

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 731**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2009 E 09753099 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.12.2014 EP 2366093**

54 Título: **Procedimiento, disposición de medición y aparato para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto**

30 Prioridad:

**17.11.2008 IT BO20080694**

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

**31.03.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ZIPRANI, FRANCESCO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 532 731 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

Procedimiento, disposición de medición y aparato para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto

5

Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento, a una disposición de medición y a un aparato 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, aunque no necesariamente, 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 una condición de 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.

20

Una disposición conocida para medir el grosor de una porción de material semiconductor utiliza 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 valores de grosor muy pequeños (normalmente inferiores a 100 micrones).

25

Se conocen otras disposiciones diferentes para medir el grosor de una porción de material semiconductor, tales como sondas capacitivas, sondas inductivas (del tipo de corriente de Foucault o de otros tipos), o sondas de ultrasonidos. 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 sin necesidad de retirar la capa de soporte. Sin embargo, algunas de estas tecnologías de medición pueden ofrecer un rango limitado de dimensiones medibles ya que, normalmente, no pueden medirse valores de grosor inferiores a 100 micrones.

30

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 con, por ejemplo, un ancho de banda de longitud de onda útil de 1300 nm aproximadamente, constituyendo así un haz de baja coherencia. La baja coherencia se opone a la monofrecuencia (frecuencia única que es constante en el tiempo), siendo representativa de la disponibilidad de una pluralidad de frecuencias en función del principio de emisión implementado en la fuente de radiación. Se utilizan radiaciones infrarrojas ya que los materiales semiconductores actualmente usados están hechos principalmente 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.

35

40

45

50

55

Sin embargo, incluso usando sondas ópticas asociadas a medidas interferométricas del tipo mencionado anteriormente, objetos que tienen un grosor inferior a 10 micrones aproximadamente no pueden medirse o comprobarse, en el transcurso de la fase de maquinado mecánico de los mismos, con una fiabilidad aceptable, mientras que la industria de semiconductores está demandando actualmente medir valores de grosor de algunos o de muy pocos micrones y llevar a cabo la comprobación en la fábrica y dentro de los tiempos muy limitados permitidos por los ciclos de maquinado.

60

Sumario de la invención

El objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento, una disposición de medición y un aparato 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 procedimiento, una disposición de medición y un aparato 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:

- 10 - 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;
- la figura 2 es una vista lateral en sección transversal simplificada de una porción de material semiconductor cuyo grosor va a medirse;
- 15 - 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;
- la figura 4 es una vista simplificada, con algunas partes omitidas para una mayor claridad, de una disposición de medición según la presente invención para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de una porción de material semiconductor;
- la figura 5 es un gráfico relativo a la absorción de radiación en una porción de silicio;
- 20 - la figura 6 es una vista simplificada, con algunas partes omitidas para una mayor claridad, de una disposición de medición según una realización diferente de la presente invención para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de una porción de material semiconductor; y
- la figura 7 es una vista simplificada, con algunas partes omitidas para una mayor claridad, de una disposición de medición adicional según la presente invención para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de una porción de material semiconductor.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

30 En la figura 1, el número de referencia 1 indica, de manera genérica, una disposición de medición, más específicamente un aparato para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto 2 formado por una porción de material semiconductor. Debe observarse, tal como se explicará en detalle en el presente documento, que la porción 2 también representa una única capa y una pluralidad de capas, según los diversos requisitos de diseño de la porción de material semiconductor.

35 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 un manejo sencillo. Según una realización diferente, no ilustrada en el presente documento, se prescinde de la capa de soporte 3.

40 El aparato 1 incluye una fuente de radiación infrarroja 4, un espectrómetro 5 y una sonda óptica 6 que está conectada mediante líneas de 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 ligeramente inclinada con respecto a la superficie externa de la porción 2 de material semiconductor que va a medirse, estando separada la sonda óptica 6 de esta última mediante aire, un líquido o cualquier otro medio transmisor adecuado a través del cual se propagan las radiaciones infrarrojas.

50 Según la realización mostrada en la figura 1, hay una primera línea de fibra óptica 8 que conecta la fuente de radiación 4 a un acoplador óptico 9, una segunda línea de fibra óptica 10 que conecta el acoplador óptico 9 al espectrómetro 5, y una tercera línea de fibra óptica 11 que conecta el acoplador óptico 9 a la sonda óptica 6. La primera 8, la segunda 10 y la tercera 11 líneas de fibra óptica pueden terminar en un circulador, conocido por sí mismo y no ilustrado en la figura 1, o en otro dispositivo que sirve como el acoplador 9. 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 línea de fibra óptica 10 en un elemento difractor 13 (tal como una rejilla de difracción o cualquier otro dispositivo de funcionalidad equivalente), 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 de indio, galio y arsénico). 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.

60 En una realización preferida se utilizan radiaciones infrarrojas ya que los materiales semiconductores usados actualmente están hechos principalmente de silicio, y el silicio es suficientemente transparente a las radiaciones infrarrojas.

65

Según lo ilustrado en la figura 2 y conocido generalmente, la sonda óptica 6 emite un haz de radiaciones infrarrojas I dirigido sobre la porción 2 de material semiconductor que va a medirse. Parte de tales radiaciones I (radiaciones reflejadas R1) vuelve reflejada a la sonda óptica 6 mediante una superficie externa 16 sin entrar en la porción 2 de material semiconductor. Otra parte de las radiaciones infrarrojas I (radiaciones reflejadas R2) entran en la porción 2 de material semiconductor y vuelven reflejadas a 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 posición de la porción 2 de material semiconductor. En realidad, como se ha mencionado anteriormente, estas radiaciones, más específicamente su propagación, pueden ser perpendiculares o sustancialmente perpendiculares a la posición de la porción 2 de material semiconductor.

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 las radiaciones 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. Debe observarse que, debido a las mismas leyes físicas, las partes de energía pueden perderse, ya que son transportadas por radiaciones que salen de la porción 2 de material semiconductor a través de la superficie 17 hacia la capa de soporte 3. 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).

Dado un valor nominal para el grosor de la porción 2 de material semiconductor que va a comprobarse, las frecuencias de radiación disponibles en la fuente de radiación 4 se eligen para que haya con certeza una radiación cuya longitud de onda sea tal que el doble del grosor óptico de la porción 2 sea igual a un múltiplo entero de la propia longitud de onda. El grosor óptico se tomará como la longitud de la trayectoria transversal de la radiación a través de la porción 2. En consecuencia, esta radiación, cuando 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 óptico 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 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 desde el espectrómetro 5 información representativa del espectro y la analiza mediante algunas operaciones matemáticas, conocidas por sí mismas. En particular, llevando a cabo un análisis de Fourier de la información espectral recibida desde el espectrómetro 5 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.

En mayor detalle, en la unidad de procesamiento 18, la información espectral recibida (como una función de la longitud de onda) puede correlacionarse con una función periódica y procesarse de manera adecuada, de una manera conocida por sí misma, como una función periódica que puede expresarse matemáticamente mediante la modelización de una serie de Fourier. El patrón de interferencia característico de las radiaciones reflejadas R1 y R2 se expande como una función sinusoidal (en la que hay una alternancia de fenómenos de interferencia constructiva y destructiva); la frecuencia de esta función sinusoidal es proporcional a la longitud del grosor óptico de la porción 2 de material semiconductor a través de la cual se propaga la radiación. Finalmente, tomando la transformada de Fourier de la función sinusoidal mencionada anteriormente puede determinarse el valor de la trayectoria óptica a través de la porción 2 de material semiconductor y, por tanto, el grosor óptico 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 óptico de la porción 2 de material semiconductor por el índice de refracción del material semiconductor de la porción 2 (por ejemplo, el índice de refracción del silicio asciende a 3,5 aproximadamente).

Como se ha descrito anteriormente, la trayectoria óptica (y por tanto el grosor) se determina según la frecuencia de la función sinusoidal. Por la aplicación de leyes físicas conocidas puede demostrarse que el límite inferior del valor de grosor que puede medirse directamente es inversamente proporcional al tamaño del intervalo continuo de números de onda disponibles en la banda de las radiaciones usadas, siendo el número de onda el recíproco de la longitud de onda.

Según lo ilustrado en la figura 3, la fuente de radiación 4 incluye un emisor 19 que emite un primer haz de radiación de baja coherencia compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una primera banda, un emisor 20 que emite un

segundo haz de baja coherencia de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una segunda banda diferente de la primera banda, y un conmutador 21 que permite utilizar de manera alternante el emisor 19 o el emisor 20 dependiendo del grosor de la porción 2 de material semiconductor. Según una realización preferida, la fuente de radiación 4 incluye un transportador óptico 22 que comprende fibras ópticas que terminan en la primera línea de fibra óptica 8 y que está adaptado para transferir los haces de radiación emitidos por los dos emisores 19 y 20 hacia la primera línea de fibra óptica 8. Por ejemplo, el transportador óptico 22 puede implementarse por medio de uno o más acopladores o circuladores, conocidos por sí mismos, de una manera conocida y por tanto no ilustrada en detalle en el presente documento. El conmutador 21 puede implementarse, por ejemplo, mediante un conmutador óptico que termina en los emisores 19 y 20 en un extremo y en la primera línea de fibra óptica 8 en el otro extremo, o, de otro modo, como se ilustra de manera simplificada en la figura 3, como un dispositivo que activa de manera alternante el emisor 19 o el emisor 20. En esta realización, ambos emisores 19 y 20 están siempre conectados de manera óptica a la primera línea de fibra óptica 8, y el conmutador 21 solo actúa en el control eléctrico de los emisores 19 y 20 habilitando siempre un solo emisor 19 ó 20 a la vez, mientras que el otro emisor 20 ó 19 permanece apagado.

Dicho de otro modo, en virtud de la acción del conmutador 21, la fuente de radiación 4 emite de manera alternante dos haces de radiación diferentes que tienen bandas de emisión diferenciadas, o bandas, dependiendo del grosor del objeto 2 que va a comprobarse. La primera banda del primer haz de radiación emitido por el emisor 19 tiene un primer valor central que es mayor que un segundo valor central de la segunda banda del segundo haz de radiación emitido por el emisor 20. Las dos bandas de emisión y sus valores centrales respectivos se eligen con vistas a dar como resultado una mejora de tamaño del intervalo continuo de números de onda disponibles en la primera línea de fibra óptica 8 en virtud de una estrategia de combinación descrita en el presente documento.

El conmutador 21 habilita el primer emisor 19 cuando el grosor del objeto 2 es mayor que un umbral predeterminado, y habilita el segundo emisor 20 cuando el grosor del objeto 2 es menor que el umbral predeterminado. De esta manera, el primer haz de radiación que presenta la primera banda con el primer valor central, más alto, se usa cuando el grosor del objeto 2 es mayor que el umbral predeterminado, mientras que el segundo haz de radiación que presenta la segunda banda con el segundo valor central, más bajo, se usa cuando el grosor del objeto 2 es menor que el umbral predeterminado.

Como un ejemplo, cuando la porción 2 de material semiconductor está hecho de silicio, el primer valor central de la primera banda está comprendido entre 1200 nm y 1400 nm, y el segundo valor central de la segunda banda está comprendido entre 700 nm y 900 nm; además, en este caso, el umbral predeterminado está comprendido entre 5 micrones y 10 micrones.

Según consideraciones teóricas y pruebas experimentales, se ha observado que reduciendo el valor central de la banda de longitud de onda del haz de las radiaciones I que es dirigido hacia la porción 2 de material semiconductor (es decir, reduciendo la longitud de onda de las radiaciones I y aumentando consecuentemente el tamaño del intervalo continuo de números de onda disponibles en las radiaciones I) es posible reducir considerablemente el límite definido por el grosor medible más pequeño. Debe observarse que la reducción de longitud de onda de las radiaciones I no puede superar las restricciones establecidas por determinadas relaciones físicas entre la reflectancia y la absorbencia de la porción 2 de material semiconductor y la longitud de onda de radiación ya que al reducirse la longitud de onda también se reduce la transparencia del material semiconductor, y la pérdida resultante de energía de radiación hace más difícil que se tome una medición correcta.

La presente invención saca partido del hecho de que un material semiconductor es totalmente o casi totalmente opaco a radiaciones que tienen longitudes de onda que son más pequeñas que un determinado valor pequeño. Reduciendo la longitud de onda, la parte de radiación que entra en el material se reduce, y el grosor a través del cual puede pasar la radiación también se reduce, debido al fenómeno de absorción del material.

Sin embargo, cuando el grosor de la porción de silicio es inferior a 10 micrones aproximadamente, la contribución de absorción a la pérdida de energía de radiación se reduce, haciendo que la propia porción de silicio sea suficientemente transparente a (es decir, que permita el paso de) radiaciones que tienen longitudes de onda más pequeñas, incluso en el rojo visible y más allá.

En relación con lo anterior, el gráfico de la figura 5 muestra cómo la transmitancia de radiaciones en la porción de silicio varía, más específicamente disminuye, cuando el grosor de esta última aumenta. En la figura 5, la línea discontinua 24 se refiere a una longitud de onda relativamente más larga (por ejemplo, 1200 nm), mientras que la línea continua 25 se refiere a una longitud de onda más corta (por ejemplo, 826 nm). Es posible observar que el fenómeno de absorción es insignificante para longitudes de onda largas y que aumenta cuando la longitud de onda de radiación disminuye. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, cuando el grosor es pequeño, la porción es suficientemente transparente incluso a radiaciones de longitudes de onda relativamente cortas.

Según una característica adicional de la presente invención, la potencia del segundo emisor 20 puede controlarse de modo que tal potencia aumente con el fin de evitar que la pérdida de energía de radiación debida a la absorción pueda comprometer la consecución de resultados apropiados.

Cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es mayor que el umbral predeterminado, se usa el primer emisor 19, el cual emite el primer haz de radiación que tiene longitudes de onda más largas.

Cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es menor que el umbral predeterminado, se usa el emisor 20, el cual emite el segundo haz de radiación que tiene longitudes de onda más cortas. La utilización del segundo haz de radiación que tiene longitudes de onda más cortas (lo cual es únicamente posible cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es pequeño) permite medir valores de grosor de la porción 2 de material semiconductor que son mucho más pequeños que los valores que pueden medirse cuando se usa el primer haz de radiación, que tiene longitudes de onda más largas.

El conmutador 21 puede controlarse manualmente por un operador, que envía señales de control al conmutador 21, por ejemplo mediante un teclado, dependiendo de si el grosor esperado de la porción 2 de material semiconductor es mayor o menor que el umbral predeterminado, y por tanto que controla el conmutador 21 para activar el emisor 19 o el emisor 20. Como una alternativa, el conmutador 21 puede controlarse automáticamente por la unidad de procesamiento 18. En este caso, el conmutador 21 puede controlarse de manera empírica: la unidad de procesamiento 18 hace que el emisor 19 se habilite y comprueba si puede obtenerse una estimación fiable del grosor de la porción 2 de material semiconductor. En caso afirmativo y en caso de que el grosor estimado de la porción 2 de material semiconductor sea mayor que el umbral predeterminado, habilitar el emisor 19 es lo adecuado, mientras que en caso negativo y/o en caso de que el grosor estimado de la porción 2 de material semiconductor sea más pequeño que (o incluso próximo a) el umbral predeterminado, la unidad de procesamiento 18 habilita el emisor 20 (e inhabilita el emisor 19) y comprueba si puede obtenerse una estimación fiable del grosor de la porción 2 de material semiconductor. En caso de que puedan obtenerse dos estimaciones fiables del grosor de la porción 2 de material semiconductor usando posteriormente los haces de ambos emisores 19 y 20 (normalmente cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor está en un intervalo en torno al umbral predeterminado), se supone que el grosor medido de la porción 2 de material semiconductor es igual a una de las dos evaluaciones, o se supone que es igual a un promedio (en caso de un promedio ponderado) entre las dos estimaciones.

Como un ejemplo, en la realización mostrada en la figura 3, la fuente de radiación 4 incluye dos emisores 19 y 20; evidentemente, puede haber más de dos emisores (normalmente, no más de tres o como mucho cuatro emisores).

Por ejemplo, en caso de tres emisores, se determinan previamente dos valores de umbral; cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es mayor que un primer umbral predeterminado, se activa un primer emisor que emite un primer haz de radiación con una primera banda caracterizada por longitudes de onda más largas; cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor está entre los dos umbrales predeterminados, se activa un segundo emisor que emite un segundo haz de radiación con una segunda banda caracterizada por longitudes de onda intermedias; y cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es menor que un segundo umbral predeterminado, se activa un tercer emisor que emite un tercer haz de radiación con una tercera banda caracterizada por longitudes de onda más cortas.

Preferiblemente, cada emisor 19 ó 20 está formado por un SLED (diodo de emisión de luz superluminiscente).

Según la realización mostrada en la figura 3, puede usarse un único aparato 1 que incluye el espectrómetro 5, la sonda óptica 6 y la fuente de radiación 4 que comprende a su vez los dos emisores 19 y 20, y el conmutador 21 que activa de manera alternante el emisor 19 o el emisor 20 en función del grosor de la porción 2 de material semiconductor.

Según una realización diferente ilustrada en la figura 4, hay una disposición de medición o estación 23 que incluye dos aparatos individuales indicados en la figura 4 con los números de referencia 1a y 1b, comprendiendo cada aparato su propio espectrómetro 5a (y 5b), sonda óptica 6a (y 6b), acoplador óptico 9a (y 9b) y fuente de radiación 4a (y 4b), y un conmutador 21 que habilita de manera alternante el aparato 1a o el aparato 1b dependiendo del grosor del objeto 2. Ambos espectrómetros 5a y 5b están conectados a la misma unidad de procesamiento 18 para determinar el grosor de la porción 2 en función del espectro recibido. En esta realización, la fuente de radiación 4a del aparato 1a emite el primer haz de radiación compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en la primera banda, mientras que la fuente de radiación 4b del aparato 1b emite el segundo haz de radiación compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en la segunda banda, diferente de la primera banda. En la realización ilustrada en la figura 4, los dos aparatos 1 siempre pueden estar activados (en este caso, se prescinde del conmutador 21). Generalmente (es decir, cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor es muy diferente al umbral predeterminado) uno solo de los dos aparatos 1a y 1b proporciona a la unidad de procesamiento 18 información espectral que ofrece una estimación fiable del grosor de la porción 2 de material semiconductor, mientras que en casos particulares (es decir, cuando el grosor de la porción 2 de material semiconductor está en un intervalo en torno al umbral predeterminado) ambos aparatos 1a y 1b proporcionan a la unidad de procesamiento 18 información espectral que ofrece una estimación fiable del grosor de la porción 2 de material semiconductor. Como se ha descrito anteriormente, en esta situación se supone que el grosor medido de la porción 2 de material semiconductor es igual a una de las dos estimaciones, o se supone que es igual a un promedio (en caso de un promedio ponderado) entre las dos estimaciones. La Figura 6 muestra una disposición de medición diferente 26 según la presente invención. La disposición de medición 26 es sustancialmente similar a la estación 23 de la figura 4, pero incluye dos ensamblados individuales indicados con los números 1c y 1d, y una única sonda óptica 6cd, en lugar de dos aparatos completamente independientes. En la figura 6 se muestran espectrómetros 5a, 5b, acopladores ópticos 9c,

9d y fuentes de radiación 4c, 4d para cada ensamblado 1c, 1d. El funcionamiento de la disposición de medición 26 es similar al de la estación 23, y el conmutador 21 habilita de manera alternante el ensamblado 1c o el ensamblado 1d dependiendo del grosor del objeto 2. Las fuentes de radiación 4c y 4d pueden emitir un primer y un segundo haz de radiación con longitudes de onda en dos bandas diferentes, por ejemplo la primera banda mencionada anteriormente con el primer valor central y la segunda banda mencionada anteriormente con el segundo valor central más pequeño que el primer valor central, respectivamente. El primer espectrómetro 5c y el segundo (o adicional) espectrómetro 5d son diferentes entre sí, incluyendo, por ejemplo, diferentes rejillas de difracción y detectores de radiación que presentan cada uno las características adecuadas para funcionar con radiaciones que tienen longitudes de onda en dicha primera y, respectivamente, dicha segunda banda.

Otra disposición de medición 27 según la presente invención se muestra en la figura 7. La disposición de medición 27 incluye sustancialmente un aparato con una fuente de radiación 4ef, un acoplador óptico 9ef, una sonda óptica 6ef, un primer espectrómetro 5e y un segundo, o complementario, espectrómetro 5f. Los espectrómetros 5e y 5f son sustancialmente similares a los espectrómetros 5c y, respectivamente, 5d de la disposición de medición 26 (figura 6), es decir, cada uno de los mismos tiene las características apropiadas para funcionar con radiaciones que tienen longitudes de onda en una primera banda o, respectivamente, una segunda banda diferente, donde el primer valor central de la primera banda es mayor que el segundo valor central de la segunda banda. La fuente de radiación 4ef emite radiaciones en un amplio intervalo de longitudes de onda, incluyendo las longitudes de onda de ambas primera y segunda bandas mencionadas anteriormente, y puede incluir un único emisor, por ejemplo una lámpara halógena o, preferiblemente, una fuente de láser supercontinuo, por ejemplo con un intervalo de longitud de onda comprendido entre 750 nm y 1500 nm aproximadamente. Las radiaciones generadas por la fuente 4ef son enviadas a la sonda óptica 6ef, y el resultado de la interferencia (que tiene lugar como se ha explicado anteriormente en relación con las figuras 1 y 2) es devuelto por la sonda 6ef a los espectrómetros 5e y 5f a través del acoplador óptico 9ef. Dependiendo del grosor nominal del objeto 2, por ejemplo si tal grosor nominal es mayor o menor que un umbral predeterminado, el conmutador 21 activa de manera alternante el espectrómetro 5e o 5f que presente las características apropiadas. De manera similar a lo que sucede en las disposiciones 23 y 26 de las figuras 4 y 6, los espectrómetros 5e y 5f están acoplados a la unidad de procesamiento 18 para determinar el grosor de la porción 2 en función del espectro recibido.

En una realización ligeramente diferente, el conmutador 21 (por ejemplo, un conmutador óptico) puede colocarse en la salida del acoplador óptico 9ef para transferir el resultado de la interferencia de manera alternante al espectrómetro 5e o al espectrómetro 5f, dependiendo de si el grosor nominal del objeto 2 es mayor o menor que el umbral predeterminado.

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 procedimiento, una disposición de medición y un aparato según la presente invención no están limitadas a la comprobación dimensional de piezas de este tipo. De hecho, tales procedimientos y disposiciones de medición 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 capas conocida por sí misma. Dentro de la estructura de múltiples capas puede medirse el grosor de porciones 2 o capas individuales, así como el grosor de grupos de porciones 2 o capas adyacentes.

Las disposiciones de medición descritas anteriormente 1, 23, 26 y 27 tienen muchas ventajas ya que pueden implementarse de manera sencilla y económica, y especialmente permiten medir valores de grosor que son definitivamente más pequeños que los medidos por aparatos y disposiciones de medición similares conocidos.

Además, el procedimiento y las disposiciones de medición según la invención están particularmente adaptados para llevar a cabo operaciones de comprobación y medición en la fábrica antes, durante o después de una fase de maquinado mecánico de un objeto 2, tal como una porción de material de silicio.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Procedimiento para medir de manera óptica mediante interferometría el grosor de un objeto que presenta una superficie externa y una superficie interna opuesta con respecto a la superficie externa, incluyendo el procedimiento las etapas de:
- 10 emitir un haz de baja coherencia de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una banda determinada mediante al menos una fuente de radiación;  
 dirigir el haz de radiaciones sobre la superficie externa del objeto mediante al menos una sonda óptica;  
 captar las radiaciones que son reflejadas por el objeto mediante dicha al menos una sonda óptica;  
 analizar mediante al menos un espectrómetro el espectro del resultado de la interferencia entre radiaciones que son reflejadas por la superficie externa que no entran en el objeto y radiaciones que son reflejadas por la superficie interna que entran en el objeto; y  
 15 determinar el grosor del objeto en función del espectro proporcionado por dicho al menos un espectrómetro;
- estando caracterizado el procedimiento por el hecho de que se utilizan al menos dos haces diferentes de radiaciones que pertenecen a bandas diferenciadas y de que se utilizan al menos dos espectrómetros para analizar el espectro de dicho resultado de la interferencia para radiaciones que tienen longitudes de onda diferenciadas que pertenecen sustancialmente a dichas bandas diferenciadas.
- 20 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se utilizan al menos dos haces de radiaciones, que incluye las fases adicionales de:
- 25 utilizar un primer haz de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una primera banda que presenta un primer valor central cuando el grosor del objeto es mayor que un umbral predeterminado; y  
 utilizar un segundo haz de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una segunda banda que presenta un segundo valor central que es menor que el primer valor central de la primera banda cuando el grosor del objeto es menor que el umbral predeterminado.
- 30 3.- Procedimiento según la reivindicación 2, en el que se utilizan al menos dos haces de radiaciones, que incluye la fase adicional de utilizar ambos haces de radiaciones cuando el grosor del objeto está comprendido en un intervalo en torno al umbral predeterminado.
- 35 4.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se utilizan al menos dos espectrómetros, que incluye las fases adicionales de:
- 40 utilizar uno de dichos al menos dos espectrómetros adaptado para analizar el espectro de radiaciones que pertenece a una primera banda que presenta un primer valor central cuando el grosor del objeto es mayor que un umbral predeterminado; y  
 utilizar el otro de dichos al menos dos espectrómetros adaptado para analizar el espectro de radiaciones que pertenece a una segunda banda que presenta un segundo valor central que es menor que dicho primer valor central cuando el grosor del objeto es menor que el umbral predeterminado.
- 45 5.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que el valor central de la primera banda está comprendido entre 1200 nm y 1400 nm y el valor central de la segunda banda está comprendido entre 700 nm y 900 nm.
- 6.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el umbral predeterminado está comprendido entre 5 micrones y 10 micrones.
- 50 7.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el objeto se comprueba mientras es sometido a una fase de maquinado mecánico, donde uno u otro de los dos haces diferentes de radiaciones o de los dos espectrómetros se utiliza dependiendo del grosor del objeto.
- 8.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se utilizan al menos dos espectrómetros, en el que se utiliza una disposición de medición que incluye una única fuente de radiación.
- 55 9.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que utiliza dos aparatos distintos e independientes, cada uno de los cuales comprende un espectrómetro, una sonda óptica y una fuente de radiación.
- 60 10.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el objeto es una porción de material semiconductor.
- 11.- Procedimiento según la reivindicación 10, en el que el objeto es una porción de silicio.
- 65 12.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el haz de radiaciones es dirigido de manera sustancialmente perpendicular sobre la superficie externa del objeto.

13.- Disposición de medición (23; 26; 27) 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), comprendiendo la disposición de medición (23; 26; 27):

5 al menos una fuente de radiación (4a, 4b; 4c, 4d; 4ef) que emite un haz de baja coherencia de radiaciones (I) compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una banda determinada;  
 un espectrómetro (5a; 5c; 5e) 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  
 10 superficie interna (17) que entran en el objeto (2);  
 al menos una sonda óptica (6a, 6b; 6cd; 6ef) que está conectada mediante líneas de fibra óptica (8, 10, 11) a dicha al menos una fuente de radiación (4a, 4b; 4c, 4d; 4ef) y al espectrómetro (5a; 5c; 5e), y que está dispuesta delante del objeto (2) que va a medirse para dirigir el haz de radiaciones (I) emitido por dicha al menos una fuente de radiación  
 15 (4a, 4b; 4c, 4d; 4ef) sobre 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 (5a; 5c; 5e);

20 estando caracterizada la disposición de medición (23, 26, 27) por un espectrómetro adicional (5b; 5d; 5f) acoplado a dicha al menos una sonda óptica (6a, 6b; 6cd; 6ef),

estando adaptado dicho espectrómetro (5a; 5c; 5e) para analizar el espectro del resultado de la interferencia entre radiaciones reflejadas compuestas por una pluralidad de longitudes de onda en una primera banda y que presentan un primer valor central, y

25 estando adaptado dicho espectrómetro adicional (5b; 5d; 5f) para analizar el espectro del resultado de la interferencia entre radiaciones reflejadas compuestas por una pluralidad de longitudes de onda en una segunda banda y que presentan un segundo valor central.

30 14.- Disposición de medición (23; 26; 27) según la reivindicación 13 y que incluye un conmutador (21) que activa dicho espectrómetro (5a; 5c; 5e) cuando el grosor del objeto (2) es mayor que un umbral predeterminado, y que activa dicho espectrómetro adicional (5b; 5d; 5f) cuando el grosor del objeto (2) es menor que un umbral predeterminado.

35 15.- Disposición de medición (23; 26) según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en la que dicha al menos una fuente de radiación incluye:

una primera fuente de radiación (4a; 4c) adaptada para emitir un haz de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en la primera banda; y  
 40 una segunda fuente de radiación (4b; 4d) adaptada para emitir un haz de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en la segunda banda, siendo dicha segunda banda diferente de la primera banda y siendo dicho segundo valor central menor que el primer valor central de la primera banda.

45 16.- Disposición de medición (27) según la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en la que dicha al menos una fuente de radiación incluye una única fuente de radiación (4ef) adaptada para emitir un haz de radiaciones en un intervalo de longitudes de onda que incluye las longitudes de onda de dichas primera y segunda bandas.

50 17.- Disposición de medición (23) según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, con al menos dos aparatos de medición (1a, 1b), cada uno de los cuales comprende una fuente de radiación (4a, 4b) y uno de dicho espectrómetro (5a) y dicho espectrómetro adicional (5b).

18.- 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):

55 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;  
 al menos 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  
 60 superficie interna (17) que entran en el objeto (2);  
 una sonda óptica (6) que está conectada mediante líneas de fibra óptica (8, 10, 11) a la fuente de radiación (4) y a dicho al menos un espectrómetro (5), y que está dispuesta delante del objeto (2) que va a medirse para dirigir el haz de radiaciones (I) emitido por la fuente de radiación (4) sobre la superficie externa (16) del objeto (2) y para captar las radiaciones (R) que son reflejadas por el objeto (2); y

65 una unidad de procesamiento (18) que evalúa el grosor del objeto (2) en función del espectro proporcionado por el al menos un espectrómetro (5);

estando caracterizado el aparato (1) por el hecho de que la fuente de radiación (4) incluye:

- 5 un primer emisor (19) que emite un haz de baja coherencia de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una primera banda que presenta un primer valor central;  
al menos un segundo emisor (20) que emite un haz de baja coherencia de radiaciones compuesto por una pluralidad de longitudes de onda en una segunda banda diferente de la primera banda y que presenta un segundo valor central que es menor que el primer valor central de la primera banda; y  
10 un conmutador (21) que habilita de manera alternante la utilización del primer emisor (19) o del segundo emisor (20) dependiendo del grosor del objeto (2).

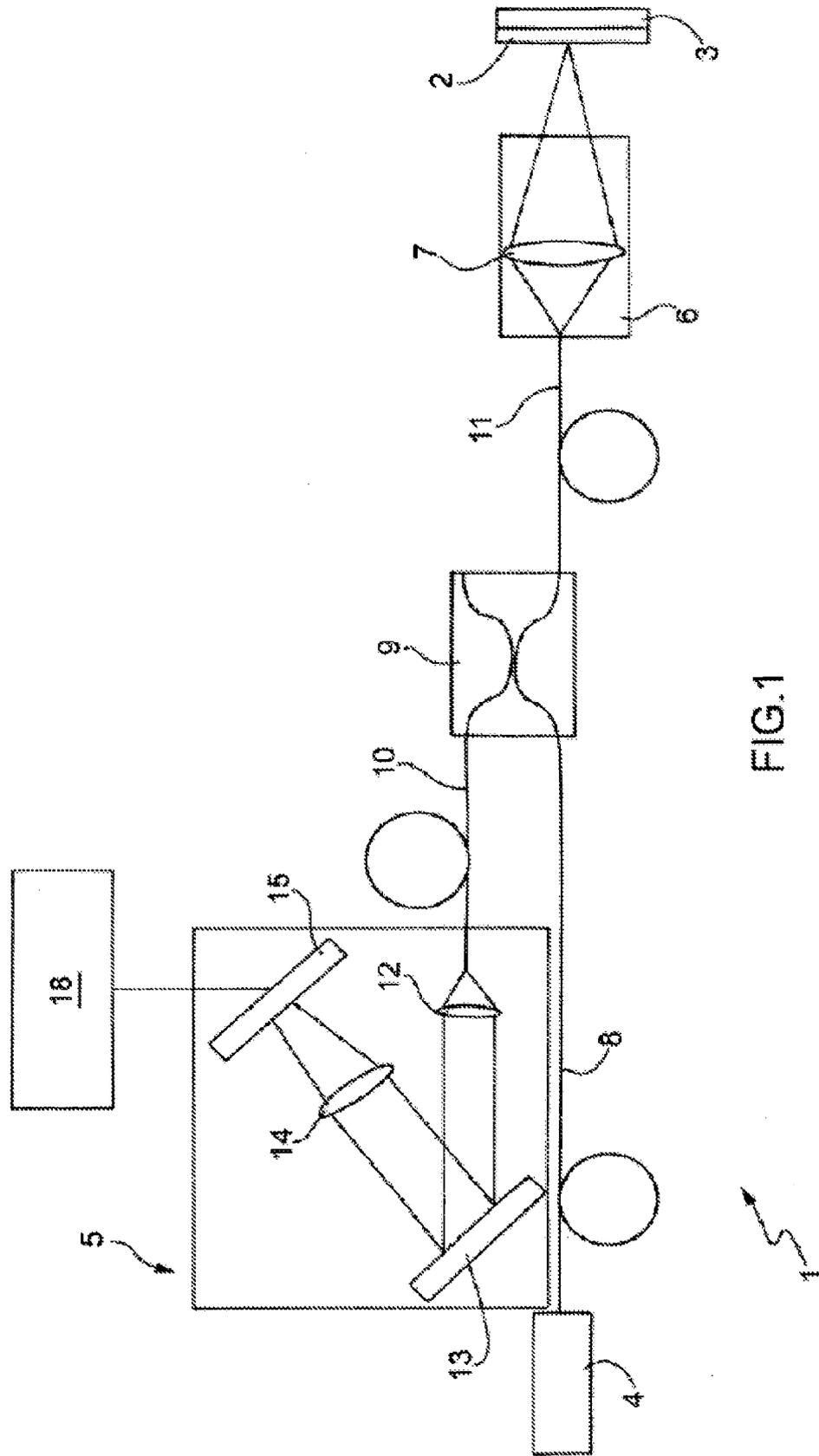


FIG.1

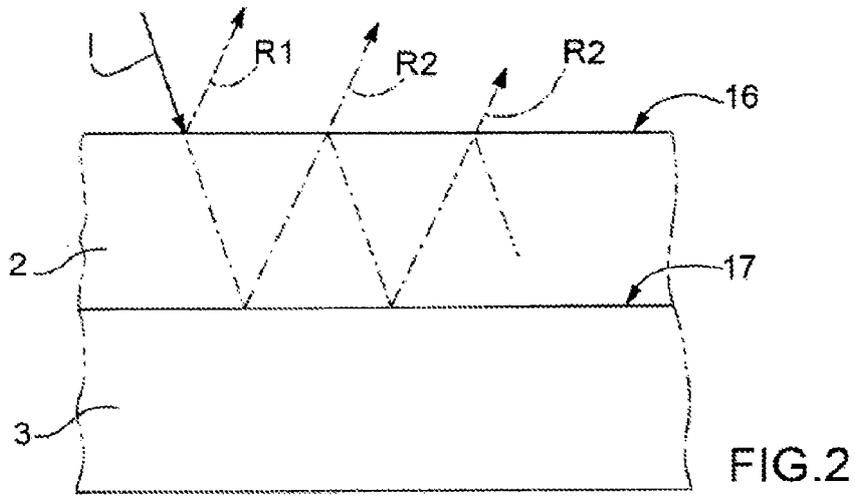


FIG. 2

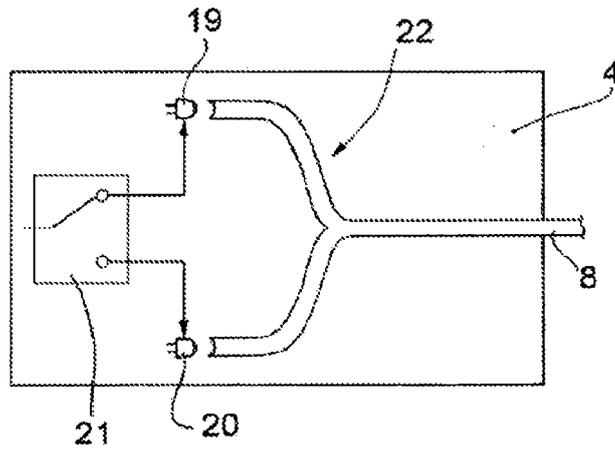


FIG. 3

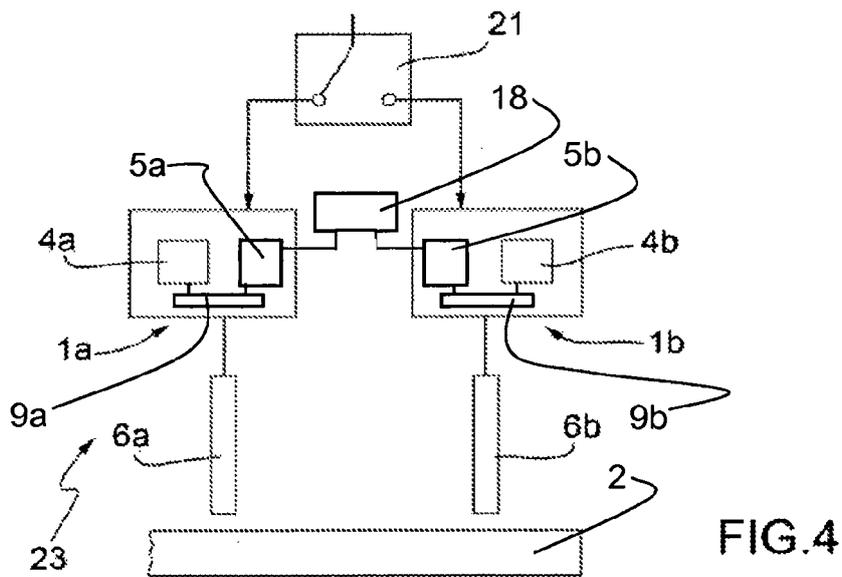


FIG. 4

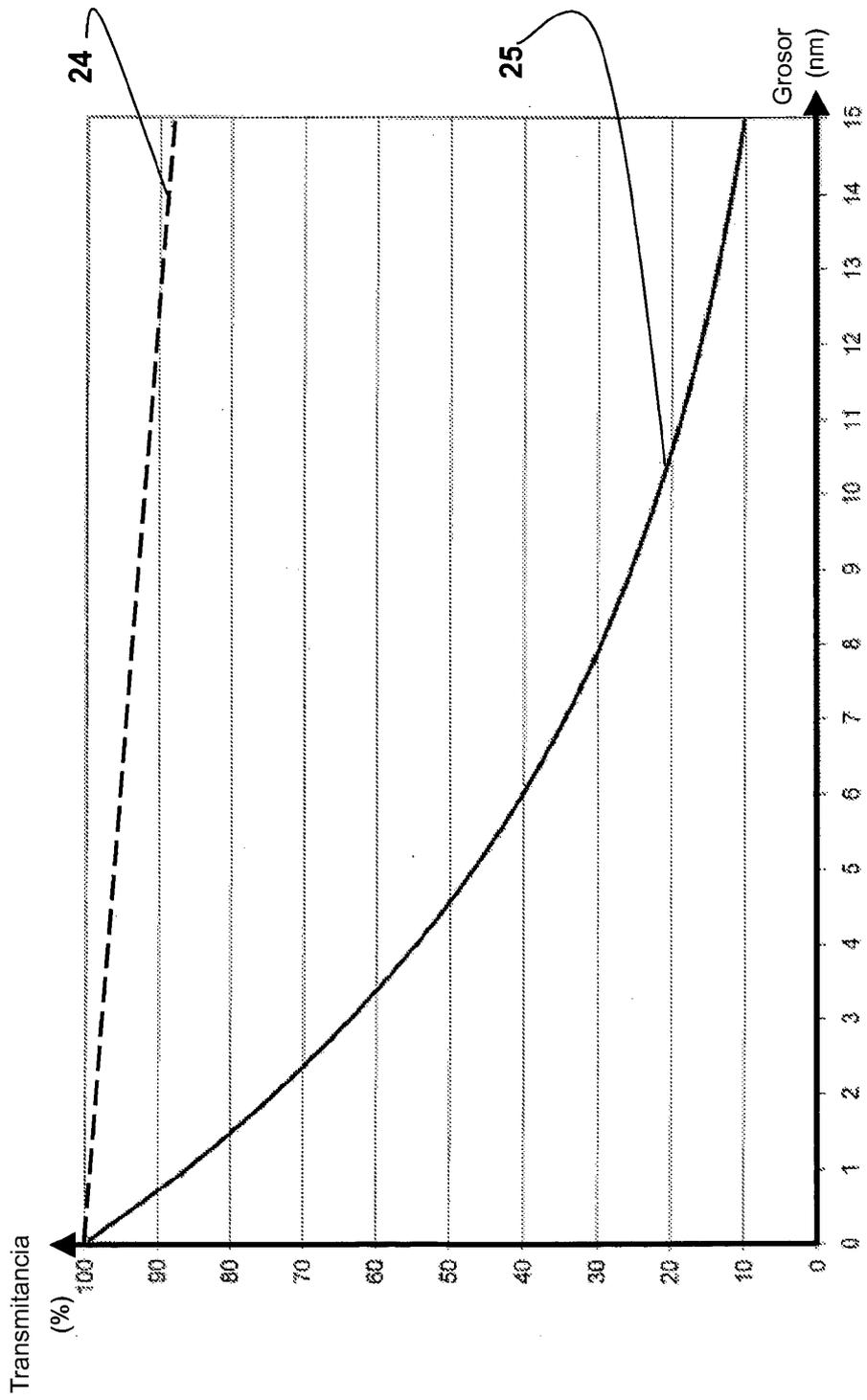


FIG. 5

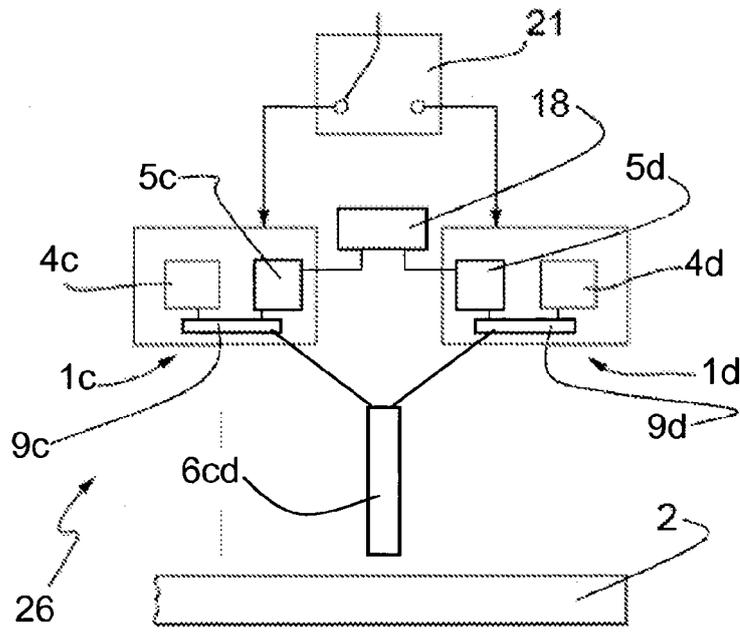


FIG. 6

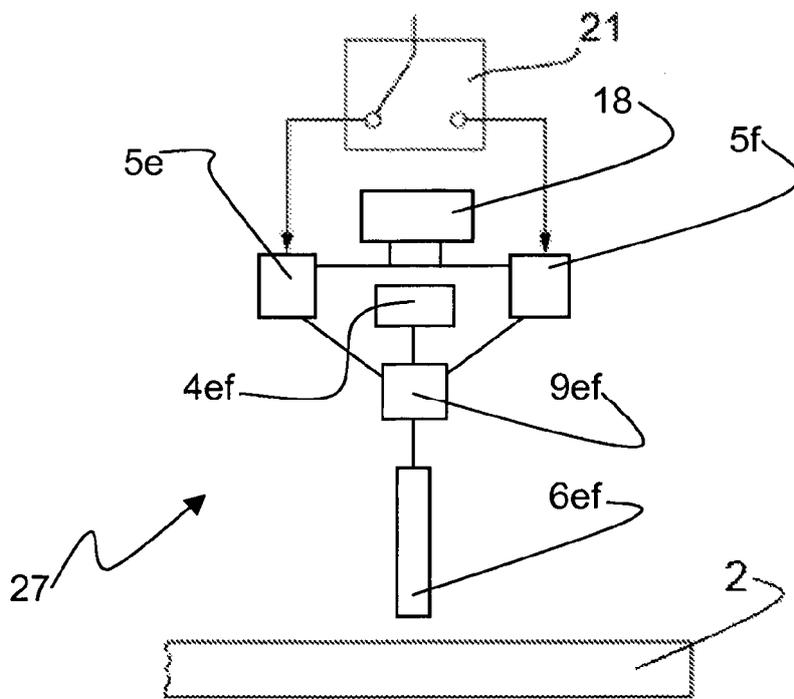


FIG. 7