$

- lente 13: difractiva

- focal de la lente fija 13: $f_{13} = 0,73 \text{ mm}$

- diámetro total de lente 13: $\varnothing_{13} = 1,6 \text{ mm}$,

- aumento del sistema óptico = $G = 2,5$

- campo de reproducción de imágenes = $2\Delta x \text{ objeto} = 160 \mu\text{m}$

- abertura numérica objeto = $ON \text{ objeto} = n \sin(\alpha_2) = 1$ (en el agua $n = 1,33$)

- diámetro de cada punto luminoso S enfocado en la muestra: limitado por la difracción sobre todo el campo de reproducción de imágenes.

En el ejemplo que acaba de ser descrito, los medios de barrido rápido en línea del punto luminoso de excitación se realizan con ayuda de una cala piezoeléctrica sobre la cual está fijado el extremo de la fibra óptica. Según una variante de realización posible, la fibra óptica es fija y la lente 13 es móvil, medios MEMs, similares a los medios 14a y 14b, son utilizados para desplazar la lente óptica 13 según una dirección perpendicular al movimiento de traslación de la óptica móvil 12 y según una frecuencia compatible con un barrido rápido en línea (4Khz). Como variante todavía, el barrido rápido puede ser realizado a la inversa desplazando la lente 12 y el barrido lento la lente 13.

Sobre la figura 4, se representa todavía una variante de realización de la cabeza óptica de la figura 2, los medios idénticos llevan las mismas referencias que en la figura 2. En esta variante, medios 16a y 16b, fijados por un lado sobre el tubo porta ópticos 15 y por el otro a la lente 13, se utilizan para desplazar dicha lente 13 según el eje óptico A de la cabeza, permitiendo ajustar la profundidad de visualización en la muestra, sensiblemente sobre algunas decenas de μm , esquematizada por la doble flecha Z. Esto permite ventajosamente realizar reconstrucciones en tres dimensiones de la muestra que se observa: hacemos diferentes adquisiciones de datos en dos dimensiones a diferentes profundidades y podemos luego reconstruir el volumen observado por tratamiento de datos. En otros casos, el ajuste de la profundidad de visualización puede permitir adaptarse ventajosamente a la muestra observada, a la profundidad óptima de visualización de la muestra. El desplazamiento de la óptica 13 en la dirección axial de la cabeza permite hacer converger el haz a una distancia diferente. Los medios 16a, 16b son de tipo Mems o piezoeléctricos.

En todavía variante de realización, la cabeza óptica puede comprender en el sitio de la fibra óptica 2b una fuente puntual de tipo VCSEL asociada a un detector situado justo detrás de la cavidad del VCSEL. En calidad de ejemplo, en referencia a la figura 3, las especificaciones ópticas siguientes pueden ser dadas:

- campo barrido: $2\Delta x = 400\text{-}600 \mu\text{m}$

- diámetro de la abertura de la cavidad VCSEL: $\varnothing_{\text{cavidad}} = 2\text{-}4 \mu\text{m}$

- abertura numérica de la cavidad VCSEL: $= \sin(\alpha_1) = 0,25$ (en el aire)

- lente 12: difractiva

- focal de la lente móvil 12: $f_{12} = 3 \text{ mm}$

- diámetro total de la lente 12: $\varnothing_{12} = 2 \text{ mm}$

- lente 13: difractiva

- focal de la lente fija 13: $f_{13} = 1,17 \text{ mm}$

- diámetro total de lente 13: $\varnothing_{13} = 1,6 \text{ mm}$

- aumento del sistema óptico: $G = 3$

- campo de reproducción de imágenes = $2\Delta x \text{ objeto} = 160\text{-}240 \mu\text{m}$

- abertura numérica objeto = $ON \text{ objeto} = n \sin(\alpha_2) = 0.75$ (en el agua $n = 1,33$)

- diámetro de cada punto luminoso S enfocado en la muestra: limitado por la difracción sobre todo el campo de reproducción de imágenes.

Referencias citadas en la descripción

Esta lista de referencias citadas por el solicitante únicamente pretende ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha tenido mucho cuidado en su concepción, no pueden ser excluidos errores u omisiones y el OEB declina toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patentes citadas en la descripción

- WO 0016151 A [0004]
- US 6091067 A [0007]
- US 20020018276 A [0009 [0012]]
- US 6154305 A [0010]
- US 6088145 A [0010]
- US 6007208 A [0010]
- US 5907425 A [0010]
- US 5742419 A [0010]
- US 6172789 B [0011]
- US 6057952 A [0011]

REIVINDICACIONES

1. Cabeza óptica confocal en miniatura (4) para un sistema de imagen confocal, particularmente endoscópica, al comprender dicha cabeza:

- una fuente puntual (2b) que produce un haz de excitación;

- medios ópticos (12, 13) adaptados particularmente para hacer converger dicho haz óptico en un punto de excitación (S) situado en un plano subsuperficial (P) con relación a la superficie de una muestra, dicho plano es perpendicular al eje óptico (A) de la cabeza óptica; y

- medios de barrido de dicho punto de excitación para describir un campo de observación en dicho plano subsuperficial según dos direcciones perpendiculares de barrido, un barrido rápido en línea y un barrido lento en columna, y

- medios micro sistemas mecánicos MEMs (14a-b), **caracterizada** porque estos medios MEMs están adaptados para desplazar en traslación según un desplazamiento escogido (Dc) por lo menos uno de los medios ópticos (12, 13) que es móvil según una dirección perpendicular a dicho eje óptico (A) de manera que se obtenga por lo menos una de dichas direcciones de barrido, y porque estos medios MEMs están adaptados para cooperar con el medio óptico móvil (12, 13) de una manera diametralmente opuesta y alternativamente.

2. Cabeza óptica según la reivindicación 1, **caracterizada** porque el barrido lento corresponde a una frecuencia sensiblemente de 10 a 15 Hz y el barrido rápido a una frecuencia sensiblemente de 4 kHz, para realizar una imagen a tiempo real.

3. Cabeza óptica según una de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizada** porque el haz óptico producido por la fuente (2b) es divergente, los medios ópticos (12, 13) comprenden sucesivamente primeros medios (12) adaptados para transformar dicho haz divergente en un haz paralelo o ligeramente divergente y segundos medios ópticos (13) adaptados para formar el punto de focalización subsuperficial (S).

4. Cabeza óptica según la reivindicación 3, **caracterizada** porque el primer medio óptico (12) es móvil, adaptada a realizar el barrido lento en columna del haz óptico.

5. Cabeza óptica según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** porque dos de los medios ópticos (12, 13) son móviles, adaptados para ser desplazados cada uno según una dirección perpendicular al eje óptico para definir cada uno una dirección de barrido.

6. Cabeza óptica según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada** porque la fuente (2b) es móvil, sujeta a medios de tipo piezoeléctricos (11) adaptados para desplazar el haz de excitación emitido por dicha fuente con un desplazamiento escogido (DL) para definir la segunda dirección de barrido.

7. Cabeza óptica según la reivindicación 6, **caracterizada** porque la segunda dirección de barrido y las características de los medios piezoeléctricos (11) corresponden a un barrido rápido en línea.

8. Cabeza óptica según la reivindicación 7, **caracterizada** porque los medios piezoeléctricos comprenden un posicionador piezoeléctrico bimorfo (11) que se extiende en longitud según el eje óptico (A) de la cabeza, dicha fuente (2b) está fijada sobre una de las caras de dicho posicionador en el extremo anterior de la posicionador con respecto a los medios ópticos (12, 13).

9. Cabeza óptica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada** porque comprende medios para modificar la profundidad del plano subsuperficial de observación (P) en la muestra.

10. Cabeza óptica según la reivindicación 9, **caracterizada** porque los medios para modificar la profundidad del plano subsuperficial de observación (P) en la muestra comprenden medios micromecánicos MEMs (16a-b) adaptados para desplazar algunos de los medios ópticos (13) según el eje óptico de la cabeza óptica.

11. Cabeza óptica según la reivindicación 10, **caracterizada** porque, los medios MEMs (16a-b) están adaptados para desplazar los segundos medios ópticos de focalización (13) para realizar el desplazamiento (Z) según el eje óptico del haz óptico.

12. Cabeza óptica según la reivindicación 9, **caracterizada** porque los medios para modificar la profundidad del plano subsuperficial de observación (P) comprenden medios para modificar el rayo de curvatura de uno de los medios ópticos.

13. Cabeza óptica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada** porque comprende la parte terminal de una fibra óptica (2b) adaptada para conducir la señal de excitación desde una fuente exterior, el haz emerge de la fibra que constituye la fuente puntual.

ES 2 306 923 T3

14. Cabeza óptica según la reivindicación 13, **caracterizada** porque la fibra óptica es monomodo con un diámetro de núcleo que permite una filtración espacial de la señal de retorno y asegurando pues la confocalidad de la cabeza, la fibra óptica presenta una abertura numérica lo más grande posible.

5 15. Cabeza óptica según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizada** porque la fuente es de tipo VCSEL, presentando una abertura numérica y un diámetro de salida de cavidad compatible con un sistema confocal, y asociado con un detector colocado detrás de la cavidad del VCSEL.

10 16. Cabeza óptica según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada** porque contiene una ventanilla de impermeabilidad (17) en la salida de la cabeza óptica destinada a entrar en contacto con la muestra y a realizar una adaptación de índice.

15 17. Cabeza óptica según la reivindicación 16, **caracterizada** porque la ventanilla tiene una función de vergencia sobre el haz óptico enfocado.

18. Cabeza óptica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada** porque los medios ópticos (12, 13) presentan una abertura numérica por lo menos igual a la abertura numérica de la fuente.

20 19. Sistema de imagen confocal que contiene:

- una cabeza (4) óptica confocal de focalización de barrido de haz integrado;

- una fuente (1,2a, 2b) adaptada para emitir un haz de excitación;

25 - medios de detección (5) de una señal emitida;

- medios electrónicos e informáticos de dirección y de tratamiento de la señal (6-9) emitidos adaptados para reconstruir una imagen confocal de un campo de reproducción de imágenes, **caracterizado** porque la cabeza óptica (4) es según una de las reivindicaciones precedentes.

30 20. Sistema según la reivindicación 19, **caracterizado** por una fibra óptica (2a) conectada a una fuente láser (1) y medios de acoplamiento (3) para acoplar dicha fibra (2a) con la fibra óptica de transporte (2b) hasta y desde la cabeza óptica (4) y una fibra de transporte (2c) de la señal emitida hasta los medios de detección.

35 21. Sistema según la reivindicación 19, **caracterizado** porque, la cabeza óptica comprende una fuente VCSEL y un detector integrado, el sistema comprende medios de enlace flexible entre la cabeza óptica y los medios de tratamiento de señal.

40

45

50

55

60

65

FIG.1

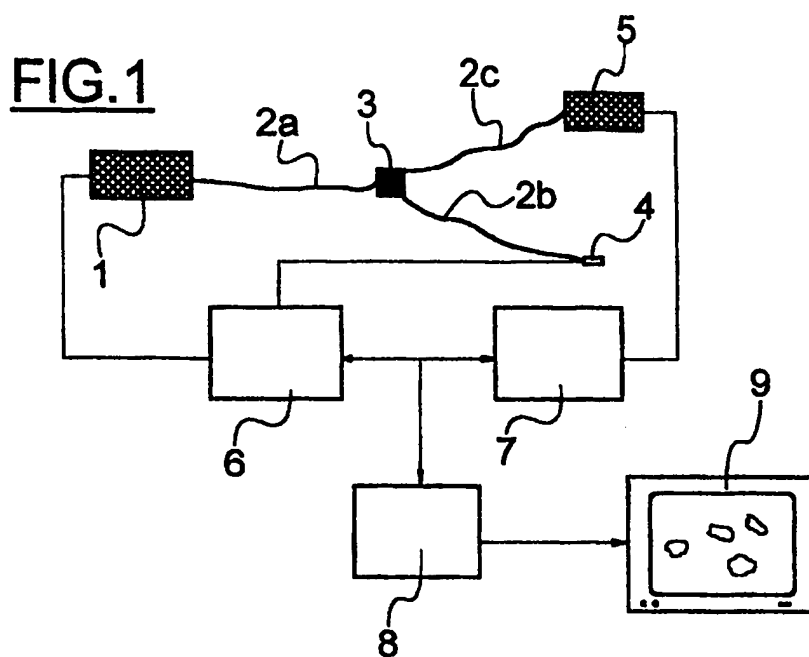


FIG.2

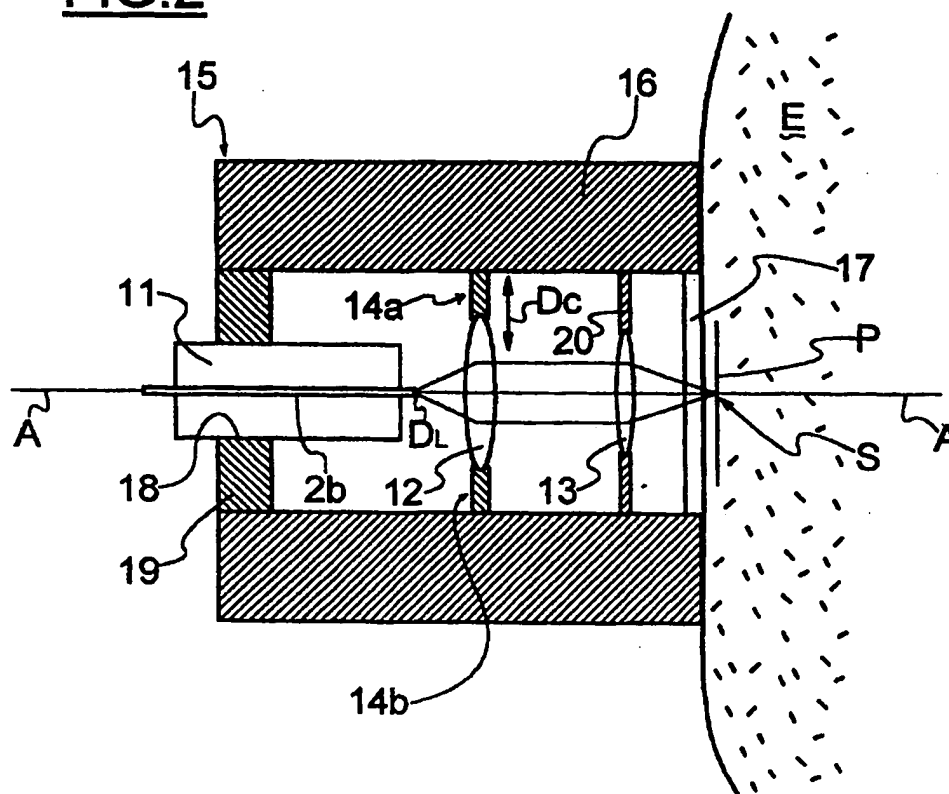


FIG.3

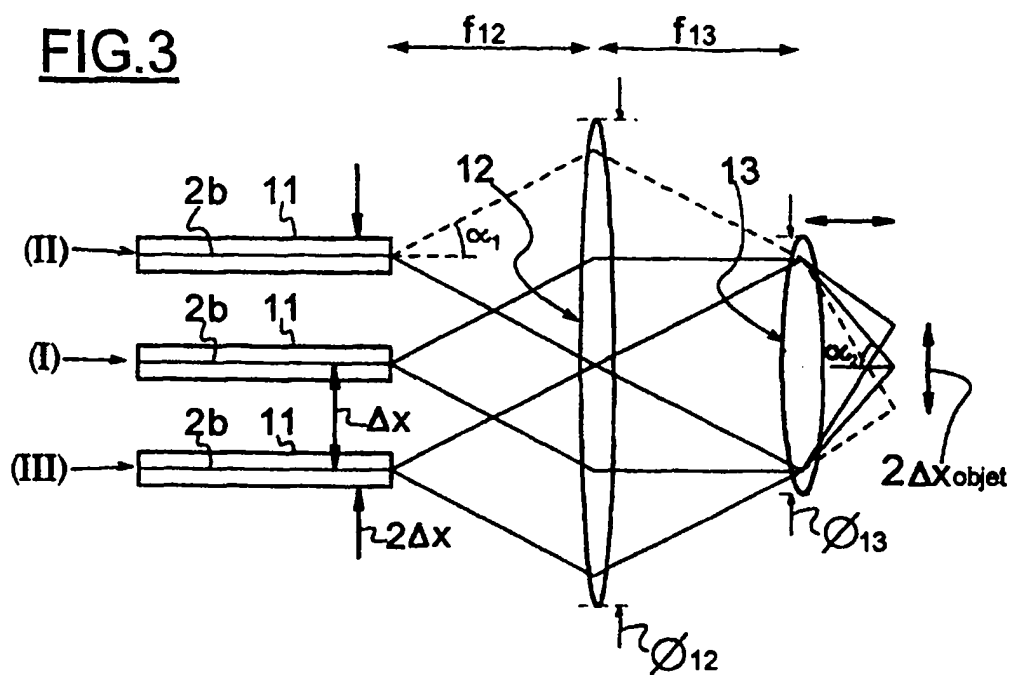


FIG.4

