

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 107**

51 Int. Cl.:

G01B 11/06 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2009 E 09744692 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2015 EP 2366092**

54 Título: **Aparato y procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto**

30 Prioridad:

13.11.2008 IT BO20080691

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

08.09.2015

73 Titular/es:

**MARPOSS SOCIETA' PER AZIONI (100.0%)
Via Saliceto 13
40010 Bentivoglio (BO), IT**

72 Inventor/es:

PHILLIPS, LEONARDO GWIN ROBERTO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 545 107 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

Aparato y procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato y a un procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto.

10 La presente invención puede aplicarse de manera ventajosa para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de porciones, u obleas, de material semiconductor (normalmente silicio), al que se hará referencia de manera explícita en la memoria descriptiva sin perjuicio de la generalidad.

15 Técnica anterior

Una porción de material semiconductor se maquina, por ejemplo, para obtener circuitos integrados u otros componentes electrónicos en el material semiconductor. En particular, cuando la porción de material semiconductor es muy delgada, la porción de material semiconductor se coloca sobre una capa de soporte (hecha normalmente de plástico o vidrio) que proporciona una mayor robustez mecánica y, por tanto, un mejor manejo. Generalmente, es necesario maquinar de manera mecánica la porción de material semiconductor mediante rectificado y pulido para obtener un grosor que sea regular y que corresponda a un valor deseado. En el transcurso de esta fase de maquinado mecánico de la porción de material semiconductor es necesario medir o mantener controlado el grosor para obtener el valor deseado.

25 Para medir el grosor de una porción de material semiconductor se conoce el utilizar cabezales de calibración que presentan sensores mecánicos que tocan una superficie superior de la porción de material semiconductor que está maquinándose. Esta tecnología de medición puede afectar a la porción de material semiconductor durante la operación de medición debido al contacto mecánico con los sensores mecánicos y no permite medir grosores muy pequeños (normalmente inferiores a 100 micrones).

30 Para medir el grosor de una porción de material semiconductor se conoce el utilizar sondas capacitivas, sondas inductivas (del tipo de corriente de Foucault o de otros tipos), o sondas de ultrasonidos. Puesto que estas tecnologías de medición son del tipo sin contacto, no afectan a la porción de material semiconductor en el transcurso de la medición y pueden medir el grosor de la porción de material semiconductor incluso cuando está presente la capa de soporte. Sin embargo, estas tecnologías de medición están limitadas tanto a las dimensiones que pueden medirse (normalmente, grosores inferiores a 100 micrones no pueden pedirse), como a la resolución máxima que puede conseguirse (normalmente no inferior a 10 micrones).

Las sondas ópticas, en algunos casos asociadas a medidas interferométricas, se usan para superar las limitaciones de las tecnologías de medición descritas anteriormente. Por ejemplo, la patente estadounidense US-A1-6437868 y la solicitud de patente japonesa publicada JP-A-08-216016 describen aparatos para medir de manera óptica el grosor de una porción de material semiconductor. Algunos de los aparatos conocidos incluyen una fuente de radiación infrarroja, un espectrómetro y una sonda óptica, que está conectada a la fuente de radiación infrarroja y al espectrómetro mediante fibra óptica, colocada de tal manera que quede enfrentada a la porción de material semiconductor que va a medirse, y que porta lentes para enfocar las radiaciones sobre la porción de material semiconductor que va a medirse. La fuente de radiación infrarroja emite un haz de radiaciones infrarrojas (que tiene generalmente una longitud de onda de 1300 nm aproximadamente), más específicamente un haz de baja coherencia que significa que no es monofrecuencia (una única frecuencia que es constante en el tiempo), sino que está compuesto por una pluralidad de frecuencias (que tienen normalmente longitudes de onda variables en un intervalo de 50 nm aproximadamente en torno al valor central). Se utilizan radiaciones infrarrojas ya que los materiales semiconductores usados actualmente están hechos de silicio, que es suficientemente transparente a las radiaciones infrarrojas. En algunos de los aparatos conocidos, la fuente de radiación infrarroja está compuesta por un SLED (diodo de emisión de luz superluminiscente) que puede emitir un haz de radiaciones infrarrojas que tienen un ancho de banda con un orden de magnitud de 50 nm aproximadamente en torno al valor central.

55 Sin embargo, incluso usando sondas ópticas asociadas a medidas interferométricas del tipo mencionado anteriormente, grosores inferiores a 10 micrones aproximadamente no pueden medirse, mientras que la industria de semiconductores demanda actualmente medir grosores de algunos o de muy pocos micrones.

60 Sumario de la invención

El objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato y un procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto, que superen los inconvenientes descritos anteriormente y que puedan implementarse de manera sencilla y económica.

65 El objetivo se consigue mediante un aparato y un procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto según lo reivindicado en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

5 A continuación se describirá la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, proporcionados a modo de ejemplo no limitativo, en los que:

- la figura 1 es una vista simplificada, con algunas partes omitidas para una mayor claridad, de un aparato según la presente invención para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de una porción de material semiconductor;
- 10 - la figura 2 es una vista lateral en sección transversal simplificada de una porción de material semiconductor cuyo grosor va a medirse;
- la figura 3 es una vista simplificada, con algunas partes omitidas para una mayor claridad, de una fuente de radiación infrarroja del aparato de la figura 1; y
- 15 - la figura 4 es un diagrama que muestra una composición de bandas llevada a cabo en la fuente de radiación infrarroja de la figura 3.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

20 En la figura 1, el número de referencia 1 indica, de manera genérica, un aparato para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto 2 formado por una porción de material semiconductor.

Según la realización ilustrada en la figura 1, que incluye características conocidas por sí mismas, la porción 2 de material semiconductor está colocada sobre una capa de soporte 3 (hecha normalmente de plástico o vidrio) que proporciona una mayor robustez mecánica y, por tanto, un manejo sencillo. Según una realización diferente, no ilustrada en el presente documento, se prescinde de la capa de soporte 3.

El aparato 1 incluye una fuente de radiación infrarroja 4, un espectrómetro 5 y una sonda óptica 6 que está conectada mediante fibra óptica a la fuente de radiación infrarroja 4 y al espectrómetro 5, dispuesta de tal manera que queda enfrentada a la porción 2 de material semiconductor que va a medirse, y que porta lentes 7 para enfocar las radiaciones sobre la porción 2 de material semiconductor que va a medirse. Normalmente, la sonda óptica 6 está dispuesta de tal manera que sea perpendicular, como se muestra en la figura 1, o esté ligeramente inclinada con respecto a la porción 2 de material semiconductor que va a medirse, estando separada la sonda óptica 6 de esta última mediante aire o un líquido, a través del cual se propagan las radiaciones infrarrojas.

35 Según la realización mostrada en la figura 1, hay una primera fibra óptica 8 que conecta la fuente de radiación 4 a un acoplador óptico 9, una segunda fibra óptica 10 que conecta el acoplador óptico 9 al espectrómetro 5, y una tercera fibra óptica 11 que conecta el acoplador óptico 9 a la sonda óptica 6. Las fibras ópticas, más específicamente la primera 8, la segunda 10 y la tercera 11 fibra óptica pueden terminar en un circulador, conocido por sí mismo y no ilustrado en la figura 1, o en otro dispositivo que sirva como el acoplador 9.

40 Según la realización ilustrada en la figura 1, el espectrómetro 5 incluye al menos una lente 12 que colima las radiaciones recibidas a través de la segunda fibra óptica 10 en un elemento difractor 13 (normalmente compuesto por una rejilla de difracción), y al menos una lente adicional 14 que enfoca las radiaciones reflejadas por el elemento difractor 13 en un detector de radiación 15 (formado normalmente por una disposición de elementos fotosensibles, por ejemplo un sensor "CCD").

45 La fuente de radiación infrarroja 4 emite un haz de baja coherencia de radiaciones infrarrojas, lo que significa que no es monofrecuencia (una única frecuencia que es constante en el tiempo), sino que está compuesto por una pluralidad de frecuencias.

50 Se utilizan radiaciones infrarrojas ya que los materiales semiconductores usados actualmente están hechos de silicio, y el silicio es suficientemente transparente a las radiaciones infrarrojas.

Según lo ilustrado en la figura 2 y conocido generalmente, durante el uso la sonda óptica 6 emite un haz de radiaciones infrarrojas I dirigido sobre la porción 2 de material semiconductor que va a medirse, y en parte (radiaciones reflejadas R1) es reflejado hacia la sonda óptica 6 mediante una superficie externa 16 sin entrar en la porción 2 de material semiconductor, y en parte (radiaciones reflejadas R2) entra en la porción 2 de material semiconductor y es reflejado hacia la sonda óptica 6 mediante una superficie interna 17 opuesta con respecto a la superficie externa 16. Debe observarse que, para un mayor entendimiento, en la figura 2 las radiaciones incidentes I y las radiaciones reflejadas R se representan formando un ángulo diferente a 90° con respecto a la porción 2 de material semiconductor. En realidad, como se ha mencionado anteriormente, estas radiaciones pueden ser perpendiculares o sustancialmente perpendiculares a la porción 2 de material semiconductor.

65 La sonda óptica 6 capta tanto las radiaciones R1 que han sido reflejadas por la superficie externa 16 que no entran en la porción 2 de material semiconductor, como las radiaciones R2 que han sido reflejadas por la superficie interna 17 que entran en la porción 2 de material semiconductor. Como se muestra en la figura 2, las radiaciones R2 que han sido

- reflejadas por la superficie interna 17 que entran en la porción 2 de material semiconductor pueden salir de la porción 2 de material semiconductor después de una reflexión en la superficie interna 17, después dos reflexiones subsiguientes en la superficie interna 17 o, más generalmente, después de un número N de reflexiones subsiguientes en la superficie interna 17. Evidentemente, después de cada reflexión, una parte de la radiación R2 sale de la porción 2 de material semiconductor a través de la superficie externa 16 hasta que la intensidad residual de las radiaciones R2 sea casi nula.
- Como se ha mencionado anteriormente, el haz de radiaciones infrarrojas está compuesto por radiaciones que tienen diferentes frecuencias (es decir, que tienen diferentes longitudes de onda).
- Entre estas radiaciones hay, con certeza, una radiación cuya longitud de onda es tal que el doble del grosor de la porción 2 de material semiconductor que va a comprobarse es igual a un múltiplo entero de la propia longitud de onda. En consecuencia, esta radiación que es reflejada por la superficie interna 17, sale de la porción 2 de material semiconductor en fase con la radiación de la misma longitud de onda reflejada por la superficie externa 16, y se añade a esta última para determinar un máximo de interferencia (interferencia constructiva). Por el contrario, una radiación que tiene una longitud de onda de manera que el doble del grosor de la porción 2 de material semiconductor que va a comprobarse es igual a un múltiplo impar de la longitud de media onda, cuando es reflejada por la superficie interna 17, sale de la porción 2 de material de semiconductor en antifase con la radiación de la misma longitud de onda reflejada por la superficie externa 16, y se añade a esta última para determinar un mínimo de interferencia (interferencia destructiva).
- El resultado de la interferencia entre las radiaciones reflejadas R1 y R2 es captado por la sonda óptica 6 y es transferido al espectrómetro 5. El espectro que es detectado por el espectrómetro 5 para cada frecuencia (es decir, para cada longitud de onda) tiene una intensidad diferente determinada por la alternancia de interferencias constructivas y destructivas. Una unidad de procesamiento 18 recibe el espectro desde el espectrómetro 5 y lo analiza mediante algunas operaciones matemáticas, conocidas por sí mismas. En particular, llevando a cabo un análisis de Fourier en función de la frecuencia y conociendo el índice de refracción del material semiconductor, la unidad de procesamiento 18 puede determinar el grosor de la porción 2 de material semiconductor procesando de manera adecuada el análisis de Fourier del espectro proporcionado por el espectrómetro 5.
- En mayor detalle, en la unidad de procesamiento 18, el espectro (como una función de la longitud de onda) se procesa, de una manera conocida por sí misma, como una función periódica que puede expresarse matemáticamente mediante una serie de Fourier. La interferencia de las radiaciones reflejadas R1 y R2 se expande como una función sinusoidal (en la que hay una alternancia de interferencias constructivas y destructivas); la frecuencia de esta función sinusoidal es proporcional a la longitud de la trayectoria óptica a través del grosor de la porción 2 de material semiconductor a través de la cual pasa la radiación. Aplicando una transformada de Fourier se determina el valor de la trayectoria óptica a través de la porción 2 de material semiconductor y, por tanto, el grosor equivalente de la porción 2 de material semiconductor (correspondiente a la mitad de la trayectoria óptica). El grosor real de la porción 2 de material semiconductor puede obtenerse fácilmente dividiendo el grosor equivalente de la porción 2 de material semiconductor por el índice de refracción del material semiconductor de la porción 2 (por ejemplo, para el silicio es igual a 3,5 aproximadamente).
- Según la presente invención, la fuente de radiación infrarroja 4 puede emitir un haz de radiación infrarroja que tiene un ancho de banda mayor que 100 nm y, preferiblemente, igual a 200 nm aproximadamente en torno al valor central. Puesto que el ancho de banda del haz de radiación infrarroja emitido por la fuente de radiación 4 es definitivamente mayor (al menos dos veces) que el ancho de banda usado en los aparatos similares conocidos, el aparato 1 descrito anteriormente puede medir grosores de unos pocos micrones, mientras que los aparatos similares conocidos no pueden medir grosores inferiores a 10 micrones. De hecho, teniendo en cuenta consideraciones teóricas y pruebas experimentales, se ha observado que aumentando considerablemente el ancho de banda del haz de radiación infrarroja emitido por la fuente de radiación 4, es posible reducir considerablemente el límite definido por el grosor más pequeño que puede medirse.
- Una realización particular también se proporciona para reducir el valor central de la banda de emisión de la fuente de radiación 4. En particular, según esta realización, el valor central de la banda de emisión de la fuente de radiación 4 está comprendido entre 1100 nm y 1300 nm, siendo normalmente de 1200 nm aproximadamente, mientras que en aparatos similares conocidos es normalmente de 1300 nm aproximadamente.
- El objetivo de tal reducción del valor central de la banda de emisión de la fuente de radiación 4 es reducir el grosor más pequeño que puede medirse; de hecho, se ha observado que reduciendo la longitud de onda de las radiaciones infrarrojas es posible medir grosores más pequeños. Debe observarse que la reducción de longitud de onda de las radiaciones infrarrojas no puede ser muy grande ya que al reducirse la longitud de onda, la transparencia del material semiconductor también se reduce y, por tanto, es más difícil realizar una medición correcta.
- Para que el ancho de banda del haz de radiación infrarroja emitido por la fuente de radiación 4 aumente considerablemente, es necesario cambiar completamente la estructura de la fuente de radiación 4 que, en los aparatos conocidos, está compuesta normalmente por un SLED (diodo de emisión de luz superluminiscente) que no puede tener un ancho de banda mayor que 50 a 60 nm.
- Según lo ilustrado en la figura 3, la fuente de radiación 4 incluye cuatro emisores distintos 20 (en particular cuatro SLED 20) que emiten haces de radiación respectivos diferentes entre sí y que se activan simultáneamente. Además, la fuente

de radiación 4 incluye un sumador óptico 21 que comprende fibras ópticas que terminan en la primera fibra óptica 8 y que permite unir en un único haz de radiación global los cuatro haces de radiación emitidos por los cuatro SLED 20.

5 El sumador óptico 21 puede implementarse, por ejemplo, por medio de uno o más acopladores o circuladores conocidos por sí mismos de una manera conocida por sí misma y, por tanto, no ilustrada en detalle en el presente documento. El haz de radiación emitido por cada SLED 20 tiene una banda de longitudes de onda que es diferente de, y sustancialmente complementaria a, las bandas de longitud de onda de los haces de radiación emitidos por los otros SLED 20, de tal manera que el ancho de banda L_U del haz de radiación global compuesto por la unión de los cuatro haces de radiación de los SLED 20 individuales tiene un ancho de banda que es definitivamente mayor que el ancho de banda $L_{1,4}$ del haz de radiación emitido por cada SLED 20.

10 La figura 4 muestra, de manera muy esquemática y con el mero fin de facilitar el entendimiento, un diagrama de composición de los diferentes anchos de banda $L_{1...4}$ emitidos por cada SLED 20. En principio, el ancho de banda global L_U es igual a la suma del ancho de banda $L_{1...4}$ del haz de radiación emitido por cada SLED 20. En la práctica se producen fenómenos de solapamiento notables entre las radiaciones de bandas adyacentes; sin embargo, tales fenómenos no impiden obtener un ensanchamiento considerable de la banda completa.

15 Como un ejemplo, en las realizaciones ilustradas en las figuras 3 y 4, la fuente de radiación 4 incluye cuatro SLED 20; evidentemente, el número de SLED 20 puede ser diferente (por ejemplo, dos, tres o más de cuatro) dependiendo de las características de los SLED 20 disponibles en el mercado y en función del ancho de banda global L_U deseado.

20 El ejemplo mostrado en la figura 2 se refiere al caso particular de una única porción 2 de material semiconductor colocada sobre una capa de soporte 3. Sin embargo, las aplicaciones de un aparato y un procedimiento según la presente invención no están limitadas a la comprobación dimensional de piezas de este tipo. De hecho, tales aparatos y procedimientos también pueden utilizarse, por ejemplo, para medir el grosor de una o más porciones 2 de material semiconductor y/o de capas hechas de otros materiales colocadas en una estructura de múltiples caspas conocida por sí misma.

25 El aparato 1 descrito anteriormente tiene muchas ventajas ya que puede implementarse de manera sencilla y económica, y especialmente permite medir grosores que son definitivamente más pequeños que los medidos por aparatos similares conocidos. Es importante observar que modificando solamente la fuente de radiación 4 es posible implementar el aparato 1 descrito anteriormente utilizando un aparato existente, lo que implica por tanto una menor complejidad de actualización y menos costes.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Aparato (1) para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto (2) que presenta una superficie externa (16) y una superficie interna (17) opuesta con respecto a la superficie externa (16), incluyendo el aparato (1):
- una fuente de radiación (4) que emite un haz de baja coherencia de radiaciones (I) compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una banda determinada;
- 10 un espectrómetro (5) que analiza el espectro del resultado de la interferencia entre radiaciones (R1) que son reflejadas por la superficie externa (16) que no entran en el objeto (2) y radiaciones (R2) que son reflejadas por la superficie interna (17) que entran en el objeto (2);
- 15 una sonda óptica (6) que está conectada mediante fibras ópticas (8, 10, 11) a la fuente de radiación (4) y al espectrómetro (5), y que está dispuesta de tal modo que está enfrentada al objeto (2) que va a medirse para dirigir el haz de radiaciones (I) emitido por la fuente de radiación (4) hacia la superficie externa (16) del objeto (2) y para captar las radiaciones (R) que son reflejadas por el objeto (2); y
- una unidad de procesamiento (18) que calcula el grosor del objeto (2) en función del espectro proporcionado por el espectrómetro (5);
- 20 estando caracterizado el aparato (1) por el hecho de que la fuente de radiación (4) incluye al menos dos emisores distintos (20) que emiten haces de radiación respectivos que difieren entre sí en su banda de longitudes de onda de modo que el ancho de banda combinado es mayor que el ancho de banda de cada emisor, y que se activan simultáneamente.
- 25 2.- Aparato (1) según la reivindicación 1, en el que la fuente de radiación (4) incluye un sumador óptico (21) que permite unir en un único haz de radiación global los haces de radiación emitidos por los emisores (20) de tal manera que la fuente de radiación (4) emite un haz de radiación global.
- 3.- Aparato (1) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la fuente de radiación (4) emite un haz de radiación cuyo ancho de banda es mayor que 100 nm en torno a un valor central.
- 30 4.- Aparato (1) según la reivindicación 3, en el que la fuente de radiación (4) emite un haz de radiación cuyo ancho de banda es de 200 nm aproximadamente en torno al valor central.
- 5.- Aparato (1) según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el que el valor central está comprendido entre 1100 nm y 35 1300 nm.
- 6.- Aparato (1) según la reivindicación 5, en el que el valor central es de 1200 nm aproximadamente.
- 40 7.- Aparato (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el haz de radiación emitido por cada emisor (20) tiene su propia banda de longitudes de onda que es diferente de, y sustancialmente complementaria a, las bandas de longitudes de onda de los haces de radiación emitidos por los otros emisores (20).
- 45 8.- Aparato (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la fuente de radiación (4) incluye al menos cuatro emisores (20).
- 9.- Aparato (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que cada emisor (20) incluye un SLED.
- 50 10.- Aparato (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el objeto (2) es una porción de material semiconductor.
- 11.- Aparato (1) según la reivindicación 10, en el que el objeto (2) es una porción de silicio.
- 55 12.- Procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto (2) que presenta una superficie externa (16) y una superficie interna (17) opuesta con respecto a la superficie externa (16), incluyendo el procedimiento las etapas de:
- emitir un haz de baja coherencia de radiaciones (I) compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una banda determinada por medio de una fuente de radiación (4);
- 60 dirigir el haz de radiaciones (I) sobre la superficie externa (16) del objeto (2) por medio de una sonda óptica (6);
- captar las radiaciones (R) que son reflejadas por el objeto (2) por medio de la sonda óptica (6);
- analizar por medio de un espectrómetro (5) el espectro del resultado de la interferencia entre radiaciones (R1) que son reflejadas por la superficie externa (16) que no entran en el objeto (2) y radiaciones (R2) que son reflejadas por la superficie interna (17) que entran en el objeto (2); y
- 65 determinar el grosor del objeto (2) en función del espectro proporcionado por el espectrómetro (5);
- estando caracterizado el procedimiento por el hecho de que incluye las etapas adicionales de:

- 5 activar simultáneamente al menos dos emisores distintos (20) de la fuente de radiación (4) que emiten haces de radiación respectivos que difieren entre sí en su banda de longitudes de onda de modo que el ancho de banda combinado es mayor que el ancho de banda de cada emisor; y unir en un único haz de radiación los haces de radiación emitidos por los emisores (20) de tal manera que la fuente de radiación (4) emite un haz de radiación global.

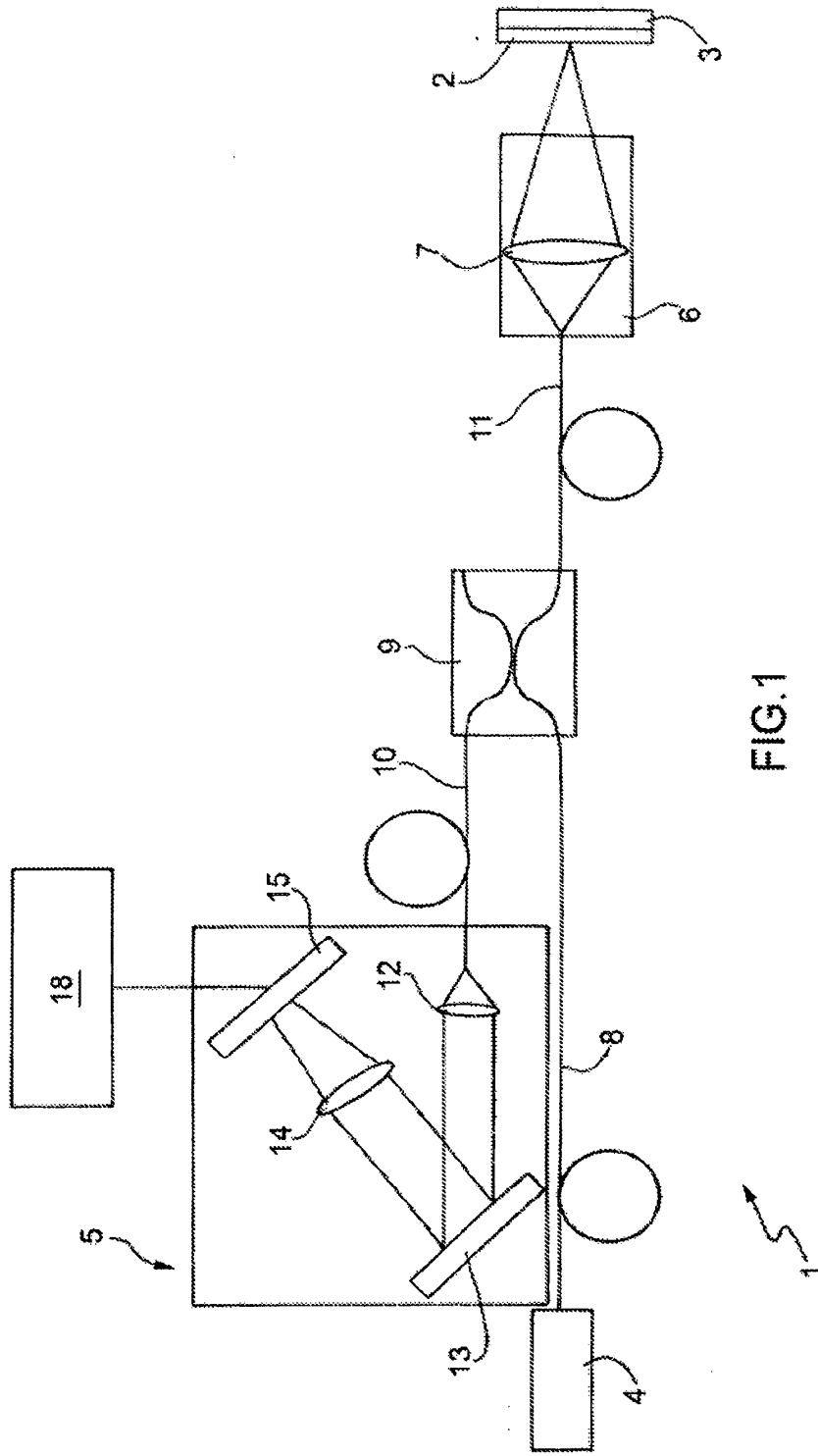


FIG.1

