

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 633**

51 Int. Cl.:

G02F 1/11 (2006.01)

G02B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2008 PCT/EP2008/055355**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.11.2008 WO08141903**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2008 E 08749935 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2149070**

54 Título: **Elemento filtrante acusto-óptico sintonizable**

30 Prioridad:

22.05.2007 DE 102007024075

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

15.06.2018

73 Titular/es:

**LEICA MICROSYSTEMS CMS GMBH (100.0%)
CPTD, Ernst-Leitz-Strasse 17-37
35578 Wetzlar, DE**

72 Inventor/es:

**GUGEL, HILMAR y
SEYFRIED, VOLKER**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 672 633 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

Elemento filtrante acusto-óptico sintonizable

5 Descripción

Campo del invento

10 El invento trata de un elemento filtrante acusto-óptico de acuerdo con el término genérico de la reivindicación 1. Además, el invento trata de una fuente de luz ajustable que comprende un elemento filtrante acusto-óptico de acuerdo con el invento, así como un microscopio para registrar la información de la imagen de una muestra, que comprende una fuente de luz ajustable de acuerdo con el invento. Además, el invento trata también de un divisor de haz acusto-óptico que comprende un elemento filtrante acusto-óptico de acuerdo con el invento.

15 Estado de la técnica

De las ciencias naturales, la tecnología y la medicina, se conocen microscopios para registrar información de imágenes de muestras de diversos tipos en numerosas realizaciones técnicas. En este caso, se utilizan fuentes de luz cada vez más coherentes, que comprenden, por ejemplo, uno o más láseres como fuentes de luz para generar haces de excitación. En particular, tales microscopios láser pueden diseñarse como microscopios de barrido.

20 Los microscopios de barrido están disponibles en diferentes variantes conocidas, que, por ejemplo, se distinguen en el tipo y en la generación del haz del microscopio. De este modo, se puede usar radiación electromagnética por ejemplo, en el campo óptico, de rayos infrarrojos o en el campo ultravioleta del espectro. Las diferencias adicionales entre los diferentes tipos de microscopios de barrido surgen en la interacción de los haces del microscopio con la muestra que se examinará. En la siguiente descripción, se hará referencia esencialmente a microscopios de fluorescencia en los que el haz del microscopio o el haz de excitación excitan una muestra de fluorescencia que se puede registrar y se puede usar para la adquisición de imágenes. Además, sin embargo, hay muchos más principios de medición, por ejemplo principios de medición basados en métodos espectroscópicos láser, principios de medición basados en la emisión de partículas u otros principios de medición. El siguiente invento es básicamente aplicable a todos esos métodos y construcciones, así como también a otros microscopios que no funcionan según el principio de barrido.

35 Un gran desafío para muchos microscopios conocidos, independientemente del método utilizado, es la provisión de luz de excitación que tiene una o más longitudes de onda predeterminadas. Dependiendo del tipo de método de microscopía y/o del tipo de muestra (por ejemplo, la naturaleza de la muestra o un tinte de la muestra con un tinte particular) son necesarios uno o más rayos de luz de excitación, que por lo general, presentan propiedades espectrales preestablecidas

40 En los microscopios láser convencionales, la luz de excitación se proporciona a través de uno o más láseres de excitación pero generalmente estando disponible solo un rango de longitud de onda limitada o una opción limitada de líneas espectrales. Esto limita el uso de los microscopios a ciertos tipos de especímenes, ciertas técnicas de microscopía y/o a ciertos tintes para teñir la muestra. Este rango limitado de aplicaciones es insatisfactorio en muchos casos.

45 Por lo tanto, se conocen microscopios que, como fuente de luz coherente pueden aprovechar fuentes de luz blanca. Similar a los microscopios convencionales con fuentes de luz no coherentes que generan luz incoherente que tiene una distribución de longitud de onda amplia, a partir de la cual por medio de elementos de longitud de onda selectiva se seleccionan los rangos espectrales requeridos, utilizando estos microscopios también fuentes de luz coherente de banda ancha. Las fuentes de luz de este tipo que presentan un amplio espectro de longitud de onda se denominan a menudo "fuentes de luz blanca".

55 En particular, con la ayuda de elementos ópticos, tales como una fibra cónica (es decir, estructurada, en particular con respecto a su índice de refracción), una fibra micro-estructurada (en particular, una fibra de cristal fotónico, PCF), una fibra Holey, una fibra fotónica de banda prohibida (PBC) o una fibra especialmente dopada (por ejemplo, una fibra dopada con metales de tierras raras o semiconductores) se puede obtener fuentes de luz, acoplando la radiación láser cuya luz tiene amplio espectro de longitud de onda. Tales láseres de luz blanca a menudo se conocen como láseres de luz blanca con supercontinuo. Ejemplos de tales láseres de luz blanca de banda ancha se mencionan en los documentos DE 101 15 488 A1, en DE 101 15 509 A1 o en DE 101 15 488 A1. El invento descrito a continuación se basa en estos láseres de luz blanca, pero también se puede usar para otras fuentes de luz coherente de banda ancha.

60

A partir de la luz coherente producida por los láseres de luz blanca o por fuentes de banda ancha se puede seleccionar acto seguido con la ayuda de elementos selectivos de longitud de onda, una longitud de onda específica o un rango espectral específico. Varios elementos selectivos de longitud de onda de este tipo se conocen desde hace mucho tiempo, como prismas o rejillas.

Hace algunos años, sin embargo, se vienen utilizando cada vez más elementos selectivos de longitud de onda basados en el efecto acusto-óptico (elementos acusto-ópticos). Tales elementos acusto-ópticos presentan generalmente un llamado cristal acusto-óptico en (por ejemplo, un cristal de dióxido de telurio, TeO_2), que se corta con la dirección de cristal apropiada. Uno o más emisores de señal acústica están dispuestos en este cristal acusto-óptico, que también se conocen como "transductores". Como regla, dicho transductor presenta un material piezoeléctrico y dos o más electrodos que entran en contacto con este material. Al conectar eléctricamente los electrodos a frecuencias de radio que generalmente oscilan entre 30 MHz y 800 MHz, el material piezoeléctrico es estimulado para vibrar, de modo que se produzca una onda acústica que puede atravesar el cristal. En su mayoría, esta onda acústica se absorbe o refleja después de pasar a través de una zona de interacción óptica en el lado opuesto del cristal. Cristales del tipo acusto-óptico se caracterizan porque la onda acústica resultante altera las propiedades ópticas del cristal, siendo inducida respectivamente a través del sonido, una rejilla óptica o una estructura comparable activa ópticamente (un holograma). Finalmente, la luz que pasa a través del cristal puede sufrir difracción en esta rejilla óptica y puede ser direccionada en diferentes órdenes de difracción o direcciones de difracción.

En los componentes acusto-ópticos se diferencia entre componentes que influyen en toda la luz que incide independiente de la longitud de onda (por ejemplo, los moduladores acusto-ópticos) y los componentes que (dependiendo por ejemplo de la frecuencia de radio incidente) actúan selectivamente en longitudes de onda individuales, en inglés: acusto-optic tunable filter, AOTF). En muchos casos, los elementos acusto-ópticos presentan cristales birrefringentes, como el dióxido de telurio antes mencionado, considerando luego entre otras cosas que la posición del eje de cristal con respecto al plano de incidencia de la luz y su polarización determina las propiedades ópticas del elemento acusto-óptico.

Con la ayuda de los filtros acusto-ópticos mencionados (AOTF) se pueden seleccionar selectivamente uno o más rangos de longitud de onda a partir del espectro de longitud de onda de la fuente de luz blanca. Un incidente haz de luz que pasa a través de la red de fase en el cristal, se divide luego en sus órdenes de difracción. Al variar la frecuencia f_0 de la onda acústica cambia la frecuencia de la red de fase en el cristal acusto-óptico y por lo tanto también la longitud de onda λ_0 de la luz difractada. Los AOTFs se pueden realizar de tal modo que las longitudes de onda centroide λ_0 de los rangos de longitud de onda seleccionados abandonan de forma colineal el cristal acusto-óptico. Otras longitudes de onda dentro de los rangos de longitud de onda seleccionados presentan sin embargo otra dirección de radiación.

Este cambio en la dirección de radiación o la separación espacial entre la longitud de onda deseada (en lo sucesivo también denominada longitud de onda objetivo) λ_0 y el resto de la luz irradiada en el cristal acusto-óptico se utiliza para la separación de la luz. Esto se describe también, por ejemplo en el documento ya mencionado DE 101 15 488 A1, que muestra una fuente de luz con un láser de luz blanca (con una fibra) y un elemento AOTF aguas abajo.

Sin embargo, una dificultad de un filtro acusto-óptico conocido consiste en que la asignación de una frecuencia de radio acoplada de una onda acústica a una determinada longitud de onda objetivo no es concluyente en la práctica. La forma de la función de transferencia del AOTF, es decir, las frecuencias o longitudes de onda del haz de luz objetivo que se transmite a través del AOTF a una frecuencia de radio fija no es una función δ idealizada, sino que corresponde aproximadamente a la siguiente función:

$$T \sim \text{sen}^2(f - f_0) / (f - f_0)^2 \quad (1)$$

Esto significa que la función de transferencia de un AOTF tiene numerosos máximos secundarios, que de hecho son considerablemente menos pronunciados que el máximo principal central en la frecuencia f_0 o en la longitud de onda λ_0 de la luz, que sin embargo, puede distraer en la espectroscopia.

De este modo, por ejemplo la luz de la longitud de onda deseada (máximo principal de la función de transferencia de un AOTF) se superpone a la luz en el área de los lóbulos secundarios, ya que la fuente de luz blanca también emite en este rango espectral y el AOTF es permeable en esta área. Esta luz se superpone más tarde, por ejemplo después de la reflexión en la muestra, a la luz de detección real. Elementos selectivos de longitud de onda, los cuales deberían separar la luz de excitación real de la luz de detección, son sin embargo, a menudo tan selectivos en la longitud de onda que solo separan la luz de detección real (por ejemplo luz fluorescente de la muestra) de una longitud de onda de excitación específica λ_0 , pero no garantizan una separación suficiente con luz de excitación fuera de la longitud de onda λ_0 . Esto puede llevar a que la luz de excitación ingrese al detector, que a su vez degrada en gran medida la relación señal / ruido de la imagen de la muestra. De este modo en particular, las señales

de fluorescencia reales en una espectroscopia de fluorescencia pueden ser más débiles en órdenes de magnitud que la luz de excitación, de modo que la señal real se ve muy afectada por la luz de excitación que llega al detector.

Este problema es particularmente pronunciado en microscopios, en los que tiene lugar la separación de la luz de excitación y la luz de detección con la ayuda del divisor de haz acusto-óptico (AOBS). Un AOBS también tiene una función de transferencia en la que el efecto de separación se caracteriza por un lóbulo agudo en la función de transferencia. Como regla, sin embargo, este máximo principal es significativamente más ancho que el lóbulo de la función de transferencia de un AOTF de tal modo que uno o más máximos secundarios de la función de transferencia del AOTF caen en el lóbulo de la función de transferencia del AOBS. Esto significa que los componentes espectrales AOBS de la fuente de luz blanca, que están en el rango de estos máximos secundarios de la función de transferencia del AOTF, pueden permitir en gran medida llegar al detector del microscopio.

Además, a través del estado de la técnica mencionado con anterioridad, el documento US 4 084 182 A divulga un método para modular un haz de láser de longitud de onda múltiple para producir una imagen de televisión de gran formato. El rayo láser se transmite a través de un modulador acusto-óptico en el que las longitudes de onda individuales mediante el acoplamiento de ondas mecánicas apropiadas se pueden modular en su intensidad, de modo que se crea un color deseado mezclando las diferentes longitudes de onda de origen. Detrás del modulador acusto-óptico está dispuesto un filtro espacial para filtrar del haz de láser, porcentajes del haz no deseados causados por la diafonía de las ondas mecánicas sobre otras longitudes de onda ópticas.

Por el documento US 5 377 003 A se sabe que para seleccionar una longitud de onda de iluminación para un interferómetro se debe usar un AOTF. Dispuesto detrás de la AOTF está un diafragma que bloquea la orden de haz 0, de modo que solo la longitud de onda seleccionada se propague en el espectrómetro.

Además, el documento JP 2003 065850 A describe un elemento filtrante acusto-óptico en el que un elemento de lente dispuesto después del cristal acusto-óptico enfoca un haz de luz objetivo sobre un extremo de una fibra óptica dispuesta en la abertura de un diafragma.

Objeto del invento

Por lo tanto, un objeto del presente invento es proporcionar un elemento filtrante acusto-óptico que evita las desventajas descritas anteriormente de los elementos filtrantes acusto-ópticos conocidos. En particular, el elemento filtrante acusto-óptico debería ser adecuado para suprimir eficazmente los máximos secundarios en la función de transferencia de su permeabilidad.

Descripción del invento

Esta tarea es realizada por un elemento filtrante acusto-óptico resuelto con las características de la reivindicación independiente 1. Desarrollos ventajosos del invento, que pueden implementarse individualmente o en combinación, se muestran en las reivindicaciones dependientes.

El presente invento se basa esencialmente en el descubrimiento de que la función de transferencia descrita anteriormente de elementos filtrantes acusto-ópticos conocidos mediante medidas apropiadas de imagen puede transformarse a partir un rango de frecuencia en un rango espacial. A partir de la función descrita $\text{sen}^2(f - f_0) / (f - f_0)^2$, en esta transformación se produce una correspondiente distribución de intensidad en un plano vertical hacia el eje óptico del haz de luz objetivo, que sigue, por ejemplo, la función $I(r) \sim \text{sen}^2 r / r^2$ (con r = distancia desde el eje óptico). Dicha transformación a partir de un rango de frecuencia en un rango espacial se puede efectuar, por ejemplo, por medio de los elementos ópticos de enfoque correspondientes, por ejemplo, una lente y / o un espejo curvado. Además, se pueden seleccionar disposiciones más complejas que efectúen tales efectos de formación de imágenes. Por ejemplo, este mapeo a partir de un rango de frecuencia en un rango espacial se realiza en un plano focal de la lente o del espejo curvo.

Esta conversión de la función de transferencia del AOTF a partir de un rango de frecuencia en un rango espacial posibilita ahora por medio de un filtrado espacial eliminar los componentes no deseados.

En consecuencia se propone un elemento filtrante acusto-óptico que comprende un cristal acusto-óptico del tipo descrito anteriormente, y un generador de señal acústica para generar señales acústicas en el cristal acusto-óptico. El cristal acusto-óptico debe configurarse de tal forma (por ejemplo, mediante los cortes de cristal correspondientes), que desvíe espacialmente luz selectiva de una longitud de onda objetivo desde un haz de luz de entrada que entra en el cristal acusto-óptico de acuerdo con una alta frecuencia aplicada al generador de señal acústica y así generar o expulsar un haz de luz objetivo con una longitud de onda objetivo deseada. A este respecto, el elemento filtrante acusto-óptico puede corresponder, por ejemplo, al elemento filtrante acusto-óptico descrito en el documento DE 101 15 488 A1 o a otro de los elementos filtrantes acusto-ópticos descritos anteriormente.

Sin embargo, aprovechando el efecto descrito anteriormente de la transformación a partir del rango de frecuencia en el rango espacial, el elemento filtrante acusto-óptico comprende además al menos un elemento filtrante espacial dispuesto en el haz de luz objetivo. Este elemento filtrante espacial debe diseñarse para suprimir selectivamente la intensidad del haz de luz objetivo en un plano perpendicular a la dirección de propagación del haz de luz objetivo.

Como se describió anteriormente, el elemento filtrante espacial puede configurarse de diferentes maneras. En particular, el elemento filtrante espacial puede comprender un elemento de lente que imagina ópticamente el haz de luz objetivo. El término del elemento de lente ha de interpretarse ampliamente, ya que como se describe anteriormente, también se pueden aplicar otros elementos de formación de imágenes, por ejemplo (además de lentes circulares simples o lentes cilíndricas) sistemas de lentes complejos (por ejemplo, también lentes con longitud focal variable), un espejo cóncavo, resonadores ópticos u otros elementos de imagen o elementos conformadores de imagen.

Además, el elemento filtrante espacial puede comprender un diafragma. En particular, este diafragma puede disponerse al menos aproximadamente en un plano focal del elemento de lente, ya que la conversión descrita a partir de un rango de frecuencia en un rango espacial está muy pronunciada allí. En particular, en el caso de la óptica de haz gaussiana, es deseable una desviación del posicionamiento del diafragma desde el plano focal en no más del doble de la cintura del haz de luz objetivo. Además del diafragma, puede estar previsto opcionalmente al menos un diafragma adicional. En particular, se puede proporcionar al menos un segundo diafragma en la abertura del elemento de lente, que actúa allí como un filtro espacial.

El diafragma en este caso puede comprender diferentes tipos de diafragma conocidos. En particular, se pueden usar diafragmas cuadrados, diafragmas rectangulares, diafragmas circulares o diafragmas de iris, y combinaciones de estos y/u otros diafragmas. Puesto que la desviación del haz a través del elemento filtrante acusto-óptico (en adelante denominado AOTF) tiene lugar sustancialmente en un plano, se prefiere particularmente que el diafragma comprenda un diafragma con ranura, es decir, un diafragma con un intersticio de abertura estrecho que se extiende preferentemente perpendicular al plano fijado por el haz de luz de entrada y el haz de luz objetivo.

En este caso, es particularmente preferente si el diafragma comprende una abertura ajustable. En particular, esta abertura ajustable puede ser una abertura electrónicamente ajustable, que es fácil de implementar técnicamente, por ejemplo, en diafragmas cortados y / o de iris. En este caso, de una manera preferente, la función de transferencia del AOTF de acuerdo con el invento puede ser influenciada electrónicamente, de modo que, por ejemplo, se puede realizar una calibración electrónica y / o un control electrónico. Por ejemplo, el ancho de apertura se puede ajustar por medio de un motor paso a paso o un actuador similar.

En lugar de una combinación de un elemento de lente con un diafragma, también se pueden utilizar otros elementos filtrantes espaciales. En particular, el elemento filtrante espacial, alternativamente o adicionalmente, puede comprender un cable de fibra óptica y un elemento de lente dispuesto entre un extremo (extremo de acoplamiento) del cable de fibra óptica y el cristal acusto-óptico. De nuevo, como se indicó anteriormente, el término "elemento de lente" es amplio y puede abarcar varios tipos de sistemas de formación de imágenes. El elemento de lente debe estar dispuesto para acoplar una parte del haz de luz objetivo en el extremo del cable de fibra óptica. En este caso, la apertura limitada del cable de fibra óptica, que es preferiblemente una fibra de un único modo (fibra mono-modo), secciona modos laterales no deseados de la función de transferencia espacial. El extremo de la fibra debe estar de nuevo preferentemente al menos aproximadamente en el foco de la lente. La apertura numérica de la lente determina sustancialmente el ancho de la función de transferencia en el plano focal de la lente, es decir, en la parte extrema de la fibra. Además de la lente puede estar previsto un elemento de diafragma adicional que limita adicionalmente la apertura numérica de la lente. La apertura numérica y las dimensiones de la abertura o el diámetro del núcleo de la fibra se adaptarán entre sí de manera que sólo el ancho deseado del rango de longitud de onda pasa a través del diafragma o se acopla en la fibra. Preferentemente, la apertura numérica de la lente y el diafragma o bien la fibra se eligen de modo que los máximos secundarios de la función de transferencia sean bloqueados por el diafragma o bien que no sean acoplados a la fibra. En caso de utilizar un cable de fibra óptica y un elemento de lente, se prefiere particularmente si la distancia y / o la orientación del elemento de lente es ajustable con respecto al extremo del cable de fibra óptica, preferentemente electrónicamente (por ejemplo, utilizando actuadores correspondientes). Por ejemplo, la lente puede diseñarse como una óptica-vario. Además, la óptica-vario también puede estar provista de un motor y ser operada y controlada por ejemplo mediante software.

El elemento filtrante espacial puede estar ajustado en particular de tal manera que los máximos secundarios de un orden superior a 2, preferentemente ya los máximos secundarios del 1^{er} orden sean atenuados. Esta atenuación puede tener lugar de tal forma que estos máximos secundarios estén completamente bloqueados. En este caso, solo se transmite el máximo principal de la distribución de intensidad espacial del haz de luz objetivo y, por tanto, también el máximo principal de la distribución de frecuencia de la función de transferencia. También son posibles restricciones más fuertes, de modo que, por ejemplo, el elemento filtrante espacial se ajuste tan estrechamente que las áreas parciales exteriores del máximo principal sean bloqueadas. El elemento filtrante acusto-óptico puede

diseñarse en particular de tal manera que comprenda además un sistema de mando electrónico. Este sistema de mando electrónico se puede utilizar para controlar el elemento filtrante espacial, es decir, para influir en la función de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico. Para este fin, el sistema de mando electrónico puede disponerse para actuar sobre los elementos mencionados anteriormente, que influyen en la función de transferencia. En particular, el sistema de mando electrónico puede configurarse para ajustar un foco de lente, una distancia focal de lente, una apertura de diafragma, una distancia entre el objetivo y el diafragma, una distancia entre el objetivo y la fibra u otras orientaciones espaciales.

Además, el sistema de mando electrónico también se configura para ajustar la longitud de onda objetivo, por ejemplo mediante el sistema de mando electrónico se ajusta la alta frecuencia del generador de señal acústica. En consecuencia, el sistema de mando electrónico puede comprender, por ejemplo, uno o más componentes electrónicos y / o uno o más procesadores, por ejemplo un microprocesador. Además, se pueden proporcionar otros elementos, como elementos de entrada y salida, almacenamiento de datos, etc. También se puede proporcionar una interfaz para la comunicación con otro ordenador. Además, el sistema de mando electrónico puede, por ejemplo, comprender también una memoria electrónica (por ejemplo una memoria volátil o no volátil), en la que se almacena una función de curva de la distribución de intensidad espacial del haz de luz objetivo. De esta forma, por ejemplo, una apertura dirigida puede ajustarse a un ancho de apertura deseado, por ejemplo si específicamente ciertos máximos secundarios deben ser atenuados.

El elemento filtrante acusto-óptico puede comprender además, un dispositivo de calibración para de forma rápida y conveniente recibir funciones de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico y ajustar el elemento filtrante acusto-óptico en consecuencia. Por lo tanto, el dispositivo de calibración puede comprender, por ejemplo, una fuente de luz de prueba coherente sintonizable cuyo haz de luz puede ser acoplado como un haz de luz de entrada en el elemento filtrante acusto-óptico o en el cristal acusto-óptico. Además, el dispositivo de calibración puede comprender un detector que está configurado para medir una intensidad del haz de luz objetivo.

El dispositivo de calibración descrito puede ser utilizado para recibir diferentes funciones de transferencia: por un lado, en el caso de una alta frecuencia fija del generador de señal acústica se puede modificar la longitud de onda de la fuente de luz de prueba (por ejemplo estando continuamente sintonizado sobre un rango de longitud de onda predeterminado), siendo medida la intensidad del haz de luz objetivo. Alternativa o adicionalmente, incluso en el caso de una longitud de onda fija de la fuente de luz de prueba, la alta frecuencia del generador de señal acústica puede cambiarse, pudiéndose medir la intensidad del haz de luz objetivo. De esta manera, de acuerdo con uno o ambos de los métodos descritos, se puede por ejemplo, recibir la función $\sin^2 x / x^2$ anteriormente descrita y determinar el ancho de los máximos de esta función de transferencia. En consecuencia, el elemento filtrante espacial puede ajustarse entonces a un ancho deseado.

Esta calibración puede llevarse a cabo, por ejemplo, durante o después del ensamblaje de fábrica, o la calibración también puede ser parte de una revisión de rutina o ajuste de un sistema (por ejemplo un microscopio, ver a continuación). Son concebibles diversos usos posibles de tal dispositivo de calibración.

El elemento filtrante acusto-óptico descrito en uno de los modelos de fabricación ilustrados en comparación con los elementos filtrantes acusto-ópticos convencionales, presenta numerosas ventajas. En particular, se puede ejercer una influencia específica sobre la función de transferencia espectral, que es particularmente positiva en la espectroscopía láser y notable en la microscopía láser. El elemento filtrante acusto-óptico se puede utilizar para atenuar eficientemente la luz de excitación y, de este modo, mejorar significativamente la relación señal / ruido.

Aparte del elemento filtrante acusto-óptico en uno de los modelos de fabricación descritos anteriormente, se propone además, una fuente de luz ajustable que comprende un elemento filtrante acusto-óptico en una de las variantes descritas. Además, la fuente de luz ajustable comprende una fuente de luz coherente de banda ancha, que está dispuesta para producir el haz de luz de entrada para el elemento filtrante acusto-óptico. En lugar de un único elemento filtrante acusto-óptico se pueden proporcionar varios elementos filtrantes acusto-ópticos. La fuente de luz puede estar diseñada preferentemente de tal manera que los componentes mencionados de la fuente de luz ajustable, y opcionalmente los componentes adicionales, estén dispuestos en una carcasa común. Alternativamente, la fuente de luz coherente de banda ancha también puede estar fuera y separada del elemento filtrante acusto-óptico y conectado a éste a través de una trayectoria de haz y/o un cable de fibra óptica. Por ejemplo, para este caso se puede utilizar nuevamente un cable de fibra óptica.

Bajo una fuente de luz coherente de "banda ancha" se entiende en particular una fuente de luz que emite luz en un rango espectral, que se encuentra en el rango ultravioleta y / o rango espectral visible y / o infrarrojo, siendo el ancho del espectro emitido preferiblemente mayor que 10 nm, en particular mayor que 100 nm.

La fuente de luz coherente de banda ancha puede comprender una o múltiples fuentes de luz. En particular, ésta puede comprender un láser de banda ancha, en particular un láser de luz blanca. Para este propósito, una pluralidad

de fuentes de luz láser puede por ejemplo ser superpuesta, en particular por medio de un dispositivo adecuado para la superposición de los haces de fuentes de luz láser (por ejemplo, uno o más divisores de haz). Además, alternativa o adicionalmente, la fuente de luz coherente de banda ancha también puede presentar un cable de fibra óptica con dopaje que se ensancha espectralmente y un láser de bombeo respectivo, comprendiendo el dopaje, en particular, un dopaje de tierras raras, en particular, el dopaje con ErNd, Yb, Ho y/o un agente de dopaje de semiconductores, en particular un dopaje de germanio. Tales cables de fibra óptica o fibras dopadas son conocidas por los técnicos en la materia y ya están parcialmente disponibles comercialmente. Alternativamente o adicionalmente también se puede utilizar un cable de fibra óptica que se ensancha espectralmente, que tiene una estructuración correspondiente. En particular, se puede tratar de un cable de fibra óptica que comprende una fibra cónica, una fibra micro-estructurada, una fibra de cristal fotónico, una fibra Holey, una fibra fotónica de banda prohibida o una fibra similar. Para tales fuentes de luz de fibra, se puede hacer referencia por ejemplo, a los documentos DE 101 15 488 A1, DE 101 15 509 A1, DE 101 15 589 A1 o a otras publicaciones. En este sentido, no se tratará en profundidad en este caso la conformación precisa de un cable de fibra óptica estructurado de este tipo para generar un espectro de banda ancha.

La fuente de luz ajustable en una de las configuraciones descritas se puede aplicar de forma rentable en diversas áreas de las ciencias naturales, de la tecnología o de la medicina. También en este caso, los aspectos ventajosos descritos del elemento filtrante acusto-óptico nuevamente tienen un efecto positivo. Por lo tanto, la fuente de luz ajustable se puede usar de manera rentable, en particular en el campo de la espectroscopía. Otra aplicación, que es un punto fuerte del presente invento, es el uso en un microscopio para adquirir información de imagen de una muestra. Por ejemplo, puede ser una muestra biológica, por ejemplo una sección de tejido de un tejido humano, animal o vegetal. Sin embargo, se pueden usar otros tipos de muestras, por ejemplo, muestras de los campos de la ciencia de materiales u otros tipos de muestras.

El microscopio propuesto comprende en consecuencia una óptica de haz y una fuente de luz ajustable en uno de los modelos de fabricación descritos. El microscopio puede, por ejemplo, diseñarse como un microscopio de luz estándar, pero se prefiere el diseño como un microscopio de barrido. Este microscopio de barrido puede ser, en particular, un microscopio de barrido por puntos, más preferentemente, un microscopio de barrido por líneas. En este caso, debido a la alta resolución, se prefiere particularmente un microscopio confocal.

La fuente de luz ajustable puede utilizarse en el microscopio, independientemente o en combinación con otras fuentes de luz para producir luz de excitación. En este caso, de acuerdo con la configuración del microscopio, el término "luz de excitación" no debe entenderse simplemente como que la muestra es excitable por la fuente de luz ajustable o por el haz de luz emitido por esta fuente de luz ajustable en el sentido de una luminiscencia o fosforescencia. Otros tipos de interacciones con la muestra también son concebibles y abarcados por la disposición propuesta, por ejemplo, una disposición en la que la luz de detección comprende una luz de excitación transmitida y / o reflejada por la prueba.

Para la separación de luz de excitación y luz de detección, el microscopio comprende en una configuración preferente un divisor de haz con una función de transferencia del divisor de haz. Esto significa que la separación o la eficacia de separación de la luz de detección y excitación por el divisor de haz dependen de la longitud de onda. Por ejemplo, se puede utilizar como un divisor de haz un elemento acusto-óptico, que en este caso se denomina divisor de haz acusto-óptico. En particular, un elemento filtrante acusto-óptico de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes también se puede usar como parte de dicho divisor de haz acusto-óptico.

En este caso, es preferible si la función de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico de la fuente de luz ajustable que se utiliza en el microscopio está configurada ajustando el elemento filtrante espacial de tal manera que el ancho espectral del haz de luz objetivo que se genera a partir de la fuente de luz ajustable sea menor que el ancho espectral de un máximo principal de la función de transferencia del divisor de haz. Por ejemplo particularmente cuando, a su vez, se utiliza un elemento divisor de haz acusto-óptico, éste a su vez puede comprender como una función de transferencia una función $\text{sen}^2 x / x^2$, en cuyo caso, el ancho espectral del haz de luz objetivo se selecciona preferentemente de modo que sea menor que el ancho espectral del máximo principal de la función de transferencia del divisor de haz, preferentemente como máximo tan ancho como la mitad del ancho espectral del máximo principal de la función de transferencia del divisor de haz.

Además de un uso en el microscopio, un divisor de haz acusto-óptico que comprende un elemento filtrante acusto-óptico en uno de los modelos de fabricación descritos anteriormente, también se puede usar por separado, independientemente del microscopio. Por ejemplo, además de un uso en microscopía, también puede usarse en otros campos, por ejemplo en el campo de la espectroscopía láser. Las ventajas de dicho divisor de haz acusto-óptico con función de transferencia modificable usando un filtro espacial son idénticas a las ventajas descritas anteriormente, y de esta manera se puede producir un divisor de haz acusto-óptico, que comprende una función de transferencia con un máximo principal estrecho y pocos o ningún lóbulo secundario.

Ejemplos de fabricación

Otros detalles y características del invento se producen a partir de la siguiente descripción de ejemplos de fabricación preferentes junto con las reivindicaciones secundarias. En este caso, las características respectivas se pueden realizar solas o en combinación entre sí. El invento no está limitado a los ejemplos de fabricación. Los ejemplos de fabricación se muestran esquemáticamente en las figuras. Los mismos números de referencia en las figuras individuales designan los mismos o funcionalmente idénticos elementos correspondientes con respecto a sus funciones.

En detalle se muestra en:

la figura 1, un ejemplo de fabricación de una fuente de luz convencional con un elemento filtrante acusto-óptico;

la figura 2, una función de transferencia idealizada de elemento filtrante acusto-óptico convencional;

la figura 3, una función de transferencia real de un elemento filtrante acusto-óptico convencional a alta frecuencia fija;

la figura 4a, un primer ejemplo de fabricación de una fuente de luz de acuerdo con el invento con un elemento filtrante acusto-óptico y un filtro espacial;

la figura 4b, una representación detallada del área A en la figura 4b;

la figura 5a, un segundo ejemplo de fabricación de una fuente de luz según el invento con una fibra óptica;

la figura 5b, una representación detallada del área B en la figura 5a;

la figura 6, un tercer ejemplo de fabricación de una fuente de luz ajustable con un sistema de mando electrónico y un dispositivo de calibración;

la figura 7, un ejemplo de fabricación de un microscopio confocal de acuerdo con el invento con una fuente de luz ajustable según el invento y un elemento divisor de haz; y

la figura 8, funciones de transferencia de la fuente de luz ajustable y del elemento divisor de haz del microscopio según la figura 7.

La figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de fabricación de una fuente de luz ajustable 110 que corresponde al estado de la técnica. Por ejemplo, esta puede ser una fuente de luz ajustable 110 de acuerdo con el ejemplo de fabricación descrito en el documento DE 101 15 488 A1. La fuente de luz ajustable 110 incluye una fuente de luz coherente de banda ancha 112 y un elemento filtrante acusto-óptico 114.

En el caso de la fuente de luz coherente de banda ancha 112 se puede tratar, por ejemplo, de un láser de luz blanca u otra de las fuentes de luz de banda ancha descritas anteriormente para producir un espectro de haz coherente de banda ancha coherente, como un láser de fibra bombeado. Las posibilidades descritas anteriormente se pueden consultar en este caso.

La fuente de luz coherente de banda ancha 112 genera un haz de luz de entrada, que se indica simbólicamente con el número de referencia 116 en la figura. Este haz de luz de entrada 116, que comprende un amplio espectro de radiación electromagnética, está acoplado en el elemento filtrante acusto-óptico 114.

El elemento filtrante acusto-óptico 114 comprende un cristal acusto-óptico 118, que puede incluir, por ejemplo, dióxido de telurio (TeO_2) en una sección correspondiente. Para el acoplamiento óptico del haz de luz de entrada 116 en el cristal acusto-óptico 118 se pueden proporcionar elementos adicionales en la fuente de luz ajustable 110, por ejemplo, elementos que ajustan la dirección de polarización del haz de luz de entrada coherente 116 a la orientación del cristal acusto-óptico 118 (por ejemplo, plaquetas $\lambda/2$ o elementos similares).

Además, el elemento filtrante acusto-óptico comprende 114 un generador de señal acústica 120 que a menudo es conocido como un transductor. Este generador de señal acústica 120 puede comprender, como se describió anteriormente, dos o más electrodos y un elemento piezoeléctrico acoplado entre estos electrodos y está acoplado a una fuente de alta frecuencia 122. Esta fuente de alta frecuencia 122 es capaz de aplicar señales eléctricas en el rango entre unos pocos kHz a unos pocos cientos de MHz para el generador de señales acústicas 120 en la que éstos se convierten en señales acústicas que son a su vez acopladas en el cristal acusto-óptico 118, o para generar las ondas acústicas descritas anteriormente.

El elemento filtrante acusto-óptico 114 está dispuesto de tal manera que el haz de luz de entrada 116 en el lado de salida se divide en dos haces de luz: un haz de luz de transmisión 124 que se extiende sustancialmente colineal al haz de luz de entrada 116 y que puede ser bloqueado por ejemplo mediante un bloqueador, o uno que puede seguir siendo utilizado. Además, en el lado de salida, un haz de luz objetivo 126 emerge del cristal acusto óptico 118, que comprende exactamente la longitud de onda deseada que se ha de separar del haz de luz de entrada 116. Entre el haz de luz de transmisión 124 y el haz de luz de enfoque 126 existe un desplazamiento angular que se designa en la figura 1 con α y que permite una separación correspondiente de los haces de luz 124 y 126. El haz de luz objetivo 126 se puede usar así para un propósito específico, por ejemplo para usar en microscopía, microscopía de luz y / o microscopía de barrido láser (confocal).

En la figura 2 está representada una relación entre la alta frecuencia acoplada (indicada allí mediante RF) y la longitud de onda λ del haz de luz objetivo 126 en la figura 1. Se puede ver que (al menos dentro de un cierto rango de longitud de onda) existe una relación clara entre la alta frecuencia acoplada de la fuente de alta frecuencia 122 y la longitud de onda λ . En una cierta frecuencia de excitación f_0^{RF} en esta representación idealizada se puede desacoplar exactamente del haz de luz de entrada 116 una longitud de onda λ_0 , f_0 como haz de luz objetivo 126.

En la relación idealizada, representada en la figura 2, entre la alta frecuencia acústica acoplada y la longitud de onda objetivo λ_0 (o la frecuencia objetivo f_0) del haz de luz objetivo 126 se debería producir realmente en un barrido de frecuencia del haz de luz de entrada 116 en la intensidad del haz de luz objetivo 126 a una alta frecuencia fija f_0^{RF} , una función- δ con un pico agudo en la longitud de onda objetivo λ_0 y la frecuencia objetivo f_0 , respectivamente. Esto podría probarse (ver a continuación), por ejemplo, utilizando una fuente de luz coherente sintonizable en lugar de la fuente de luz coherente de banda ancha 112 como la fuente de luz para generar el haz de luz de entrada 116. Como ejemplo de tales fuentes de luz, deberían mencionarse los láseres de tinte o ciertos láseres de cuerpos sólidos, que producen luz monocromática de longitud de onda fija y sintonizable en lugar de luz de banda ancha. Midiendo la intensidad del haz de luz objetivo 126, se podría medir una curva de transmisión o una función de transferencia de esta manera.

La figura 3 muestra un espectro de transmisión todavía idealizado pero realista del haz de luz objetivo 126 durante una sintonización del haz de luz de entrada 116 de este tipo. La transmisión T está registrada como función de la longitud de onda λ de un haz de luz de entrada coherente monocromático 116 acoplado.

Está claro que, en lugar de la esperada función- δ de Dirac en la función de transferencia se producen un máximo principal de 128 y varios máximos secundarios 130. Los máximos secundarios generalmente se denominan máximos secundarios de 1^{er}, 2^{do}, orden, etc. según su distancia al máximo principal 128. En general, la función de transferencia T (λ) o T (f) representa un curso de una función $\text{sen}^2 x / x^2$, que también puede justificarse teóricamente. Ejemplos de fabricación medidos de las curvas de transmisión de elementos acusto-ópticos (en ese caso, elementos divisores de haz acusto-ópticos en los que se producen funciones de transferencia similares) también se muestran, por ejemplo, en el documento EP 1 281 997 A2.

Cuando se usa una fuente de luz monocromática para generar el haz de luz de entrada 116, la función de transmisión mostrada en la figura 3 no suele ser una dificultad. Sin embargo, esta función de transferencia es problemática cuando, como se muestra en la figura 1, el elemento filtrante acusto-óptico 114 en una fuente de luz ajustable 110 se usa con una fuente de luz coherente de banda ancha 112. En este caso como regla, el espectro del haz de luz de entrada 116 también comprende partes en el área de los máximos secundarios 130, que de este modo también forman parte del haz de luz objetivo 126 después de pasar a través del elemento filtrante acusto-óptico 114. Para varias aplicaciones, en particular en el campo de la espectroscopia láser y / o en la microscopía, esto representa un problema significativo, ya que estos componentes espectrales no deseados del haz de luz objetivo 126, podrían por ejemplo, estimular transiciones atómicas o moleculares no deseadas o, como se describió anteriormente y como se explica con más detalle a continuación, superponer la luz de detección en un detector y, por lo tanto, podría degradarse significativamente la calidad de la señal.

Las figuras 4a hasta 6 muestran por lo tanto ejemplos e fabricación a modo de ejemplo de fuentes de luz ajustables 110 que se mejoran de acuerdo con el invento y que comprenden un elemento filtrante acusto-óptico 114 según el invento.

En todos los casos, las fuentes de luz ajustables 110 comprenden respectivamente de nuevo una fuente de luz coherente de banda ancha 112, pudiéndose hacer referencia a la descripción anterior. Esta fuente de luz coherente de banda ancha 112 genera respectivamente un haz de luz de entrada 116 que tiene un amplio espectro electromagnético. Este haz de luz de entrada 116 se acopla en la óptica acústica del elemento filtrante 114.

De nuevo, el elemento filtrante acusto-óptico 114 contiene un cristal acusto-óptico 118. No se muestra el generador de señal acústica 120 en los ejemplos de fabricación, que a su vez está previsto y que a su vez permite el acoplamiento de señales acústicas en el cristal acusto-óptico 118.

La combinación del cristal acusto-óptico 118 con el acoplamiento de una onda acústica a su vez permite la separación de un haz de luz objetivo 126, análogo a la representación en la figura 1. Otros componentes de luz separados del haz de luz objetivo 126, en particular el haz de luz de transmisión 124 no se muestran en las figuras 4a hasta 6 en aras de la simplicidad, ya que éstos pueden, por ejemplo, bloquearse inmediatamente.

5 A este respecto, la estructura representada en las figuras 4a hasta 6 en principio corresponde esencialmente a la estructura de la figura 1 y tiene sustancialmente la misma función de transferencia.

10 De acuerdo con el invento, sin embargo, para "limpieza" de la función de transferencia que se muestra en la figura 3 se proporciona un elemento filtrante espacial 132. Este elemento filtrante espacial 132 se basa en el conocimiento de que la función de transferencia representada por medio de medidas de mapeo apropiadas en la figura 3 en el rango de frecuencia o rango de longitud de onda, puede ser transformada en una la función de transferencia espacial. Dicha transformación desde un rango de frecuencia a un rango espacial, por ejemplo una transformación de Fourier, se conoce a partir de otros campos de la óptica, por ejemplo en el campo de la holografía.

15 En la figura 4a se muestra un primer ejemplo de fabricación, mientras que en la figura 4b se muestra una representación detallada del área A en la figura 4a. En la estructura en las figuras 4a y 4b, el elemento filtrante espacial 132 para la transformación comprende un primer elemento de lente 134, que está dispuesto en la trayectoria del haz de luz objetivo 126 detrás de la salida del cristal acusto-óptico 118. Este primer elemento de lente 20 134, que también puede comprender una combinación de varias lentes en lugar de una única lente, enfoca el haz de luz objetivo 126. En el plano focal del primer elemento de lente 134, está dispuesto un diafragma 136. En el caso de este diafragma 136 puede tratarse, por ejemplo, de un diafragma rectangular o diafragma con ranura, que preferentemente tiene un ancho de abertura ajustable. El diafragma 136 está unido en la trayectoria del haz mediante un segundo elemento de lente 138, que colima de nuevo el haz de luz objetivo 126 ahora "limpiado" para su uso posterior.

25 El área espacial A (figura 4a) y B (figura 5a) alrededor del diafragma 136 se muestra nuevamente en la figura 4b y en la figura 5b respectivamente en un detalle ampliado. En este caso, como se describió anteriormente, se puede ver que la función de transferencia mostrada en la figura 3 en el rango de frecuencia, ahora se ha convertido en una función de transferencia espacial, con un máximo principal espacial 140 y una pluralidad de lóbulos espaciales adicionales 142. El diafragma 136 se ajusta en su ancho de abertura de manera que éste deje pasar preferentemente en lo esencial, el máximo principal 140 desde la función de transferencia mostrada, mientras que los máximos secundarios 142 se seccionan sustancialmente. Son posibles otros modelos de configuración, por ejemplo, una configuración en la que el ancho de abertura del diafragma 136 se selecciona de manera que también pasen los primeros máximos secundarios 142, o una configuración en la que se seleccione el ancho de abertura tan estrecho que no solo se seccionen los máximos secundarios 142 sino también una parte exterior del máximo principal espacial 140. La distribución de intensidad espacial, que también corresponde a una función $\text{sen}^2 x/x^2$ puede, por ejemplo, mediante la sustitución del diafragma 136 por una pantalla, también ser observada directamente con la vista o con un dispositivo de aumento para luego ajustar el ancho del diafragma en consecuencia.

30 La fuente de luz ajustable 110 que se muestra en la figura 4a puede utilizar, en particular en el campo de la microscopía, microscopía de la luz y la microscopía de barrido láser (confocal). Con la ayuda del elemento filtrante acusto-óptico 114, la potencia y la longitud de onda de la banda de longitud de onda seleccionada del haz de luz de objetivo 126 pueden variarse (también simultáneamente). La estructura del elemento filtrante acusto-óptico 114 puede integrarse en una carcasa (no mostrada en las figuras) y, por lo tanto, puede distribuirse como una unidad separada. En particular, el elemento filtrante acusto-óptico 114 también puede estar en una carcasa (tampoco se muestra) de la fuente de luz ajustable 110 y / o integrado en una carcasa de un microscopio.

35 El ancho del rango de longitud de onda seleccionado se puede variar, variando el ancho de la abertura del diafragma 136. Alternativa o adicionalmente, la lente 134 puede configurarse como una óptica-vario. El diafragma variable 136 o la óptica-vario también se pueden proporcionar con un motor y, por ejemplo, ser operados o controlados mediante software. En particular, puede ser útil establecer el ancho del rango de longitud de onda seleccionado dependiendo de la función de transferencia de elementos aguas abajo (ver a continuación).

40 En la figura 5a se muestra una fuente de luz ajustable 110 según el invento ligeramente modificada en comparación con la de la figura 4a, que, aguas abajo del cristal acusto-óptico 118, en la trayectoria del haz de luz objetivo 126 comprende a su vez un elemento de lente 134. En lugar de o además de un diafragma 136, sin embargo, se proporciona un cable de fibra óptica 144 en este ejemplo de fabricación a modo de ejemplo, que es preferentemente una fibra mono-modo. Este actúa en este caso, en cooperación con el elemento de lente 134, como un elemento filtrante espacial 132.

45 De nuevo, se muestra un detalle del área B del elemento filtrante espacial 132 en la figura 5b ampliada. En este caso, se puede ver que una vez más se produce la distribución espacial de la intensidad en el plano focal del cable

de fibra óptica 144. En este caso, preferentemente el extremo de la fibra 146 está posicionado en el plano focal del elemento de lente 134. La fibra o el cable de fibra óptica 144 tienen una estructuración con un núcleo de fibra 148 y un revestimiento de fibra 150. Puesto que el acoplamiento debe ser llevado a cabo sustancialmente en el núcleo de la fibra 148, el ancho de la abertura del núcleo de fibra 148 actúa en este modelo de fabricación, similar a la abertura del diafragma 136 en el ejemplo de las figuras 4a y 4b. Por lo tanto, el extremo de la fibra 146 coopera con la lente 134 como un elemento filtrante espacial 132.

En este caso, el ancho del rango de longitud de onda seleccionado, por ejemplo, se puede ajustar variando la distancia entre la lente 134 y el extremo de la fibra 146 en cierta medida. Sin embargo, se prefiere si el elemento 134 de lente, como se describe anteriormente, está diseñado como una óptica-vario, es decir, como un elemento 134 de lente con distancia focal variable, preferentemente ajustable electrónicamente (por ejemplo a través de un motor). Nuevamente tiene sentido un sistema de mando, por ejemplo a través de un software correspondiente, así como un controlador correspondiente de este sistema de mando.

En la figura 6 está representado un tercer ejemplo de fabricación de una fuente de luz ajustable 110 según el invento. La fuente de luz 110 según la invento se construye esencialmente de acuerdo con el ejemplo de fabricación a modo de ejemplo en la figura 4a, de modo que puede hacerse referencia en gran parte a la descripción de esta figura. Una ligera diferencia es el hecho de que en este caso la fuente de luz coherente de banda ancha 112 está conectada al elemento filtrante acusto-óptico 114 a través de un cable de fibra óptica en forma de una fibra 152.

Además, en el ejemplo de fabricación ilustrado en la figura 6, el elemento filtrante acusto-óptico 114 comprende un sistema de mando electrónico 154. Este sistema de mando electrónico 154 puede configurarse simultáneamente como un sistema de mando electrónico para la fuente de luz coherente de banda ancha 112. En particular, puede ser un microprocesador, un elemento de entrada y salida (como una interfaz correspondiente para la conexión con otros sistemas informáticos y / o componentes electrónicos) y otros componentes electrónicos para el sistema de mando. En particular, como se ha indicado anteriormente, pueden estar previstas en el sistema de mando electrónico, una memoria electrónica (por ejemplo, una memoria volátil y/o una memoria no volátil), en la que pueden almacenarse por ejemplo, una o más trayectorias de curva de las funciones de transmisión de acuerdo con las figuras 3 y/o la función de transferencia espacial de acuerdo con la sección A y B en las figuras 4a y 5a, respectivamente. En consecuencia, se puede entonces configurar electrónicamente el ancho de abertura del diafragma 136 y/o una distancia focal de la lente 134, si se desea un determinado filtrado. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, en una pantalla por medio de un usuario, el cual por ejemplo, mediante la configuración adecuada de marcadores en una pantalla, puede establecer el ancho de la función de transferencia.

Además, el elemento filtrante acusto-óptico 114 comprende en el ejemplo de fabricación según la figura 6 un dispositivo de calibración 156. Este comprende una fuente de luz de prueba coherente sintonizable 158 (por ejemplo, uno de los láseres sintonizables descritos anteriormente) para producir un haz de luz de prueba coherente de banda estrecha 160, un divisor de haz 162 para acoplar el haz de luz de prueba en el cristal acusto-óptico 118, un segundo divisor de haz 164 para desacoplar un haz de detección 166 y un detector 168 para detectar el haz de detección 166. Por consiguiente, el sistema de mando 154 puede configurarse para determinar una función de transferencia del elemento de transmisión acusto-óptico 114 en un proceso de calibración. En consecuencia por ejemplo, la fuente de luz de prueba 158 a una alta frecuencia fija predeterminada del generador de señal acústica 120 está sintonizada sobre un cierto rango de longitud de onda, donde a través del detector 168, se mide una intensidad del haz de luz objetivo 126. De esta forma, por ejemplo, se puede medir una función según la figura 3. Por consiguiente entonces, por medio del sistema de mando electrónico 154 también se puede configurar por ejemplo, un ancho del diafragma 136 para influir sobre esta función de transferencia.

Alternativa o adicionalmente, incluso en una longitud de onda fija de la fuente de luz de prueba 158 se pueden cambiar las altas frecuencias acopladas, midiéndose la intensidad del haz de luz objetivo 126. De esta manera, la fuente de luz ajustable 110 de acuerdo con el ejemplo de fabricación de la figura 6 permite una calibración rápida y el ajuste de la función de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico 114, lo cual por lo tanto se puede adaptar fácilmente a otros componentes del sistema global en el que la fuente de luz ajustable 110 se aplica.

La figura 7 muestra un posible sistema, en cuyo contexto puede utilizarse una fuente de luz ajustable 110 de acuerdo con el invento o bien un elemento filtrante acusto-óptico 114 de acuerdo con el invento. En el presente caso, este sistema está configurado como un microscopio 170. En el modelo de fabricación ilustrado en este caso, el microscopio 170 se trata de un microscopio de barrido láser confocal, sin embargo, como se describe anteriormente, también son posibles otros modelos de fabricación, pudiéndose implementar el invento dentro de dicho contexto.

El microscopio 170 comprende inicialmente una fuente de luz ajustable 110 de acuerdo con el ejemplo de fabricación en la figura 4a. El haz de luz objetivo 126 generado por esta fuente de luz 110 se acopla a un cable de fibra óptica 144 y es enviado como luz de excitación 172 a través de la óptica de conformación del haz 176 (solo indicado en la figura 7) hacia un elemento divisor de haz 174.

La figura 7 muestra de este modo un ejemplo de fabricación con una técnica combinada de los ejemplos de fabricación de las figuras 4a y 5a. Por un lado, el elemento filtrante espacial 132 tiene dos elementos de lente 134, 138 con un diafragma 136 dispuesto entre ellos, por otro lado se usa un cable de fibra óptica 144. Alternativamente por supuesto, también se podría usar una "forma pura" de los modelos de fabricación del elemento filtrante espacial 132 de acuerdo con uno de los ejemplos de las figuras 4a o 5a.

A través del elemento divisor de haz 174 se conduce en el microscopio 170, la luz de excitación 172 hacia una muestra 180 a través de una óptica 178. En este caso, en el ejemplo de fabricación mostrado en la figura 7, un dispositivo de barrido 181 se utiliza para barrer, por ejemplo, punto a punto por medio de la luz de excitación 172 (escáner de puntos), o línea por línea (escáner de línea) la muestra 180 por medio de la luz de excitación 172. Por ejemplo, el dispositivo de barrido 181 puede incluir uno o más espejos de galvanómetro.

La luz de detección 182 emitida de ese modo (por ejemplo a través de un proceso de fluorescencia) desde la muestra 180 se transmite en el elemento divisor de haz 174 y así se separa de la luz de excitación 172. El elemento divisor de haz 174 es seguido por otro sistema de lente 184 con un diafragma confocal 186. Este diafragma confocal 186 es un elemento esencial de la estructura confocal del microscopio 170, y contribuye en gran medida a la mejora de la resolución de la calidad de la imagen.

Anexo al sistema de lentes 184 el microscopio 170 comprende un detector 188 que detecta la luz de detección 182. El microscopio 170 comprende además, otros componentes tales como un sistema de mando central, que puede comprender, por ejemplo, el sistema de mando electrónico 154 de la fuente de luz ajustable 110 y el elemento filtrante acusto-óptico 114 (véase la figura 6). Este, que a su vez puede incluir un sistema informático, produce una composición de la imagen de la muestra 180 registrada punto por punto o línea por línea.

Un desafío de los microscopios convencionales 170 se encuentra en particular en la estructura del elemento divisor de haz 174. Para este elemento divisor de haz 174 puede usarse diversos elementos conocidos por el estado de la técnica, tales como espejos dicróicos, elementos divisores de haz espacialmente estructurados o elementos divisores de haz similares. En muchos casos sin embargo, se utilizan a su vez, elementos acusto-ópticos en este elemento divisor de haz 174, de modo que el elemento divisor de haz 174 por ejemplo, mostrado en el ejemplo de fabricación en la figura 7 puede estar configurado como un elemento divisor de haz acusto-óptico 190. En el documento EP 1 281 997 A2 se muestra un ejemplo de dicho elemento divisor de haz acusto-óptico, que a su vez puede separar haces de diferentes longitudes de onda mediante un desplazamiento angular, que luego permite la división del haz.

Sin embargo, un problema de tales elementos divisores de haz, en particular los elementos divisores de haz acusto-óptico 190, es que tienen una función de transmisión con un ancho característico. Para aclarar las ventajas de usar una fuente de luz ajustable 110 de acuerdo con el invento o un elemento filtrante acusto-óptico 114, se hace referencia a la ilustración en la figura 8. En esta ilustración, se muestran funciones de transferencia típicas, representando la curva 192, la función de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico 114 (que corresponde sustancialmente a la función de transferencia de acuerdo con la figura 3), y la curva 194 representa la función de transferencia del elemento divisor de haz acusto-óptico 190.

En este caso se puede ver que la función de transferencia 194 del elemento divisor de haz acusto-óptico 190 es significativamente más ancha (en la figura 8 marcada con B_{BS}), sin embargo, la función de transferencia 192 del elemento filtrante acusto-óptico 114 es considerablemente más estrecha (en la figura 8 marcada con B_{TF}). En este caso, la distancia entre los primeros mínimos alrededor de los máximos principales 128 se designó respectivamente como "ancho". Otras definiciones de "ancho" serían posibles, por ejemplo, un ancho medio.

Es claramente reconocible que los máximos secundarios 130 de esta función de transferencia "sin limpiar" 192 del elemento filtrante acusto-óptico 114 están fuera del máximo principal de la función de transferencia 194 del elemento divisor de haz acusto-óptico 190. Sin embargo, esto significa que partes de la luz de excitación 172 que llegan a la muestra 180 y son reflejadas por ésta, no se desvían en el elemento divisor de haz acusto-óptico 190 durante el "retorno" de nuevo hacia la fuente de luz 110 y por lo tanto se mantienen alejadas del detector 188, sino que esencialmente pueden llegar sin obstáculos al detector 188. En vista del hecho de que en muchos casos la luz de detección real 182 es más débil en órdenes de magnitud, que la luz de excitación 172, esto representa un problema significativo en la detección de la luz de detección real 182.

Sin embargo, por medio del elemento filtrante acusto-óptico 114 que se muestra en la figura 7, se puede ajustar la luz de excitación 172 de la fuente de luz ajustable 110 de manera que se corte ésta en el área de los primeros mínimos secundarios. Esto significa en particular que en el espectro mostrado simbólicamente en la figura 8, solo el máximo principal 128 todavía está contenido en la luz de excitación 172. Por lo general, la función de transferencia del elemento filtrante acusto-óptico 114 está configurada de tal manera que el ancho B_{TF} es sólo la mitad del ancho B_{BS} , lo que significa una atenuación efectiva del porcentaje de luz de excitación en la luz de detección 182. De esta

forma, la calidad de la información de imagen de la muestra 180 tomada con el microscopio 170 puede mejorarse significativamente. En particular, se pueden optimizar contrastes de imagen y relaciones entre señal/ruido lo que por ejemplo, abre nuevas posibilidades de aplicación.

5 En el ejemplo de fabricación mostrado en la figura 7, el microscopio 170 comprende de este modo dos elementos acusto-ópticos, a saber, el elemento filtrante acusto-óptico 114 y el elemento divisor de haz acusto-óptico 190. Como alternativa, o además de utilizar un elemento filtrante espacial 132 en el elemento filtrante acusto-óptico 114 de la fuente de luz ajustable 110 también se puede utilizar un elemento filtrante acusto-óptico 114 con un elemento filtrante espacial 132 en el elemento divisor de haz acusto-óptico 190. Para este propósito, como se indica
10 esquemáticamente en la figura 7, también se puede configurar el elemento filtrante acusto-óptico 190 con un elemento filtrante espacial 132, el cual en este ejemplo de fabricación se introduce adicionalmente en la trayectoria del haz entre el elemento divisor del haz acusto-óptico 190 y el dispositivo de barrido 181.

15 Por ejemplo, el elemento divisor de haz acusto-óptico 190 se puede diseñar como se describe en el documento EP 1 281 997 A2, es decir, nuevamente un cristal acusto-óptico 118 con un generador de señal acústica 120. Aguas abajo de este cristal acusto-óptico 118, se puede utilizar a su vez un elemento filtrante espacial 132, por ejemplo, de nuevo un elemento filtrante espacial que tiene elementos de lente 134, 138 (en particular, un único elemento de lente sería suficiente 134), y un diafragma 136. En este caso, la eficiencia de la división de haz por medio del elemento divisor de haz acusto-óptico 190 o su función de transferencia se limitaría de tal forma que sólo la luz de excitación 172
20 llegaría al interior de un estrecho rango de longitud de onda λ_0 a la muestra 180 en torno de la longitud de onda objetivo λ_0 , sin embargo no la luz de excitación 172 con componentes espectrales distanciados de la longitud de onda objetivo λ_0 , los cuales "en la trayectoria de retorno" a partir de la prueba 180 del elemento divisor de haz acusto-óptico 190 serían desviados solo de manera insuficiente, manteniéndose de este modo alejados del detector 188. De esta manera, como una alternativa o adicionalmente, la idea del elemento filtrante acusto-óptico 114 con el
25 elemento filtrante espacial 132 se puede usar ventajosamente y aprovechar para mejorar la calidad de la imagen.

Lista de referencias

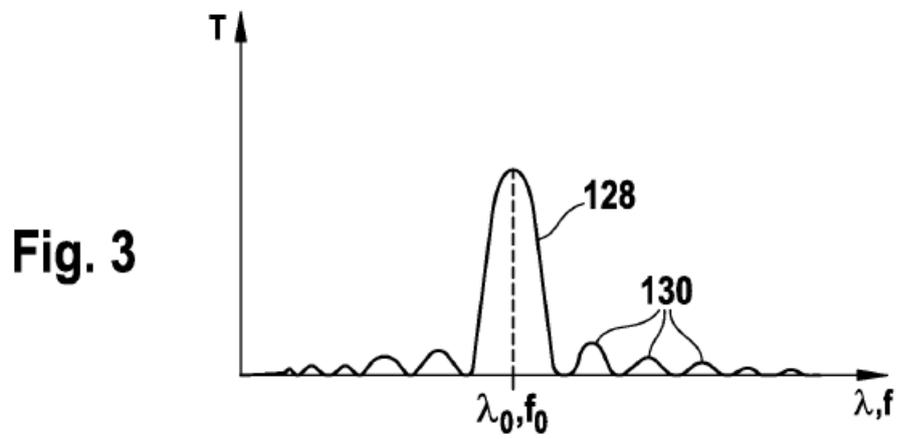
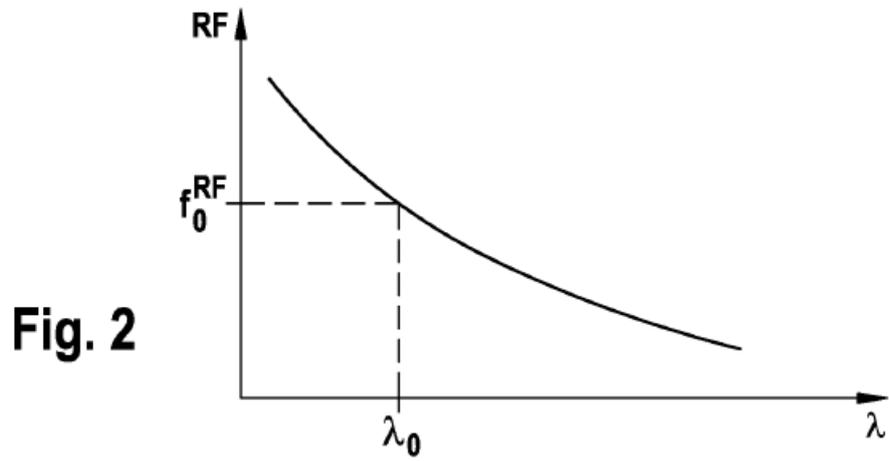
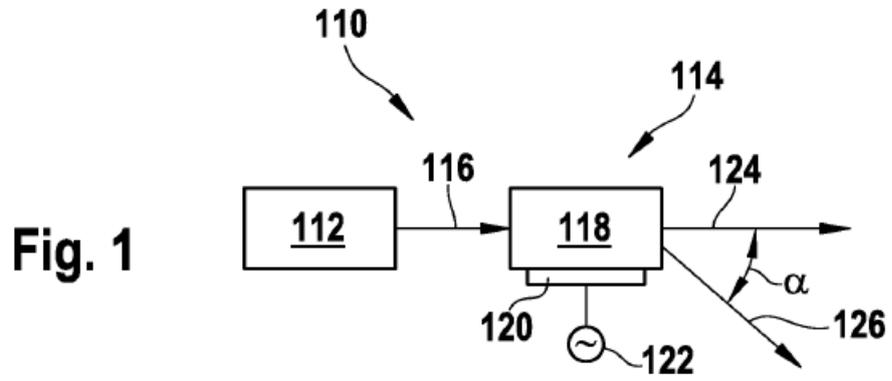
- 110 fuente de luz ajustable
- 30 112 fuente de luz coherente de banda ancha
- 114 elemento filtrante acusto-óptico
- 116 haz de luz de entrada
- 118 cristal acusto-óptico
- 120 generador de señal acústica
- 35 122 fuente de alta frecuencia
- 124 haz de luz de transmisión
- 126 haz de luz objetivo
- 128 máximo principal
- 130 máximos secundarios
- 40 132 elemento filtrante espacial
- 134 primer elemento de lente
- 136 diafragma
- 138 segundo elemento de lente
- 140 máximo principal espacial
- 45 142 máximos secundarios espaciales
- 144 cable de fibra óptica
- 146 extremo de fibra
- 148 núcleo de fibra
- 150 revestimiento de fibra
- 50 152 fibra
- 154 sistema de mando electrónico
- 156 dispositivo de calibración
- 158 fuente de luz de prueba
- 160 haz de luz de prueba
- 55 162 divisor de haz
- 164 divisor de haz
- 166 haz de detección
- 168 detector
- 170 microscopio
- 60 172 luz de excitación
- 174 elemento divisor de haz
- 176 óptica de conformación de haz
- 178 óptica

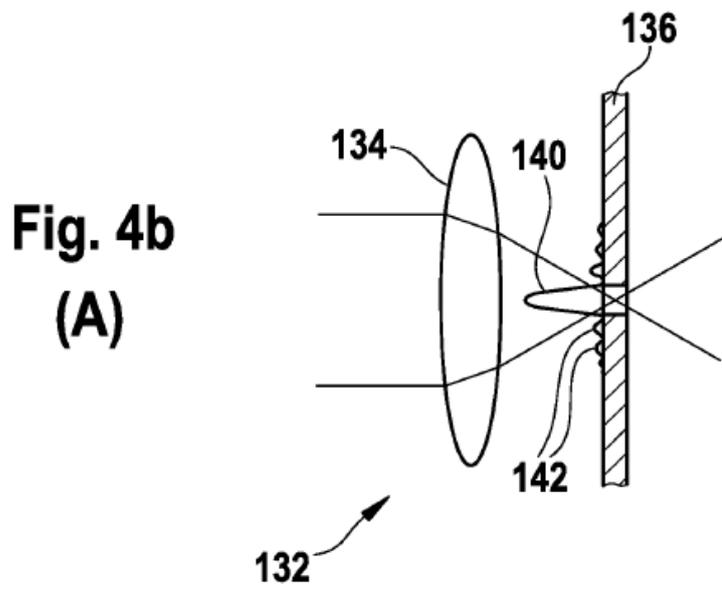
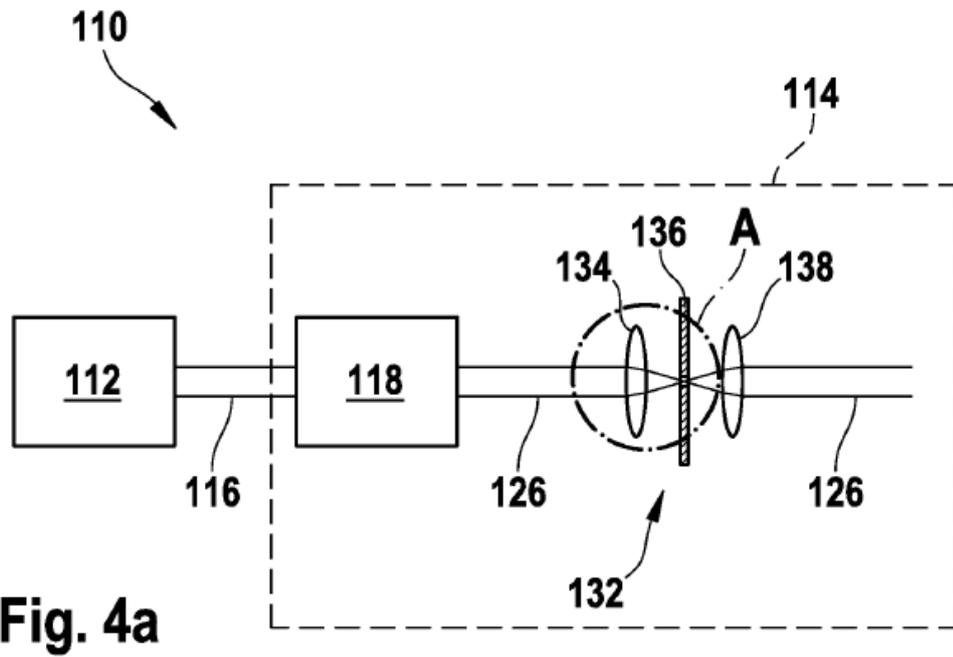
	180 muestra
	181 dispositivo de barrido
	182 luz de detección
	184 sistema de lentes
5	186 diafragma confocal
	188 detector
	190 elemento divisor del haz acusto-óptico
	192 función de transmisión AOTF
	194 función de transmisión AOBS
10	

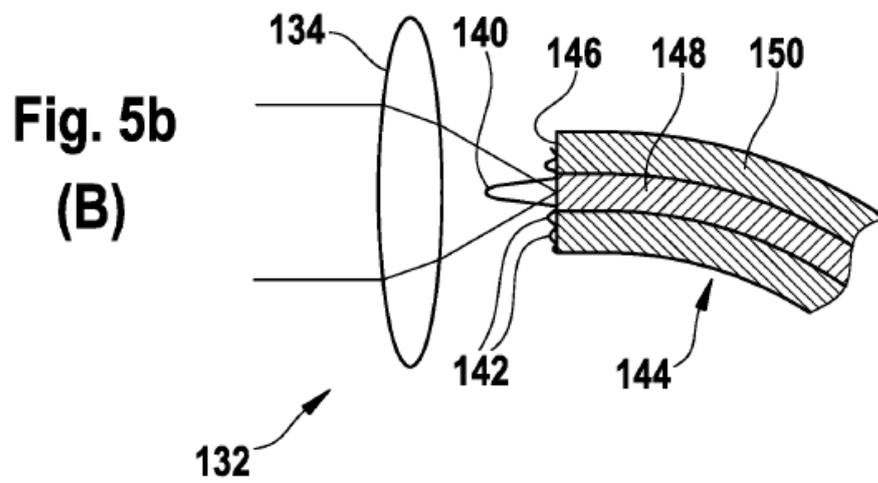
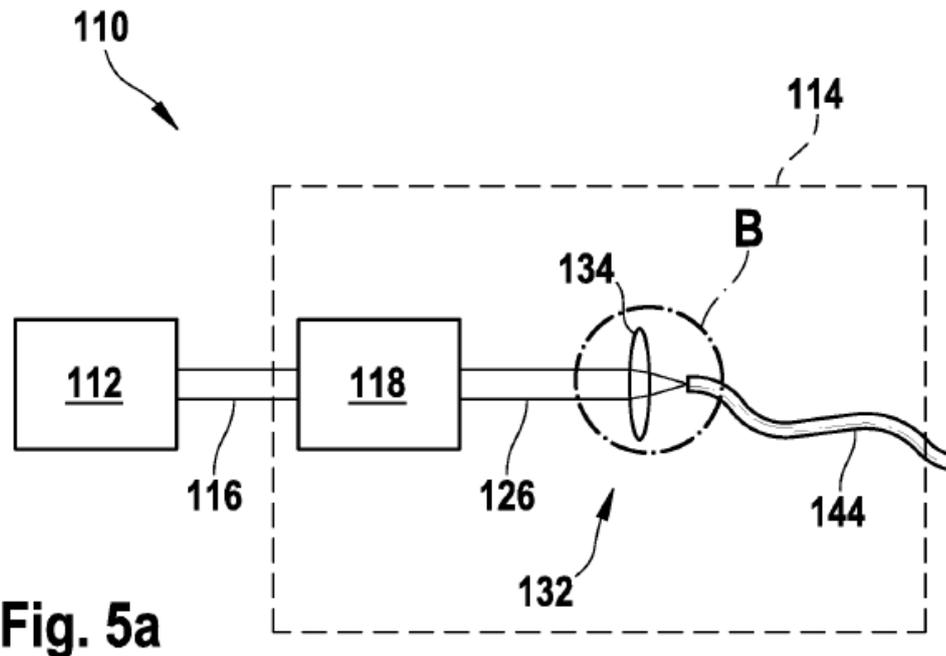
REIVINDICACIONES

- 5 1. Elemento filtrante acusto-óptico (114) que comprende un cristal acusto-óptico (118) que presenta un generador de
 10 señal acústica (120p0) para la generación de señales acústicas en el cristal acusto-óptico (118), estando el cristal
 acusto-óptico (118) configurado de acuerdo con una alta frecuencia aplicada al generador de señal acústica (120) para
 desviar selectivamente espacialmente la luz con una longitud de onda objetivo a partir de un haz de luz de entrada
 (116) que entra en el cristal acusto-óptico (118) y generar un haz de luz objetivo (126) con la longitud de onda objetivo,
 15 caracterizado por un elemento filtrante espacial (132) dispuesto en el haz de luz objetivo (126), estando el elemento
 filtrante espacial (132) configurado para atenuar selectivamente la intensidad del haz de luz objetivo (126) en un plano
 perpendicular a la dirección de propagación del haz de luz objetivo (126) y el elemento filtrante espacial (132)
 comprende un elemento de lente (134, 138) con una longitud focal variable, en particular con una longitud focal
 ajustable de forma motorizada y/o electrónica, y/o con un diafragma ajustable (136), en particular un diafragma (136)
 que presenta una abertura ajustable electrónicamente.
- 15 2. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según la reivindicación precedente, comprendiendo el elemento filtrante
 espacial (132) un elemento de lente (134, 138).
- 20 3. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el elemento
 filtrante espacial (132) un diafragma (136).
- 25 4. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el diafragma
 (136) al menos uno de los siguientes diafragmas: un diafragma con ranura, un diafragma cuadrado, un diafragma
 rectangular, un diafragma circular, un diafragma de iris.
- 30 5. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el
 elemento filtrante espacial (132) comprende una cable de fibra óptica (144) y entre un extremo (146) del cable de fibra
 óptica (144) y el cristal acusto-óptico (118) está dispuesto elemento de lente (134, 138) que está adaptado para acoplar
 una parte del haz de luz objetivo (126) al extremo (146) del cable de fibra óptica (144).
- 35 6. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según la reivindicación precedente, comprendiendo el cable de fibra óptica
 (144) una fibra mono-modo.
7. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una las dos reivindicaciones precedentes, siendo una distancia y/o una
 40 orientación del elemento de lente (134, 138) con relación al extremo (146) del cable de fibra óptica (144) ajustable,
 preferentemente electrónicamente ajustable.
8. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el
 elemento filtrante espacial (132) se ajusta de tal manera que se atenúan los máximos secundarios de un orden superior
 45 a 2 de una distribución de intensidad espacial del haz de luz objetivo (126).
9. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según la reivindicación precedente, en donde los máximos secundarios del 1^{er}
 orden se atenúan de tal forma que se transmite solo el máximo principal de la distribución de intensidad espacial del
 haz de luz objetivo (126).
- 50 10. Elemento filtrante acusto-óptico (114) según una de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un
 aparato de calibración (156), comprendiendo el aparato de calibración (156) una fuente de luz de prueba coherente
 sintonizable (158) y un detector (168), estando el aparato de calibración (156) configurado para realizar al menos uno
 de los siguientes procedimientos de calibración para determinar una función de transferencia del elemento filtrante
 acusto-óptico (114):
- la longitud de onda de la fuente de luz de prueba (158) es modificada en el caso de una alta frecuencia fija del
 generador de señal acústica (120) y se mide la intensidad del haz de luz objetivo (126);
 - la alta frecuencia del generador de señal acústica (120) se modifica en el caso de una longitud de onda fija de la
 55 fuente de luz de prueba (158) y se mide la intensidad del haz de luz objetivo (126).
11. Fuente de luz ajustable (110), que comprende una fuente de luz coherente de banda ancha (112) y un elemento
 filtrante acusto-óptico (114) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, estando la fuente de luz coherente
 de banda ancha (112) configurada para producir el haz de luz de entrada (116) del elemento filtrante acusto-óptico
 (114).
- 60 12. Fuente de luz ajustable (110) según la reivindicación precedente, comprendiendo la fuente de luz coherente de
 banda ancha (112) al menos una de las siguientes fuentes de luz: un láser de banda ancha, en particular un láser de

- luz blanca; una pluralidad de fuentes de luz láser y un aparato para superponer los rayos de la fuente de luz láser; un cable de fibra óptica con un dopaje de ensanchamiento espectral y un láser de bombeo, comprendiendo el dopaje en particular, un dopaje de tierras raras, en particular, dopaje con Er, Nd, Yb, Ho y / o un dopaje de semiconductores, en particular un dopaje-Ge; un cable de fibra óptica de ensanchamiento espectral, en particular con una fibra cónica, una fibra micro-estructurada, una fibra de cristal fotónica, una fibra Holey, una fibra fotónica de banda prohibida.
- 5
13. Microscopio (170) para registrar información de imagen de una muestra (180), que comprende una óptica de haces (176, 178, 184) y una fuente de luz ajustable (110) según una de las dos reivindicaciones precedentes.
- 10
14. Microscopio (170) de acuerdo con una de las dos reivindicaciones precedentes, estando el microscopio 170 configurado como un microscopio confocal y un divisor de haz (174) para separar la luz de excitación y la luz de detección, presentando el divisor de haz (174) una función de transferencia del divisor de haz (194), configurándose la función de transferencia (194) del elemento filtrante acusto-óptico (114) de la fuente de luz ajustable (110) mediante el ajuste del elemento filtrante espacial de tal manera, (132) que el ancho espectral del haz de luz objetivo (126) es menor
- 15
- que el ancho espectral del máximo principal de la función de transferencia del divisor de haz (194).







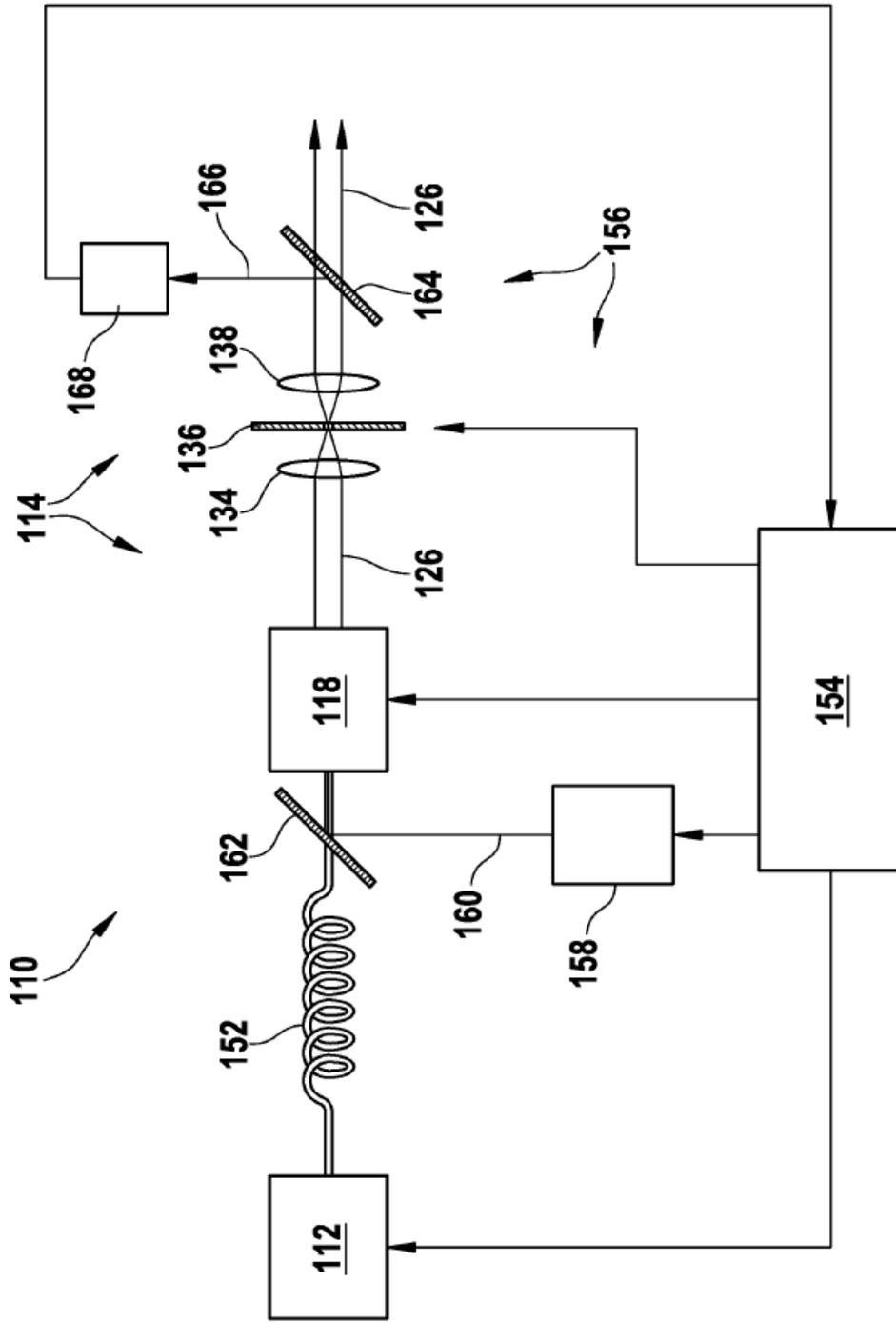


Fig. 6

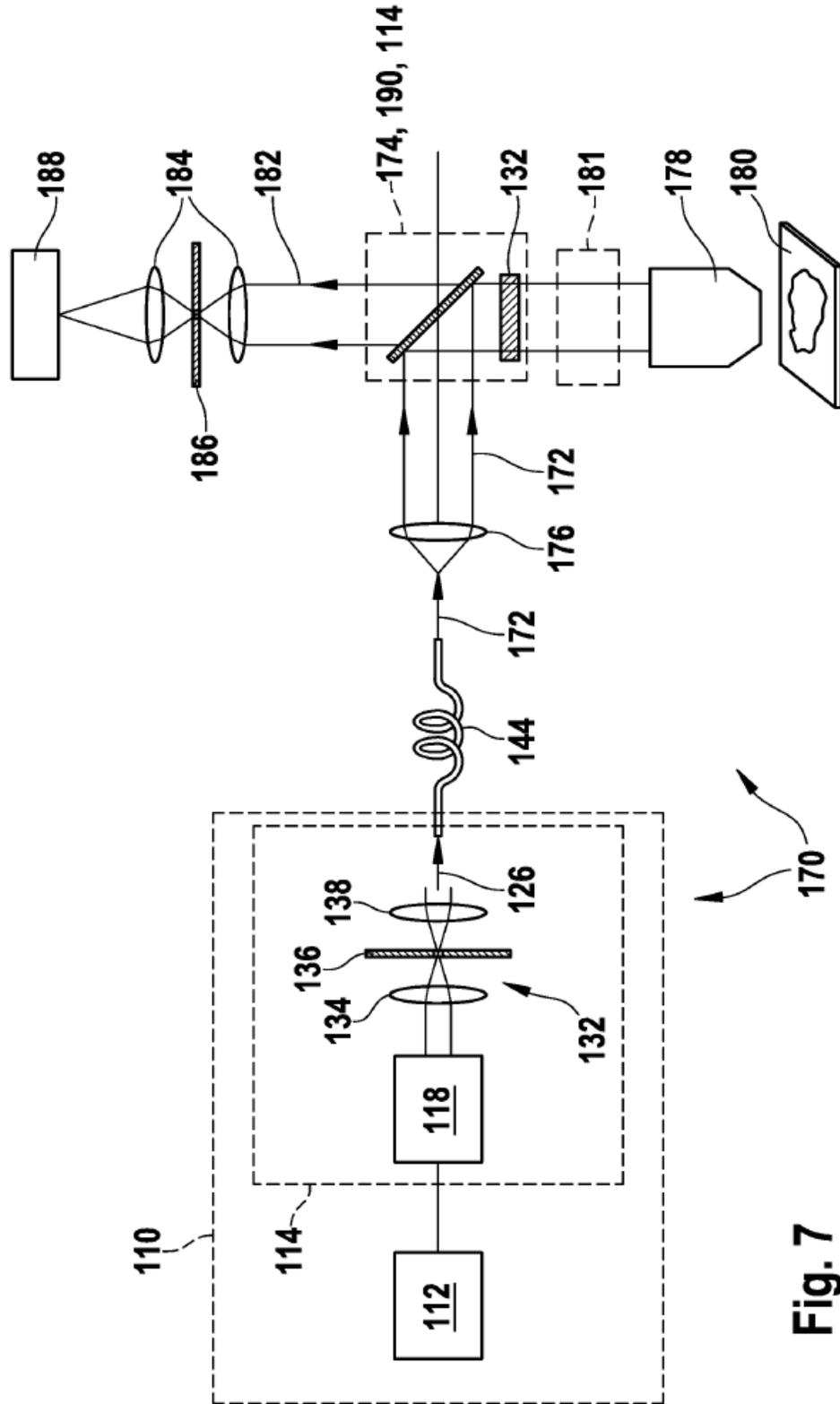


Fig. 7

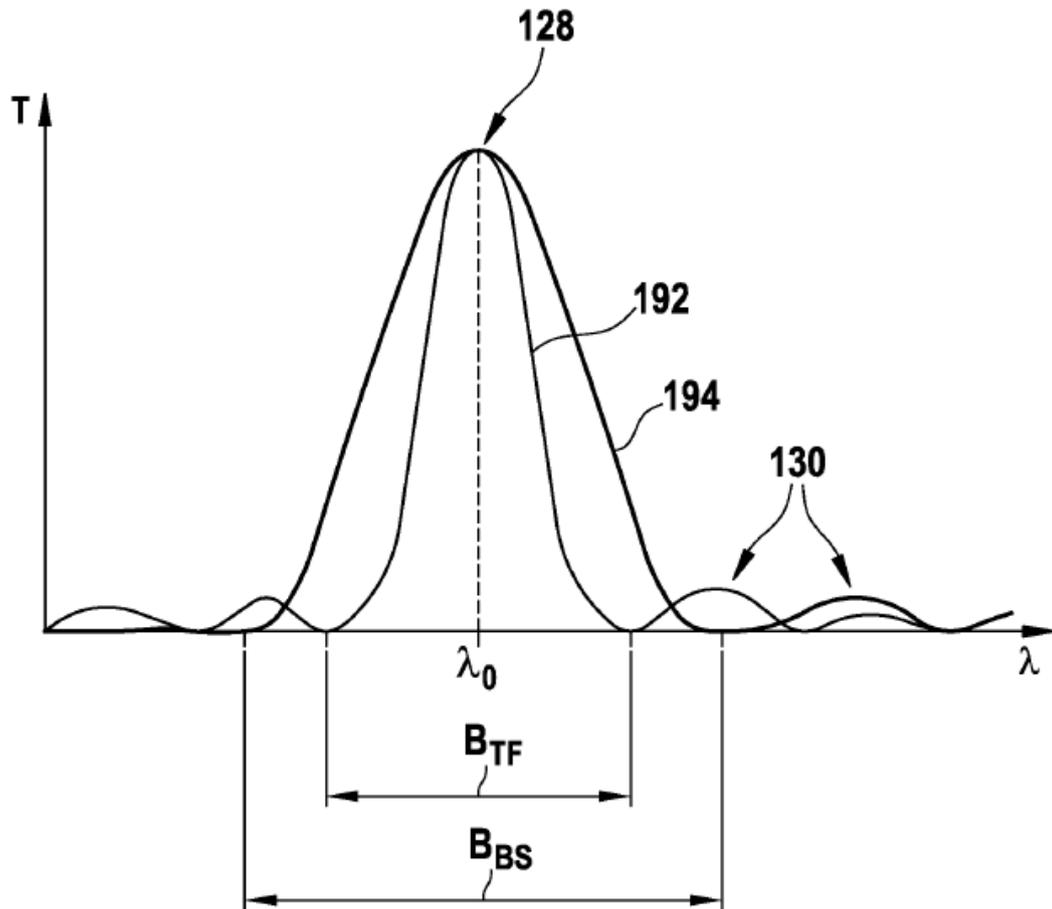


Fig. 8