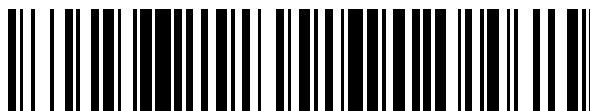


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 473 241**

51 Int. Cl.:

B24B 37/04 (2012.01)

B24B 49/12 (2006.01)

B24B 7/22 (2006.01)

G01B 11/06 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2011** **E 11720461 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014** **EP 2571655**

54 Título: **Método y aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de un objeto**

30 Prioridad:

18.05.2010 IT BO20100318

18.05.2010 IT BO20100313

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.07.2014

73 Titular/es:

MARPOSS SOCIETA' PER AZIONI (100.0%)

Via Saliceto 13

40010 Bentivoglio (BO), IT

72 Inventor/es:

GALLETTI, DINO y

MALPEZZI, DOMENICO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 473 241 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

Método y aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de un objeto

5 Campo de la técnica

La presente invención se refiere a un método y a un aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de un objeto.

10 La presente invención puede aplicarse de manera ventajosa para medir ópticamente por interferometría el espesor de rebanadas, u obleas, fabricadas de material semiconductor (habitualmente silicio), a lo que se hará referencia explícitamente en la memoria descriptiva sin pérdida de generalidad.

Técnica anterior

15 Una rebanada de material semiconductor se mecaniza, por ejemplo, para obtener circuitos integrados u otros componentes eléctricos en el material semiconductor. En particular, cuando la rebanada de material semiconductor es muy delgada, la rebanada de material semiconductor se coloca sobre una capa de soporte (habitualmente fabricada de material plástico o vidrio) que sirve para proporcionar una robustez mecánica más alta y, por lo tanto, facilidad en el manejo.

20 En general, es necesario mecanizar de manera mecánica la rebanada de material semiconductor mediante rectificación y pulido para obtener un espesor que es uniforme e igual a un valor deseado. En esta fase del mecanizado mecánico de la rebanada de material semiconductor, es necesario que se mida el espesor para asegurar que el valor deseado se obtiene con precisión.

25 Para medir el espesor de una rebanada de material semiconductor, se conoce el uso de cabezales de calibración con unos palpadores mecánicos que tocan una superficie superior de la rebanada de material semiconductor que se está mecanizando.

30 Esta tecnología de medición puede dar lugar a daño en la rebanada de material semiconductor durante la medición debido al contacto mecánico con los palpadores mecánicos, y no posibilita medir unos espesores muy delgados (habitualmente más bajos que 100 micras).

35 Para medir el espesor de una rebanada de material semiconductor, se conoce el uso de sondas capacitivas, sondas inductivas (sondas de corrientes parásitas u otros tipos) o sondas de ultrasonidos. Estas tecnologías de medición son del tipo sin contacto y, por lo tanto, no dañan la rebanada de material semiconductor durante la medición y pueden medir el espesor de la rebanada de material semiconductor incluso cuando existe la capa de soporte. No obstante, estas tecnologías están limitadas tanto en las dimensiones que estas pueden medir como en la resolución más alta que pueden conseguir.

40 Para superar los límites de las tecnologías de medición que se han descrito en lo que antecede, se usan sondas ópticas y mediciones interferométricas. Por ejemplo, la solicitud de patente internacional publicada con N° WO2009013231A, la patente de los Estados Unidos con N° US6437868A1 y la solicitud de patente de Japón publicada con N° JP08216016A describen aparatos para medir ópticamente el espesor de una rebanada de material semiconductor.

45 Algunos de los aparatos conocidos incluyen una fuente de radiaciones luminosas, que son en su mayoría radiaciones de infrarrojos debido a que los materiales semiconductores usados en la actualidad están basados en el silicio y el silicio es lo bastante transparente a las radiaciones de infrarrojos, o tienen un espectro más amplio para posibilitar la medición de unos espesores particularmente delgados. El haz de radiación emitido presenta una baja coherencia y una pluralidad de longitudes de onda dentro de una banda determinada. Tales aparatos incluyen adicionalmente un espectrómetro y una sonda óptica que está conectada con la fuente de radiaciones luminosas y con el espectrómetro por medio de fibras ópticas, está orientada hacia la rebanada de material semiconductor que va a medirse, y está provista con lentes para enfocar las radiaciones que se emiten por la fuente de radiación sobre la rebanada de material semiconductor que va a medirse y para captar las radiaciones que se reflejan por la rebanada de material semiconductor que se refleja por la superficie externa y por las posibles superficies de discontinuidad óptica en el interior de la rebanada de material semiconductor que va a medirse se lleva a cabo por medio del espectrómetro. A partir de un análisis espectral de este tipo de las combinaciones que resultan de la interferencia de las radiaciones que se reflejan por la rebanada de material semiconductor, es posible determinar la medida del espesor de una o más capas de material ópticamente homogéneo que se han visto atravesadas por las radiaciones.

60 Pero el análisis que se ha mencionado en lo que antecede no posibilita la determinación de la trayectoria seguida por las radiaciones reflejadas que se combinan. Dicho de otra forma, las combinaciones son el resultado final de una

pluralidad de reflexiones que tienen lugar sobre la superficie externa de la rebanada de material semiconductor y en el interior de esta última en cada superficie de discontinuidad óptica. Pero en los aparatos conocidos no es posible usar la información que pudiera estar presente en las combinaciones de radiaciones reflejadas para medir de manera directa o indirecta la distancia entre la sonda óptica y cada una de las superficies de discontinuidad que dan lugar a las reflexiones. Como consecuencia, el análisis de las combinaciones de las radiaciones que se reflejan por la rebanada de material semiconductor posibilita la determinación de la medida del espesor de las capas colocadas entre parejas de superficies de discontinuidad óptica, pero no es posible determinar la parte de la rebanada de material semiconductor a la que ha de asignarse la medida del espesor (es decir, determinar si la medida del espesor ha de asignarse a una primera capa que se ha visto atravesada dos veces, a la primera capa que se ha visto atravesada n veces, a una segunda o tercera capa, o a la primera capa que se ha añadido a la segunda capa, etc.).

En cada lectura no hay solo una única radiación reflejada por la rebanada de material semiconductor que se analiza sino un haz de radiaciones reflejadas por la rebanada de material semiconductor. Por lo tanto, se determinan las medidas de una pluralidad de diferentes espesores, pero no es posible asignar cada medida de espesor a una parte o capa específica de la rebanada de material semiconductor. No obstante, para cada lectura es posible determinar un factor de calidad correspondiente en función, por ejemplo, de la relación entre la potencia luminosa específica y la potencia luminosa global. De hecho, el factor de calidad es uno de los indicios que sugieren que la lectura asociada se corresponde con el espesor que va a medirse.

Un aparato conocido para medir ópticamente por interferometría el espesor de una rebanada de material semiconductor proporciona en cada lectura unos valores de espesor aproximados y unos factores de calidad asociados, en función de los cuales se disponen generalmente estos. Con el fin de tener éxito en la identificación, de entre la totalidad de los valores de espesor aproximados proporcionados por el aparato, de valores de espesor aproximados que se corresponden con la primera capa de la rebanada de material semiconductor (es decir, la capa más externa que está fabricada de material semiconductor, se somete a rectificación o pulido, y el espesor de la cual va a medirse) los aparatos conocidos usan un algoritmo de reconocimiento analizando un número relativamente alto de lecturas consecutivas (habitualmente por lo menos algunas decenas de lecturas consecutivas). Tal algoritmo de reconocimiento conocido considera, para cada lectura, solo el valor de espesor aproximado con el factor de calidad más alto. A continuación, la totalidad de los valores de espesor aproximados con un factor de calidad más bajo que un umbral de calidad mínimo y la totalidad de los valores de espesor aproximados que son más bajos que un umbral de rechazo mínimo o más altos que un umbral de rechazo máximo - los umbrales de rechazo definen el intervalo dentro del cual ha de encontrarse el valor de espesor deseado - se rechazan. Por último, el valor de espesor deseado (es decir, la medida del espesor de la capa más externa fabricada de material semiconductor) puede determinarse mediante el cálculo del promedio de los valores de espesor aproximados restantes.

No obstante, algunos algoritmos de reconocimiento conocidos, como el que se ha descrito en lo que antecede, tienen varios inconvenientes.

Ante todo, la precisión del algoritmo de reconocimiento conocido que se ha descrito en lo que antecede no es óptima, y es extremadamente variable a lo largo del tiempo: el algoritmo de reconocimiento es preciso cuando no hay valores de espesor extraños que son similares al valor de espesor deseado, pero este es mucho menos preciso cuando hay valores de espesor extraños que son similares al valor de espesor deseado.

Además, para obtener una precisión aceptable, ha de prestarse una especial atención en la elección tanto del umbral de calidad mínimo como de los umbrales de rechazo que sirven para cortar los valores de espesor proporcionados por las lecturas. Dicho de otra forma, no existen umbrales de calidad mínimos y umbrales de rechazo que sean de aplicación para todas las situaciones, sino que cada vez es necesario adaptar los umbrales de calidad mínimos y los umbrales de rechazo a la situación específica actual. Por lo tanto, la elección de los umbrales de calidad mínimos y los umbrales de rechazo requiere cada vez la intervención de un operario con experiencia que sea capaz de analizar, de antemano, los valores de espesor aproximados proporcionados por las lecturas.

La intervención de un operario con experiencia es normal y, por lo tanto, aceptable en las mediciones de laboratorio pero no es posible en las mediciones llevadas a cabo en una línea de producción durante la producción en serie.

Divulgación de la invención

Un objeto de la presente invención es la provisión de un método y un aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de un objeto, que superen los inconvenientes que se han descrito en lo que antecede y puedan implementarse con facilidad y de manera económica al mismo tiempo.

La presente invención proporciona un método y un aparato para medir ópticamente el espesor de un objeto de acuerdo con lo que se reivindica en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describe a continuación con referencia a las hojas adjuntas de dibujos, dados por medio de ejemplos no limitantes, en los que:

- la figura 1 es una vista simplificada, con algunas partes retiradas en aras de claridad, de una máquina herramienta que mecaniza de manera mecánica una rebanada de material semiconductor e incluye un aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de una rebanada de material semiconductor;
- la figura 2 es una sección transversal simplificada de la rebanada de material semiconductor de la figura 1 mientras que se lleva a cabo la medición del espesor;
- la figura 3 es una gráfica que muestra la distribución de una pluralidad de valores de espesor aproximados que se leen como parte del proceso de medición del espesor de la rebanada de material semiconductor;
- la figura 4A es una curva que representa la distribución de las frecuencias de los valores de espesor aproximados de la gráfica en la figura 3;
- la figura 4B es un histograma que muestra los valores de espesor aproximados de la gráfica en la figura 3 divididos en un número de clases de espesor, y frecuencias relativas, indicando sustancialmente cuántas apariciones de los valores de espesor aproximados caen dentro de cada una de tales clases de espesor;
- la figura 5 es una vista que muestra en una escala ampliada un detalle del histograma en la figura 4B;
- la figura 6 es una gráfica que muestra la evolución a lo largo del tiempo de un umbral de rechazo más bajo y un umbral de rechazo más alto que se usan durante las mediciones del espesor de la rebanada de material semiconductor;
- las figuras 7a a 7d muestran la evolución a lo largo del tiempo de un histograma que muestra una serie de clases de espesor y frecuencias relativas.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

En la figura 1, el número de referencia 1 indica, en su conjunto, una máquina herramienta que mecaniza de manera mecánica un objeto 2, tal como una rebanada de material semiconductor, para llevar a cabo sobre la rebanada de material semiconductor 2 una operación de rectificación que da lugar a una retirada superficial gradual de material. Tal como se ilustra en la figura 2, la rebanada 2 de material semiconductor se coloca sobre una capa de soporte 3 (habitualmente fabricada de material plástico o vidrio) que sirve para proporcionar una robustez mecánica más alta y, por lo tanto, facilidad en el manejo. De acuerdo con una realización diferente, que no se ilustra en el presente documento, se omite la capa de soporte 3.

La máquina herramienta 1 incluye un dispositivo de soporte 4 con una mesa giratoria motorizada 5 que está montada con el fin de rotar alrededor de un eje de rotación vertical 6. La rebanada 2 de material semiconductor se dispone sobre la mesa giratoria 5 y mantiene contacto con esta última, por ejemplo, por medio de succión. Además, la máquina herramienta 1 incluye un cabezal de mecanizado 7 con un dispositivo de accionamiento 8 que soporta una herramienta de rectificación 9 de una forma tal que rote la herramienta de rectificación 9 alrededor de un eje de rotación vertical 10 y para mover en sentido vertical la herramienta de rectificación 9 a lo largo del eje de rotación 10.

La máquina herramienta 1 incluye un dispositivo de medición 11 para medir ópticamente por interferometría el espesor T de la rebanada de material semiconductor (que se muestra en la figura 2). El dispositivo de medición 11 es, por ejemplo, un dispositivo de medición del tipo que se describe en la solicitud de patente internacional publicada con N° WO2009013231A1 a la que se hace referencia para una descripción más detallada del dispositivo de medición 11. El dispositivo de medición 11 incluye una fuente de radiaciones luminosas, un espectrómetro y una sonda óptica, que está conectada por medio de fibras ópticas con la fuente de radiaciones luminosas y con el espectrómetro, está orientada hacia la rebanada 2 de material semiconductor que va a comprobarse, y está provista con lentes para enfocar un haz 12 de radiaciones luminosas sobre la rebanada 2 de material semiconductor que va a comprobarse, estando colocada esta última sobre la mesa giratoria 5, y para captar las radiaciones que se reflejan por la rebanada 2 de material semiconductor que va a comprobarse. Por medio del espectrómetro se analiza el espectro de las combinaciones que resultan de la interferencia entre las radiaciones luminosas que se reflejan por la rebanada 2 de material semiconductor, y a partir de tal análisis espectral es posible determinar la medida del espesor del material que se ha visto atravesado por las radiaciones reflejadas.

Las radiaciones luminosas que se emiten por la fuente de radiación son en su mayoría infrarrojas, debido a que los materiales semiconductores usados en la actualidad están basados en el silicio y el silicio es lo bastante transparente a las radiaciones de infrarrojos, o tienen un espectro más amplio para medir unos espesores particularmente delgados. El haz de radiación emitido presenta una baja coherencia y una pluralidad de longitudes de onda dentro de una banda determinada.

La máquina herramienta 1 comprende una unidad de procesamiento 13 que está conectada con el dispositivo de medición 11 para recibir del dispositivo de medición 11 las lecturas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor y usar las lecturas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor proporcionadas por el dispositivo de medición 11 para determinar el valor real del espesor T de la rebanada de material semiconductor de acuerdo con el método que se describe posteriormente en el presente documento. Por lo tanto, el dispositivo de

medición 11 y la unidad de procesamiento 13 forman un aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor de la rebanada 2 de material semiconductor.

Por último, la máquina herramienta 1 incluye una unidad de control 14 que recibe de la unidad de procesamiento 13 el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor y controla, mediante el control del dispositivo de soporte 4 y el cabezal de mecanizado 7, la rectificación de la rebanada 2 de material semiconductor mediante el ajuste de la velocidad de rotación de la mesa giratoria 5, la velocidad de rotación de la herramienta de rectificación 9 y la posición vertical de la herramienta de rectificación 9. En particular, la unidad de control 14 controla la rectificación de la rebanada 2 de material semiconductor para seguir un proceso de mecanizado predefinido conocido *per se* de acuerdo con el cual, en general, la tasa de retirada de material (es decir, el espesor de material retirado en la unidad de tiempo) se reduce de manera gradual a medida que el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se aproxima al valor deseado. Un ejemplo de cómo varía el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor a lo largo del tiempo debido a la rectificación se ilustra en la figura 6 que muestra cómo el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor disminuye más rápidamente en los primeros instantes del mecanizado y disminuye mucho más lentamente en los últimos instantes de la rectificación.

En cada lectura del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, el espectro de la combinación que resulta de la interferencia entre las radiaciones que se reflejan por la superficie externa de la rebanada 2 de material semiconductor y por las posibles superficies de discontinuidad óptica en el interior de la rebanada 2 de material semiconductor se analiza por medio del espectrómetro. A partir de tal análisis espectral es posible determinar la medida del espesor de una o más capas de material ópticamente homogéneo que se han visto atravesadas por las radiaciones. En particular, comenzando por tal análisis del espectro de la combinación que resulta de la interferencia entre las radiaciones reflejadas, el dispositivo de medición 11 determina una pluralidad de valores de espesor aproximados RTW que difieren, en general, uno con respecto a otro.

De hecho, comenzando por el análisis de una combinación que resulta de la interferencia entre las radiaciones que se reflejan por la rebanada 2 de material semiconductor, el dispositivo de medición 11 puede determinar la medida del espesor de un material que se ha visto atravesado por la radiación reflejada, pero este no puede determinar la trayectoria que ha seguido en realidad la radiación reflejada.

Dicho de otra forma, dichas combinaciones se generan por unas radiaciones que son el resultado final de una pluralidad de reflexiones que tienen lugar sobre la superficie externa de la rebanada 2 de material semiconductor y en el interior de la rebanada 2 de material semiconductor en cada superficie de discontinuidad óptica, pero en los aparatos conocidos no es posible usar la información que pudiera estar presente en las combinaciones de las radiaciones reflejadas para medir de manera directa o indirecta la distancia entre la sonda óptica y cada una de las superficies de discontinuidad que dan lugar a las reflexiones. Como consecuencia, el análisis de las combinaciones de las radiaciones que se reflejan por la rebanada 2 de material semiconductor posibilita la determinación de la medida del espesor de las capas colocadas entre parejas de superficies de discontinuidad óptica, pero no es posible determinar la capa o parte de la rebanada 2 de material semiconductor a la que ha de asignarse la medida del espesor (es decir, determinar si la medida del espesor ha de asignarse a una primera capa que se ha visto atravesada dos veces, a la primera capa que se ha visto atravesada n veces, a una segunda o tercera capa, o a la primera capa que se ha añadido a la segunda capa, etc.).

De acuerdo con una realización preferida, el dispositivo de medición 11 puede proporcionar para cada valor de espesor aproximado RTW un factor de calidad MF correspondiente en función, por ejemplo, de la relación entre la potencia luminosa específica y la potencia luminosa global. De hecho, el factor de calidad es uno de los indicios que sugieren que la lectura asociada se corresponde con el espesor que va a medirse. Al final de cada lectura el dispositivo de medición 11 dispone la totalidad de los valores de espesor aproximados RTW determinados como una función de los correspondientes factores de calidad MF que se encuentran disponibles, y provee a la unidad de procesamiento 13 solo con los tres valores de espesor aproximados RTW que tienen los factores de calidad más altos. Para determinar el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, la unidad de procesamiento 13 usa una pluralidad de lecturas consecutivas (habitualmente el número de lecturas que se corresponde con una rotación completa de la rebanada 2 de material semiconductor) llevadas a cabo por el dispositivo de medición 11 y, por lo tanto, considera una pluralidad de valores de espesor aproximados RTW (cada lectura llevada a cabo por el dispositivo de medición 11 puede proporcionar, por ejemplo y tal como se ha mencionado en lo que antecede, tres valores de espesor aproximados RTW con los factores de calidad asociados MF). Como un ejemplo, la figura 3 es una gráfica que muestra la distribución de una pluralidad de valores de espesor aproximados RTW que se han proporcionado por una pluralidad de lecturas consecutivas llevadas a cabo por el dispositivo de medición 11 (en la figura 3 la ordenada representa el valor de espesor expresado en micras y la abscisa representa el tiempo expresado en milisegundos).

De nuevo como un ejemplo, en una aplicación en la que la rebanada 2 rota a una velocidad de aproximadamente 300 RPM y el dispositivo de medición tiene una frecuencia de captura de datos de 4 KHz, el número de lecturas procesadas es 800 que se corresponden - en el caso que se ha mencionado en lo que antecede en el que se proporcionan tres valores RTW para cada lectura - con 2400 valores de espesor aproximados RTW.

La unidad de procesamiento 13 puede determinar el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor mediante el análisis de la pluralidad de valores de espesor aproximados RTW proporcionados por una pluralidad de lecturas consecutivas llevadas a cabo por el dispositivo de medición 11.

La unidad de procesamiento 13 evalúa las frecuencias (número de apariciones) de los valores de espesor aproximados RTW y la distribución de tales frecuencias. De acuerdo con un primer procedimiento de implementación, ante todo se determina un intervalo de variabilidad de valores de espesor aproximados RTW de tal modo que este es lo bastante amplio para incluir una parte significativa de tales valores RTW. A continuación, la unidad de procesamiento 13 proporciona y procesa una función continua $F(\text{RTW})$ que representa la densidad de frecuencia de los valores dentro del intervalo de variabilidad que se ha mencionado en lo que antecede, y calcula la función de densidad de frecuencia relativa. La figura 4A muestra, por ejemplo, una curva en relación con una función $F(\text{RTW})$ de este tipo de los valores de espesor aproximados RTW de la gráfica en la figura 3.

De acuerdo con un procedimiento de implementación preferido diferente al que se hace referencia durante la mayor parte de la descripción subsiguiente, en una primera fase la unidad de procesamiento 13 define el intervalo de variabilidad que se ha mencionado en lo que antecede de los valores de espesor aproximados RTW mediante la determinación de una pluralidad de clases de espesor C que es lo bastante grande para incluir una parte significativa de los valores de espesor aproximados RTW. La resolución de las clases de espesor C (es decir, la amplitud de cada clase de espesor C) es preferiblemente del orden de magnitud de micras.

Posteriormente, la unidad de procesamiento 13 evalúa las frecuencias por medio de una clasificación de los valores de espesor aproximados RTW con el fin de determinar, para cada clase de espesor C , la correspondiente frecuencia F con la que los valores de espesor aproximados RTW caen dentro de esa clase de espesor C , es decir, con qué frecuencia los valores de espesor aproximados (RTW) caen dentro de esa clase de espesor (C). Dicho de otra forma, para cada clase de espesor C la unidad de procesamiento 13 determina cuántas apariciones de los valores de espesor aproximados RTW se incluyen en esa clase de espesor C : el número de apariciones de valores de espesor aproximados RTW incluidos en esa clase de espesor C representa la frecuencia F con la que los valores de espesor aproximados RTW caen dentro de esa clase de espesor C . Como un ejemplo, la figura 4B es un histograma que muestra la frecuencia F que indica cuántos de los valores de espesor aproximados RTW de la gráfica en la figura 3 caen dentro de una serie de clases de espesor C con una resolución de 1 micra (en la figura 4B la ordenada representa la frecuencia F y la abscisa representa las clases de espesor C). En lugar de la frecuencia absoluta F (número de apariciones), es posible usar una frecuencia o densidad específica (es decir, una frecuencia por unidad de longitud) que se consigue al dividir la frecuencia absoluta F por la amplitud de la clase de espesor C .

De acuerdo con una realización preferida, la unidad de procesamiento 13 determina las frecuencias F con las que los valores de espesor aproximados RTW caen dentro de las clases de espesor C al considerar los factores de calidad MF de tal modo que el peso asignado a cada valor de espesor aproximado RTW proporcionado por el dispositivo de medición 11 es más grande que el que se corresponde con una simple aparición, y aumenta a medida que aumenta el factor de calidad MF. Dicho de otra forma, un valor de espesor aproximado RTW con un factor de calidad MF alto tiene más peso en el cálculo de la frecuencia F de la correspondiente clase de espesor C que un valor de espesor aproximado RTW con un factor de calidad MF bajo. De esta forma, se da más importancia a los valores de espesor aproximados RTW con unos factores de calidad MF más altos y, por lo tanto, a los valores de espesor aproximados RTW que más probablemente se refieren al espesor que va a medirse.

Un procedimiento de ponderación similar de las frecuencias de los valores RTW con los factores de calidad relativa MF puede llevarse a cabo en el caso de usar la función continua que se ha mencionado con referencia a la figura 4A.

De acuerdo con dicho primer procedimiento de implementación, la etapa subsiguiente consiste en determinar, de entre unos intervalos limitados y diferentes de la función $F(\text{RTW})$ - en el eje de abscisas de la figura 4A - es decir, conjuntos limitados de valores de espesor aproximados RTW adyacentes, el intervalo limitado en el que una integración o suma de frecuencias, en particular la integral de la función $F(\text{RTW})$, representa un máximo absoluto, y determinar el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor como una función de los valores RTW de dicho conjunto limitado de valores adyacentes. De forma similar, en el procedimiento de implementación preferido al que se refiere la figura 4B, una vez que se han clasificado los valores de espesor aproximados, la unidad de procesamiento 13 determina un grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C que está compuesto por una o más clases de espesor C adyacentes, para las cuales la suma de las correspondientes frecuencias F representa un máximo absoluto (tal como se muestra en el histograma de la figura 4B). En esencia, de acuerdo con dicho procedimiento de implementación preferido, el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C comprende y define el conjunto limitado de valores de espesor aproximados RTW adyacentes cuya integración o suma de frecuencias representa un máximo absoluto y, por lo tanto, la unidad de procesamiento 13 determina el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor como una función del grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C . Dicho de otra forma, de entre la totalidad de las frecuencias F (es decir, las frecuencias dentro del histograma) la unidad de procesamiento 13 determina la totalidad de los grupos G existentes (es decir, la totalidad de los conjuntos de clases de espesor C adyacentes cuyas frecuencias relativas F son significativamente no nulas) y reconoce el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C mediante la comparación de la totalidad de los

grupos G existentes. Para reconocer el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C, la unidad de procesamiento 13 calcula la suma de las frecuencias F de la totalidad de los grupos G y busca la suma más alta de las frecuencias F (es decir, el máximo absoluto de la integración o sumas de frecuencia).

- 5 En general, el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C incluye una pluralidad de clases de espesor C adyacentes, si bien este incluso puede incluir solo una única clase de espesor C.

10 Tal como se ilustra en la figura 5, para determinar un grupo G de clases de espesor C (y, por lo tanto, así mismo el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C) la unidad de procesamiento 13 determina, al comienzo, la clase de espesor C_{MAX} que tiene la frecuencia más alta F_{MAX} en un área local (es decir, que representa localmente un máximo relativo dentro de un intervalo relativamente alto de clases de espesor C) y, por lo tanto, une a tal clase de espesor C_{MAX} las clases de espesor C adyacentes (que son las clases de espesor C “a la izquierda” y “a la derecha”) que tienen una frecuencia F relativamente alta. Por ejemplo, un grupo G de clases de espesor C se forma mediante la unión, a la clase de espesor C_{MAX} con la frecuencia más alta F_{MAX} , de la totalidad de las clases de espesor C adyacentes con una frecuencia F que es igual por lo menos al 10 % de la frecuencia F_{MAX} de la clase de espesor C_{MAX} (o a un porcentaje previamente establecido diferente, por ejemplo el 12,5 % o el 6,25 %). Lo que se ha descrito anteriormente en el presente documento se ilustra, como un ejemplo, en la figura 5 que muestra en una escala ampliada un detalle del histograma de la figura 4B. La figura 5 muestra la clase de espesor C_{MAX} con la frecuencia más alta F_{MAX} y una línea de trazos horizontales indica el límite de frecuencia que es igual, por ejemplo, al 10 % de la frecuencia F_{MAX} de la clase de espesor C_{MAX} . Las clases de espesor C que son adyacentes a la clase de espesor C_{MAX} y tienen una frecuencia F más alta que el 10 % de la frecuencia F_{MAX} de la clase de espesor C_{MAX} (con marca de color gris) se unen a la clase de espesor C_{MAX} , mientras que las clases de espesor C que son adyacentes a la clase de espesor C_{MAX} y tienen una frecuencia F más baja que el 10 % de la frecuencia F_{MAX} de la clase de espesor C_{MAX} no se unen a la clase de espesor C_{MAX} .

25 Ha de observarse que, de acuerdo con el primer procedimiento de implementación que se ha mencionado en lo que antecede (figura 4A), los intervalos limitados de la función $F(RTW)$, o conjuntos limitados de valores de espesor aproximados RTW adyacentes, pueden determinarse de una forma similar, es decir, mediante la detección de las frecuencias más altas F_{MAX} (RTW) y la definición de intervalos o “ventanas” ΔRTW (figura 4A) delimitados por valores de espesor aproximados RTW cuya frecuencia es igual a aproximadamente un 10 % (por ejemplo) de las frecuencias más altas relativas F_{MAX} (RTW).

35 En el histograma del procedimiento de implementación preferido al que se refiere la figura 4B es posible identificar más clases de espesor C_{MAX} que tienen localmente la frecuencia más alta F_{MAX} (es decir, una serie de “máximos relativos”). En el presente caso, la unidad de procesamiento 13 determina, para cada clase de espesor C_{MAX} que tiene localmente la frecuencia más alta F_{MAX} , el correspondiente grupo G de clases de espesor C, calcula para cada grupo G de clases de espesor C la integración o suma de frecuencias, de manera más específica la suma de las correspondientes frecuencias F (es decir, la suma de las frecuencias F de la totalidad de las clases de espesor C que pertenecen al grupo G de clases de espesor C) y, por último, identifica el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C que tiene la suma más alta de las correspondientes frecuencias F.

45 De acuerdo con una realización preferida, la unidad de procesamiento 13 determina el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor mediante el cálculo del promedio de los valores de espesor aproximados RTW que pertenecen a las clases de espesor C del grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C. De acuerdo con una realización diferente, la unidad de procesamiento 13 determina, en el grupo preponderante G_{MAX} de clases de espesor C, la clase de espesor C_{MAX} que tiene la frecuencia más alta F_{MAX} , y define que el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor es igual al promedio de la totalidad de los valores de espesor aproximados RTW que pertenecen a la clase de espesor C_{MAX} que tiene la frecuencia más alta F_{MAX} .

50 Debería observarse que la rebanada 2 de material semiconductor se encuentra en movimiento continuo durante las lecturas del dispositivo de medición 11 debido a la rotación de la mesa giratoria 5 alrededor del eje de rotación 6. Por lo tanto, los valores de espesor aproximados RTW que se leen por el dispositivo de medición 11 y se consideran en el algoritmo de procesamiento no se refieren al mismo punto de la rebanada 2 de material semiconductor sino a una serie de puntos de la rebanada 2 de material semiconductor colocados a lo largo de un arco de circunferencia (cuyo ángulo tiene, en general, un tamaño de por lo menos 36°, lo que se corresponde con una décima parte de un ángulo completo, y puede alcanzar incluso 360°, es decir, un ángulo completo). Dentro de dicho arco de circunferencia el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor no es, en general, constante debido a, por ejemplo, la posible falta de regularidad del material. Como consecuencia, la lectura de los valores de espesor aproximados RTW a lo largo de un arco de circunferencia posibilita la determinación no solo del valor real del espesor T que representa un promedio del espesor T a lo largo del arco de circunferencia, sino también de un mínimo T_{min} y un máximo T_{max} del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor a lo largo del arco de circunferencia que representan cómo puede variar el valor real del espesor T a lo largo del arco de circunferencia.

65 En general, la unidad de procesamiento 13 determina el mínimo T_{min} y el máximo T_{max} del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, es decir, esta determina la amplitud ΔT del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, debido a que tales datos pueden ser útiles para

controlarse correctamente el mecanizado que se lleva a cabo por la herramienta de rectificación 9. El mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor representan los dos extremos que delimitan el intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor que tiene una amplitud ΔT (en la que $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$).

De acuerdo con una primera realización, la unidad de procesamiento 13 determina el mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, es decir, esta determina la amplitud ΔT del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor como una función de un mínimo y un máximo de los valores de espesor aproximados RTW que pertenecen al grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C . Dichos mínimo y máximo pueden estimarse, por ejemplo, en función del procesamiento sobre la desviación estándar en la distribución de tales valores de espesor aproximados RTW. Dicho de otra forma, el valor de espesor aproximado que se estima que es el más bajo de entre los valores de espesor aproximados RTW que pertenecen al grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C representa el mínimo $T_{\min}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, mientras que el valor de espesor aproximado que se estima que es el más alto de entre los valores de espesor aproximados RTW que pertenecen al grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C representa el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor. Un método de este tipo se aplica habitualmente cuando los valores de espesor aproximados RTW usados para una única medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se leen a lo largo de un largo arco de circunferencia (cuya longitud es próxima o igual al ángulo completo). De acuerdo con una realización alternativa, cuando los valores de espesor aproximados RTW usados para una única medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se leen a lo largo de un corto arco de circunferencia (cuyo tamaño angular, por ejemplo, es igual a $1/10$ del ángulo completo, es decir, igual a 36°) más medidas consecutivas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se consideran para determinar el mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, es decir, para determinar la amplitud ΔT del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada de material semiconductor. En el presente caso, el mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, es decir, la amplitud ΔT del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada de material semiconductor, se determinan como una función del mínimo y el máximo de los valores reales del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor que se determinan por la secuencia de medidas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor (es decir, el mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor son iguales al mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ de los valores reales del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, respectivamente). La secuencia de medidas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor que se considera que determinan el mínimo $T_{\min}$ y el máximo $T_{\max}$ del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor ha de corresponderse con una rotación completa de la rebanada 2 de material semiconductor con el fin de proporcionar un resultado completamente fiable. De acuerdo con una realización preferida, se determina un umbral de calidad mínimo $MT_{\min}$ que se almacena en una memoria de la unidad de procesamiento 13. Antes de clasificar los valores de espesor aproximados RTW, la unidad de procesamiento 13 elimina (rechaza) la totalidad de los valores de espesor aproximados RTW cuyos factores de calidad MF son más bajos que el umbral de calidad mínimo $MT_{\min}$. De esta forma, los valores de espesor aproximados RTW con unos factores de calidad MF demasiado bajos (y, por lo tanto, posiblemente afectados por unos errores de medición incluso destacables) no se consideran en la determinación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor. Si, por ejemplo, el intervalo de los factores de calidad MF se extiende de 0 a 100, los valores de espesor aproximados RTW con un factor de calidad MF más bajo que 30 o 20 pueden rechazarse.

De acuerdo con una realización preferida, la unidad de procesamiento 13 establece un umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y un umbral de rechazo más alto $R_{\max}$ que definen un intervalo de búsqueda que incluye el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor y esta elimina (rechaza) la totalidad de los valores de espesor aproximados RTW que son más bajos que el umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y más altos que el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$. Dicho de otra forma, el intervalo de búsqueda definido por el umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$ define en dónde ha de buscarse el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor con el fin de estrechar el área de búsqueda.

Durante el mecanizado superficial de la rebanada 2 de material semiconductor que da lugar a una reducción gradual del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, la unidad de procesamiento 13 actualiza de manera progresiva el umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$ para "seguir" la reducción gradual del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, como una función del estado de progreso del mecanizado superficial de la rebanada 2 de material semiconductor. Lo que se ha descrito en lo que antecede se ilustra en la gráfica de la figura 6, que muestra la evolución a lo largo del tiempo del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor durante el mecanizado superficial y, por lo tanto, la evolución a lo largo del tiempo del umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$.

De acuerdo con una primera realización, la unidad de procesamiento 13 determina el estado de progreso del mecanizado superficial de la rebanada 2 de material semiconductor como una función del proceso de mecanizado (que, tal como se ha indicado previamente, controla el estado de progreso del mecanizado superficial) y, por lo tanto, actualiza de manera progresiva el umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$ y el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$ como una

función del estado de progreso del mecanizado superficial. En particular, el proceso de mecanizado define una tasa de retirada de material VA (es decir, el espesor del material que se retira por unidad de tiempo). Por lo tanto, conociendo que el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor adopta un valor T_{PC} en un instante de control de tiempo t_{PC} (que habitualmente se corresponde con el último cambio en la tasa de retirada de material VA), es más fácil actualizar de manera progresiva los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

$$[1] R_{min}(t) = T_{PC} - VA * (t - t_{PC}) - M_{SC}$$

$$[2] R_{max}(t) = T_{PC} - VA * (t - t_{PC}) + M_{SC}$$

$R_{min}(t)$ umbral de rechazo más bajo en el instante de tiempo t;
 $R_{max}(t)$ umbral de rechazo más alto en el instante de tiempo t;
 T_{PC} valor del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor en un instante de control de tiempo t_{PC} ;
 t_{PC} instante de control de tiempo;
VA tasa de retirada de material;
 M_{SC} máxima desviación entre la retirada teórica de material y la retirada real de material (previamente establecida, en general, por medio de pruebas experimentales).

De acuerdo con una segunda realización, se llevan a cabo mediciones del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor en una secuencia, y la unidad de procesamiento 13 actualiza el umbral de rechazo más bajo R_{min} y el umbral de rechazo más alto R_{max} usados para la medición actual del espesor T como una función del valor real del espesor T determinado al final de la medición anterior del espesor T. Preferiblemente, la unidad de procesamiento 13 determina, de acuerdo con el método que se ha descrito en lo que antecede, en cada medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, la amplitud ΔT del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, así mismo, y establece el umbral de rechazo más bajo R_{min} y el umbral de rechazo más alto R_{max} , usados para la medición actual del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, al restar de y añadir a, respectivamente, el valor real del espesor T determinado al final de la medición anterior, la mitad de la amplitud ΔT de tal intervalo de variación del valor real del espesor T determinado al final de la medición anterior, a lo que puede añadirse o no un coeficiente de seguridad KS (en el orden de un 10-30 %). Dicho de otra forma, los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} pueden actualizarse mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

$$[3] R_{min-i} = T_{i-1} - (\Delta T_{i-1} / 2) * (1 + KS)$$

$$[4] R_{max-i} = T_{i-1} + (\Delta T_{i-1} / 2) * (1 + KS)$$

R_{min-i} umbral de rechazo más bajo usado para la i-ésima medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor;
 R_{max-i} umbral de rechazo más alto usado para la i-ésima medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor;
 T_{i-1} valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor determinado al final de la (i-1)-ésima medición;
 ΔT_{i-1} amplitud del intervalo de variación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor determinado al final de la (i-1)-ésima medición;
KS coeficiente de seguridad.

De acuerdo con una realización alternativa, es posible elegir una distancia entre los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} que es más grande o más pequeña que la amplitud ΔT que se ha mencionado en lo que antecede del intervalo de variación.

Debido a que los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} no son estáticos (es decir, siempre constantes) sino dinámicos (es decir, estos varían de forma continua para seguir la evolución a lo largo del tiempo del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor), los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} son particularmente efectivos en la eliminación de los valores de espesor aproximados excluidos del procesamiento para calcular el espesor T y, por lo tanto, en el aumento de la eficiencia de dicho procesamiento y la precisión en la determinación del valor real del espesor T. Un resultado de este tipo puede conseguirse debido a que los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} son dinámicos y, por lo tanto, estos pueden definir un intervalo de aceptabilidad particularmente estrecho. Cuando se lleva a cabo la primera medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, no hay medidas anteriores disponibles a las que pueda hacerse referencia para determinar el umbral de rechazo más bajo R_{min} y el umbral de rechazo más alto R_{max} . Por lo tanto, cuando se lleva a cabo la primera medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, los valores empleados del umbral de rechazo más bajo R_{min} y el umbral de rechazo más alto R_{max} se determinan previamente y se calculan como una función de las características nominales de la rebanada 2 de material semiconductor y de las tolerancias de las características nominales. Habitualmente, los valores iniciales y previamente determinados de los umbrales de rechazo R_{min} y R_{max} calculados como una función de las características nominales abarcan un amplio intervalo que se reduce de manera gradual a medida que se encuentran disponibles más medidas del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor. De acuerdo con una posible solución particular, al comienzo el amplio intervalo inicial incluido entre los umbrales de

rechazo $R_{\min}$ y $R_{\max}$ sigue siendo válido hasta que se detecta una persistencia previamente determinada del valor de medición inicial. Por ejemplo, el primer valor de medición generado por el algoritmo se obtiene cuando este persiste durante por lo menos N veces consecutivas (en donde, por ejemplo, $N = 100$) presentando pequeñas variaciones, no extendiéndose fuera de un intervalo previamente determinado y limitado (3 micras, por ejemplo), y en esta fase los umbrales de rechazo $R_{\min}$ y $R_{\max}$ continúan determinándose en función del espesor original teórico y de su tolerancia. Esta solución particular sirve para proporcionar más fiabilidad al valor inicial que es la base sobre la cual se determinan los valores de los límites automáticos subsiguientes.

De acuerdo con una realización preferida, después de rechazar los valores de espesor aproximados RTW que no cumplen con los dos criterios de rechazo (es decir, que son más bajos que el umbral de rechazo más bajo $R_{\min}$, más altos que el umbral de rechazo más alto $R_{\max}$ o tienen un factor de calidad MF más bajo que el umbral de calidad mínimo $MT_{\min}$), la unidad de procesamiento 13 determina un porcentaje de aceptabilidad A% que representa el número de valores de espesor aproximados RTW que cumplen con los criterios de rechazo (es decir, que sobreviven después de rechazos sobre la base de los criterios de rechazo) en comparación con el número total de valores de espesor aproximados RTW disponibles. Además, la unidad de procesamiento 13 determina el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor solo si el porcentaje de aceptabilidad A% es más alto que un umbral de representatividad RT. Tal condición asegura que el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se determina solo si es posible usar un número significativo de valores de espesor aproximados RTW. De hecho, el uso de un número demasiado más bajo de valores de espesor aproximados RTW da lugar al riesgo de cometer errores no despreciables en la determinación del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor.

Cuando el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor no puede determinarse debido a que el porcentaje de aceptabilidad A% no es más alto que un umbral de representatividad RT, la unidad de procesamiento 13 modifica, preferiblemente, por lo menos un criterio de rechazo de los valores de espesor aproximados RTW para intentar que aumente el porcentaje de aceptabilidad A%. Habitualmente, si el porcentaje de aceptabilidad A% es más bajo que el umbral de representatividad RT incluso después de que se haya modificado por lo menos un criterio de rechazo, la unidad de procesamiento 13 no determina el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor e indica una medición fallida.

De acuerdo con una posible realización, la unidad de procesamiento 13 determina, mediante el análisis de una serie de medidas consecutivas del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, por lo menos un posible valor de espesor parásito que siempre sigue siendo sustancialmente constante y un número promedio relativo de valores de espesor aproximados RTW del valor de espesor parásito que pertenecen a la clase de espesor C que se corresponde con el valor de espesor parásito. Por lo tanto, después de determinar el valor de espesor parásito, la unidad de procesamiento 13 retira de la clase de espesor C que se corresponde con el valor parásito el número promedio de valores de espesor aproximados RTW del valor de espesor parásito. De esta forma es posible eliminar la influencia de los valores parásitos que pueden tener efectos negativos cuando el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor atraviesa, al disminuir, un valor parásito.

Lo que se ha descrito en lo que antecede se ejemplifica en las figuras 7a a 7d: comparando las cuatro figuras 7a, 7b, 7c y 7d, puede entenderse que existe un grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C y dos grupos minoritarios GP_1 y GP_2 de clases de espesor C. El grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C se desplaza de manera gradual a lo largo del tiempo hacia unos valores más bajos debido al mecanizado superficial que se lleva a cabo por la herramienta de rectificación 9, mientras que los dos grupos minoritarios GP_1 y GP_2 de clases de espesor C siempre siguen siendo sustancialmente constantes a lo largo del tiempo. La unidad de procesamiento 13 reconoce que los dos grupos minoritarios GP_1 y GP_2 de clases de espesor C siempre siguen siendo sustancialmente constantes a lo largo del tiempo y, por lo tanto, estos no pueden representar el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor que ha de disminuir a lo largo del tiempo debido al mecanizado superficial que se lleva a cabo por la herramienta de rectificación 9. Cuando el grupo preponderante $G_{\max}$ de clases de espesor C atraviesa (es decir, se solapa con) el grupo minoritario GP_2 de clases de espesor C, el grupo preponderante $G_{\max}$ se ve "deformado" por el grupo minoritario GP_2 (tal como se muestra en la figura 7b). Con el fin de evitar tal "deformación", la unidad de procesamiento 13 elimina el grupo minoritario GP_2 que se solapa con el grupo preponderante $G_{\max}$ (tal como se muestra en la figura 7c) cuando el grupo minoritario GP_2 atraviesa el grupo preponderante $G_{\max}$.

Tal como se ha indicado en lo que antecede, para determinar el valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor, la unidad de procesamiento 13 usa una pluralidad de lecturas consecutivas llevadas a cabo por el dispositivo de medición 11 y, por lo tanto, considera una pluralidad de valores de espesor aproximados RTW (cada lectura llevada a cabo por el dispositivo de medición 11 proporciona, por ejemplo, un único valor de espesor aproximado RTW o, de acuerdo con la realización que se ha mencionado anteriormente en el presente documento, tres valores de espesor aproximados RTW). De acuerdo con una realización preferida, cada medición del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor usa un número previamente determinado y constante de lecturas del espesor T dentro de un intervalo de tiempo de medición. Entre dos mediciones consecutivas, la unidad de procesamiento traslada a lo largo del tiempo el intervalo de tiempo de medición una extensión que es más pequeña que la extensión del propio intervalo de tiempo de medición, de tal modo que un número de lecturas del espesor T pertenecen tanto a la parte final de la medición anterior como a la parte inicial de la medición subsiguiente.

El método que se ha descrito en lo que antecede para medir ópticamente por interferometría el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor se basa en la hipótesis de que los valores de espesor aproximados RTW que se corresponden con el espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor son considerablemente más frecuentes que la totalidad de los otros valores y / o tienen unos factores de calidad MF que son, como promedio, más altos que la totalidad de los otros. Muchas pruebas experimentales han demostrado que tal hipótesis es correcta y, por lo tanto, el método que se ha descrito en lo que antecede es fiable.

En un método diferente de acuerdo con la invención, el espesor T puede determinarse al comienzo, de una forma que difiere de la que se ha descrito anteriormente en el presente documento, por ejemplo, en función del factor de calidad MF de acuerdo con una forma conocida, o al considerar valores de espesor aproximados RTW que son más próximos que otros valores detectados a un valor de espesor teórico previamente establecido. En un método diferente de este tipo de acuerdo con la invención, el umbral de rechazo mínimo $R_{\min}$ y el umbral de rechazo máximo $R_{\max}$ están definidos, no obstante, de una forma dinámica, por ejemplo mediante el uso de uno de los métodos que se han descrito anteriormente en el presente documento.

Los métodos que se han descrito en lo que antecede para medir ópticamente por interferometría el espesor T de una rebanada 2 de material semiconductor, o de un objeto fabricado de un material diferente que es por lo menos parcialmente transparente a las radiaciones luminosas usadas, proporcionan una gran cantidad de ventajas.

Ante todo, los métodos que se han descrito en lo que antecede posibilitan la determinación, de manera rápida y precisa, del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor. De hecho, muchas pruebas experimentales han mostrado que los métodos que se han descrito en lo que antecede posibilitan la determinación del valor real del espesor T de la rebanada 2 de material semiconductor con errores pequeños.

Además, los métodos que se han descrito en lo que antecede no requieren intervención externa alguna para ajustar los parámetros operativos. Al contrario, tales métodos pueden ajustarse, de manera autónoma y sin intervención externa, a las características específicas de la medición actual, para proporcionar la precisión más grande en cada situación. Como consecuencia, los métodos que se han descrito en lo que antecede son particularmente adecuados para usarse en una línea de producción durante la producción en serie. Por último, los métodos que se han descrito en lo que antecede ni requieren una potencia de procesamiento elevada ni ocupan mucho espacio de almacenamiento. Por lo tanto, estos pueden implementarse con facilidad y de manera económica incluso en una unidad de procesamiento 13 existente (que, por lo tanto, puede actualizarse con facilidad), que puede incluso estar integrada en la unidad de control 14.

REIVINDICACIONES

1. Método para medir ópticamente por interferometría el espesor (T) de un objeto (2); incluyendo el método las etapas de:

llevar a cabo por interferometría óptica una pluralidad de lecturas del espesor (T) del objeto para obtener por lo menos un valor de espesor aproximado (RTW) de cada lectura y, en consecuencia, una pluralidad de valores de espesor aproximados (RTW); y
determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) mediante el análisis de la pluralidad de valores de espesor aproximados (RTW);
estando el método caracterizado por que este incluye las etapas de:

definir un intervalo de variabilidad de los valores de espesor aproximados (RTW) que es lo bastante amplio para comprender por lo menos una parte significativa de los valores de espesor aproximados (RTW);
evaluar las frecuencias de los valores de espesor aproximados (RTW) de dicho intervalo de variabilidad;
identificar un conjunto limitado de valores de espesor aproximados (RTW) adyacentes cuya integración o suma de frecuencias representa un máximo absoluto;
determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) como una función de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen a dicho conjunto limitado de valores.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

la etapa de evaluar las frecuencias de los valores de espesor aproximados (RTW) de dicho intervalo de variabilidad comprende el procesamiento de una función continua (F(RTW)) que representa la densidad de frecuencia de los valores de espesor aproximados (RTW) y el cálculo de la función de densidad de frecuencia relativa;
definiendo dicho conjunto limitado de valores de espesor aproximados (RTW) adyacentes un intervalo limitado y estando definida dicha integración o suma de frecuencias como la integral de dicha función continua (F(RTW)) en dicho intervalo limitado.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

la etapa de definir un intervalo de variabilidad de los valores de espesor aproximados (RTW) incluye la determinación de una pluralidad de clases de espesor (C) que es lo bastante grande para comprender una parte significativa de los valores de espesor aproximados (RTW);
la etapa de evaluar las frecuencias de los valores de espesor aproximados (RTW) de dicho intervalo de variabilidad comprende una clasificación de los valores de espesor aproximados (RTW) con el fin de determinar, para cada clase de espesor (C), una frecuencia (F) correspondiente que indica con qué frecuencia los valores de espesor aproximados (RTW) caen dentro de esa clase de espesor (C);
comprendiendo además el método la etapa de determinar un grupo preponderante ($G_{m\acute{a}x}$) de clases de espesor (C) que está compuesto por una o más clases de espesor (C) adyacentes para las cuales la suma de las correspondientes frecuencias (F) define dicha integración o suma de frecuencias que representa un máximo absoluto, estando definido dicho conjunto limitado de valores de espesor aproximados (RTW) adyacentes por dicho grupo preponderante ($G_{m\acute{a}x}$) de clases de espesor (C).

4. Método de acuerdo con la reivindicación 3 y que comprende además las etapas adicionales de

determinar en el grupo preponderante ($G_{m\acute{a}x}$) de clases de espesor ($C_{m\acute{a}x}$) la clase de espesor (C) que tiene la frecuencia más alta ($F_{m\acute{a}x}$); y
determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) como el promedio de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen a la clase de espesor ($C_{m\acute{a}x}$) que tiene la frecuencia más alta ($F_{m\acute{a}x}$).

5. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, y que incluye la etapa adicional de determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) mediante el cálculo del promedio de la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen a dicho conjunto limitado de valores de espesor aproximados (RTW) adyacentes.

6. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye la etapa adicional de determinar un mínimo ($T_{m\acute{i}n}$) y un máximo ($T_{m\acute{a}x}$) del valor real del espesor (T) del objeto (2), es decir, determinar la amplitud (ΔT) de un intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2) como una función de un mínimo y un máximo de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen a dicho conjunto limitado de valores de espesor aproximados (RTW) adyacentes.

7. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, y que incluye las etapas adicionales de:

llevar a cabo una secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2); y
determinar un mínimo ($T_{m\acute{i}n}$) y un máximo ($T_{m\acute{a}x}$) del valor real del espesor (T) del objeto (2), es decir, determinar la amplitud (ΔT) de un intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2) como una función de un mínimo y un máximo de los valores reales del espesor (T) del objeto (2) determinados por la secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2).

8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, y que incluye las etapas adicionales de:

rotar el objeto alrededor de un eje de rotación (6) mientras que se lleva a cabo la secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2); y
llevar a cabo la secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2) de una forma tal que la secuencia de mediciones se lleva a cabo a través de la totalidad de una rotación completa del objeto (2) alrededor del eje de rotación (6).

9. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye las etapas adicionales de:

tener un factor de calidad (MF) correspondiente para cada lectura y cada valor de espesor aproximado (RTW); determinar las frecuencias (F) de los valores de espesor aproximados (RTW) considerando los factores de calidad (MF) de tal modo que el peso asignado a cada valor de espesor aproximado (RTW) aumenta a medida que aumenta el factor de calidad (MF).

10. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye las etapas adicionales de:

tener un factor de calidad (MF) correspondiente para cada lectura y para cada valor de espesor aproximado (RTW); establecer un umbral de calidad mínimo ($MT_{\min}$); y eliminar la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) cuyos factores de calidad (MF) son más bajos que el umbral de calidad mínimo ($MT_{\min}$).

11. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye las etapas adicionales de:

establecer un umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y un umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que identifican un intervalo de búsqueda que comprende el valor real del espesor (T) del objeto (2); y eliminar la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) que son más bajos que el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) o más altos que el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$).

12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, y que incluye las etapas adicionales de:

mecanizar la superficie del objeto (2) con el fin de reducir de manera gradual el espesor (T) del objeto (2) de acuerdo con un proceso de mecanizado conocido; determinar el estado de progreso del mecanizado superficial del objeto (2) como una función del proceso de mecanizado; y actualizar de manera progresiva el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) como una función del estado de progreso del mecanizado superficial del objeto (2).

13. Método de acuerdo con la reivindicación 11, y que incluye las etapas adicionales de:

llevar a cabo mediciones del espesor (T) del objeto (2) en una secuencia; y actualizar el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que se usan para la medición actual del espesor (T) del objeto (2) como una función del valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2).

14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, y que incluye las etapas adicionales de:

determinar, para cada medición del espesor (T) del objeto (2), la amplitud (ΔT) de un intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2); y establecer el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que se usan para la medición actual del espesor (T) del objeto (2) al restar de y añadir a, respectivamente, el valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2), la mitad de la amplitud (ΔT) del intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2).

15. Método para medir ópticamente por interferometría el espesor (T) de un objeto (2) durante un mecanizado superficial del objeto (2) que reduce de manera gradual el espesor (T) del objeto (2); incluyendo el método las etapas de:

llevar a cabo por interferometría óptica una pluralidad de lecturas del espesor (T) del objeto para obtener por lo menos un valor de espesor aproximado (RTW) de cada lectura y, en consecuencia, una pluralidad de valores de espesor aproximados (RTW); determinar un valor real del espesor (T) del objeto (2) mediante el análisis de la pluralidad de valores de espesor aproximados (RTW);

establecer un umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y un umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que definen un intervalo de búsqueda que comprende el valor real del espesor (T) del objeto (2); y
eliminar la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) que son más bajos que el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) o más altos que el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$);
estando el método caracterizado por que este incluye la etapa de:

actualizar de manera progresiva el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) como una función de la reducción gradual del espesor (T) del objeto (2).

16. Método de acuerdo con la reivindicación 15, en el que el mecanizado superficial del objeto (2) que reduce de manera gradual el espesor (T) del objeto (2) tiene lugar de acuerdo con un proceso de mecanizado conocido, incluyendo el método las etapas adicionales de:

determinar el estado de progreso del mecanizado superficial del objeto (2) como una función de la ley de mecanizado; y
actualizar de manera progresiva el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) como una función del estado de progreso del mecanizado superficial del objeto (2).

17. Método de acuerdo con la reivindicación 15, y que incluye las etapas adicionales de:

llevar a cabo una secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2); y
actualizar el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que se usan para la medición actual del espesor (T) del objeto (2) como una función del valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2).

18. Método de acuerdo con la reivindicación 17, y que incluye las etapas adicionales de:

determinar, para cada medición del espesor (T) del objeto (2), la amplitud (ΔT) de un intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2); y
establecer el umbral de rechazo más bajo ($R_{\min}$) y el umbral de rechazo más alto ($R_{\max}$) que se usan para la medición actual del espesor (T) del objeto (2), al restar de y añadir a, respectivamente, el valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2), la mitad de la amplitud (ΔT) del intervalo de variación del valor real del espesor (T) del objeto (2) determinado al final de la medición anterior del espesor (T) del objeto (2).

19. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, y que incluye las etapas adicionales de:

determinar una pluralidad de clases de espesor (C) que es lo bastante grande para comprender una parte significativa de los valores de espesor aproximados (RTW);
clasificar los valores de espesor aproximados (RTW) con el fin de determinar, para cada clase de espesor (C), una frecuencia (F) correspondiente que indica con qué frecuencia los valores de espesor aproximados (RTW) caen dentro de esa clase de espesor (C);
determinar un grupo preponderante ($G_{\max}$) de clases de espesor (C) que está compuesto por una o más clases de espesor (C) adyacentes, para las cuales la suma de las correspondientes frecuencias (F) define un máximo absoluto; y
determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) como una función de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen al grupo preponderante ($G_{\max}$) de clases de espesor (C).

20. Método de acuerdo con la reivindicación 19, y que incluye la etapa adicional de determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) mediante el cálculo del promedio de la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) que pertenecen al grupo preponderante ($G_{\max}$) de clases de espesor (C).

21. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3, 4, 19 o 20, y que incluye las etapas adicionales de:

llevar a cabo una secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2);
determinar, mediante el análisis de una serie de mediciones subsiguientes, por lo menos un posible valor de espesor parásito que siempre sigue siendo constante en la serie de mediciones subsiguientes y un número promedio correspondiente de valores de espesor aproximados (RTW) del valor de espesor parásito que pertenecen a la clase de espesor (C) que se corresponde con el valor de espesor parásito; y
eliminar de la clase de espesor (C) que se corresponde con el valor de espesor parásito el número promedio de valores de espesor aproximados (RTW) del valor de espesor parásito.

22. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 21, y que incluye las etapas adicionales de:

tener un factor de calidad (MF) correspondiente para cada lectura y cada valor de espesor aproximado (RTW);

establecer un umbral de calidad mínimo ($MT_{\min}$); y
eliminar la totalidad de los valores de espesor aproximados (RTW) cuyos factores de calidad (MF) son más bajos que el umbral de calidad mínimo ($MT_{\min}$).

5 23. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye las etapas adicionales de:

10 determinar por lo menos un criterio de rechazo de valores de espesor aproximados (RTW);
eliminar la totalidad de los valores de espesor aproximados que no cumplen con el criterio de rechazo;
determinar un porcentaje de aceptabilidad (A%) que representa el número de valores de espesor aproximados (RTW) que cumplen con el criterio de rechazo en comparación con el número total de valores de espesor aproximados (RTW) disponibles; y
determinar el valor real del espesor (T) del objeto (2) solo si el porcentaje de aceptabilidad (A%) es más alto que un umbral de representatividad (RT).

15 24. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que incluye las etapas adicionales de:

20 llevar a cabo una secuencia de mediciones del espesor (T) del objeto (2), usando cada una de estas un número previamente determinado y constante de lecturas del espesor (T) del objeto que se llevan a cabo por interferometría óptica y se encuentran dentro de un intervalo de medición; y
trasladar a lo largo del tiempo, entre dos mediciones subsiguientes, el intervalo de medición una extensión que es más pequeña que la extensión del propio intervalo de medición, de tal modo que un número de lecturas del espesor (T) del objeto llevadas a cabo por interferometría pertenece tanto a la parte final de la medición anterior
25 como a la parte inicial de la medición subsiguiente.

25. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el objeto (2) es una rebanada de material semiconductor.

30 26. Aparato para medir ópticamente por interferometría el espesor (T) de un objeto (2); el aparato incluye:

un dispositivo de medición (11) para una medición de espesor por interferometría que lleva a cabo una pluralidad de lecturas del espesor (T) del objeto para obtener por lo menos un valor de espesor aproximado (RTW) de cada lectura y, en consecuencia, una pluralidad de valores de espesor aproximados (RTW); y
35 una unidad de procesamiento (13) que está configurada para llevar a cabo un método de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

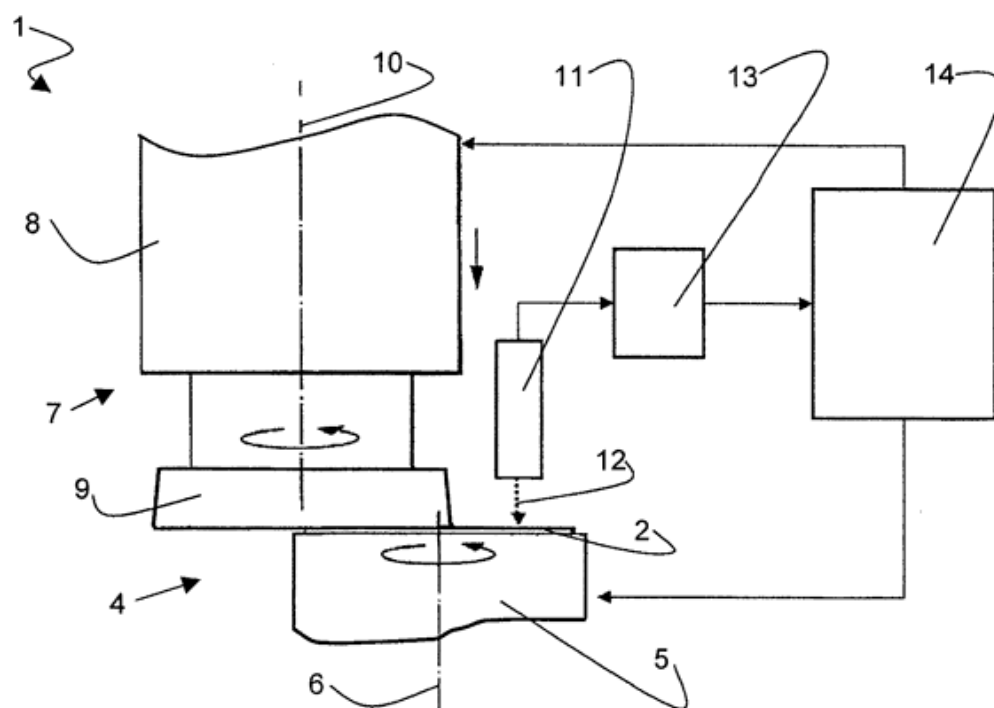


Fig. 1

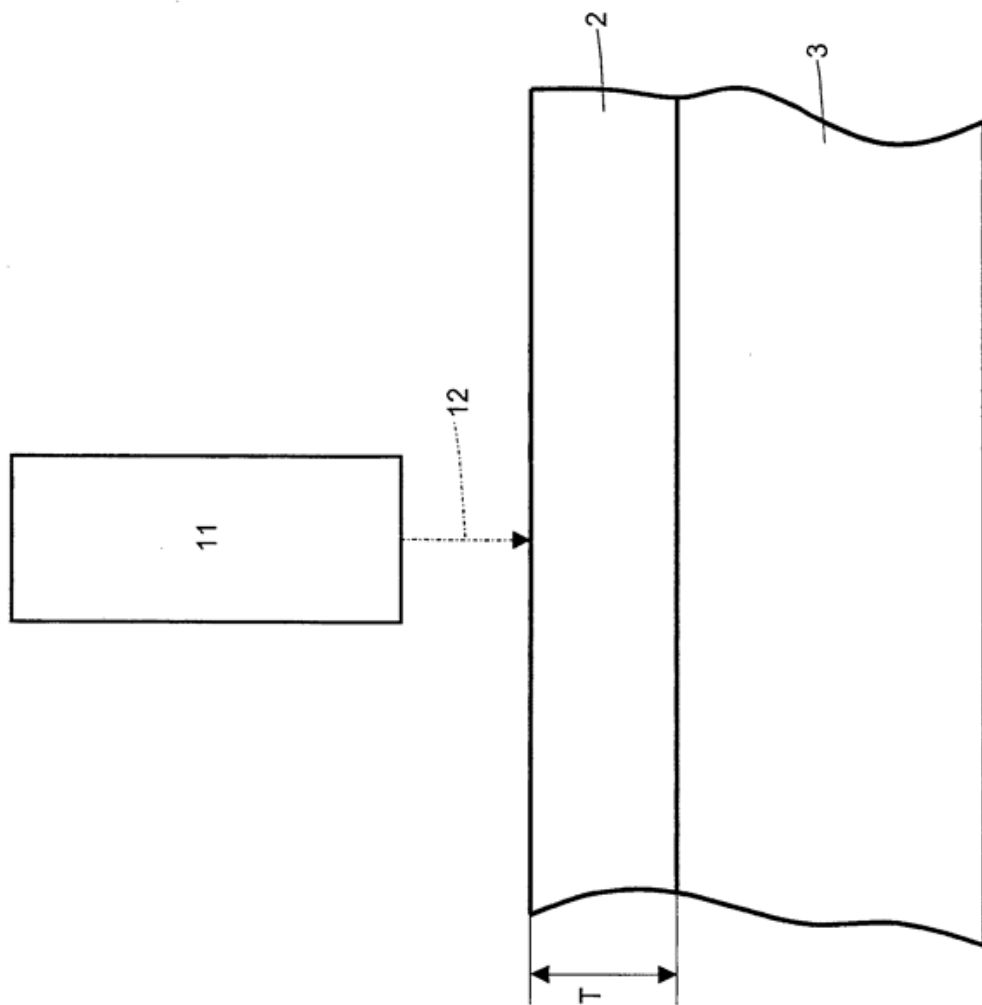


Fig.2

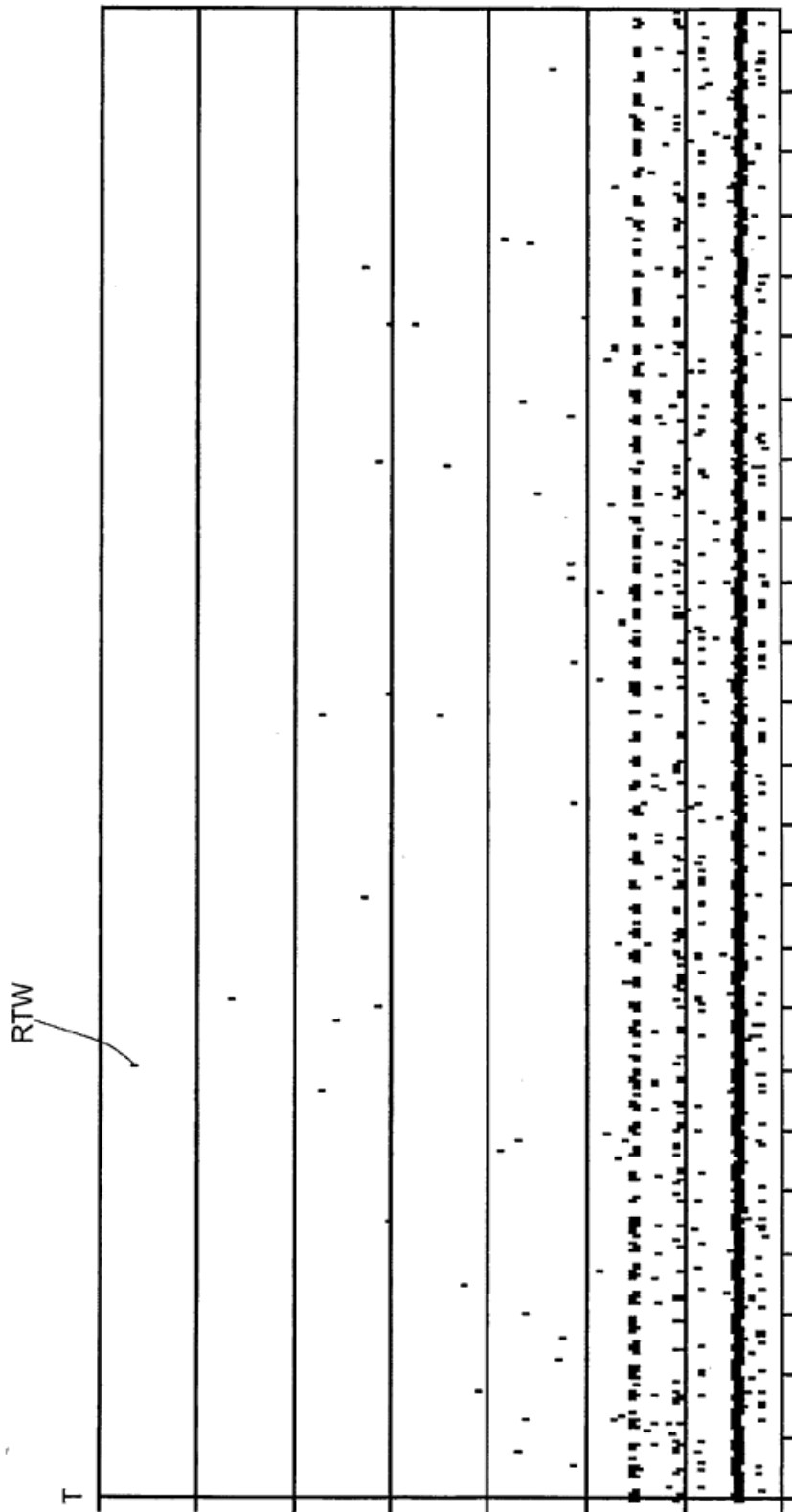


Fig.3

