

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 550**

51 Int. Cl.:

G01B 11/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2014** **PCT/US2014/027980**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014** **WO14143838**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2014** **E 14719985 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020** **EP 2972070**

54 Título: **Método y sistema para la medición en tiempo real durante el proceso del espesor de recubrimiento**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201361792689 P

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

01.03.2021

73 Titular/es:

**SENSORY ANALYTICS (100.0%)
405 Pomona Drive
Greensboro, NC 27407, US**

72 Inventor/es:

**KOMARAGIRI, VIVEK y
FRISBY, GREG**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 808 550 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 sistema para la medición en tiempo real durante el proceso del espesor de recubrimiento

5 Campo

La presente divulgación se refiere generalmente a métodos y sistemas para medir el espesor de recubrimientos o películas delgadas sobre diversos sustratos. Las realizaciones incluyen métodos y sistemas para la medición en tiempo real durante el proceso del espesor de recubrimiento y, más particularmente, métodos y sistemas para la medición en tiempo real durante el proceso de un espesor de recubrimiento sobre un sustrato móvil o un producto recubierto.

Antecedentes

La medición de recubrimientos y películas delgadas es apreciada en entornos de fabricación. Por ejemplo, la regulación de la aplicación de un recubrimiento o película delgada a un producto dentro de un rango de espesor preferido permite que los fabricantes aseguren que una película o recubrimiento se aplique con un espesor suficiente para evitar defectos de fabricación, al tiempo que también se evita una aplicación derrochadora de película o recubrimiento en exceso con respecto a un espesor requerido, minimizando de ese modo los costes de material. En el contexto de los procesos de fabricación, la medición de capas delgadas de recubrimientos lubricantes sobre metales permite a los fabricantes garantizar que se aplique suficiente recubrimiento para evitar daños sustanciales a costosos equipos de fabricación y de procesamiento. Además, es preferible realizar periódicamente mediciones de recubrimientos o películas delgadas en tiempo real a medida que se aplican las películas o recubrimientos antes de que el sustrato recubierto siga adelante a través del proceso de fabricación.

Existen varias técnicas actualmente conocidas para medir recubrimientos o películas delgadas. Sin embargo, los métodos conocidos tienen diversas limitaciones que socavan significativamente su utilidad respectiva en las aplicaciones industriales. Por ejemplo, las técnicas de medición basadas en reflectometría convencionales se vuelven poco fiables cuando el espesor del recubrimiento/película objeto en cuestión está por debajo de 200 nanómetros (1 nanómetro = 0,001 micrómetros). Las técnicas de reflectometría basadas en modelado conocidas no son adecuadas y no son lo suficientemente robustas para su uso en entornos de producción industrial.

Además, las técnicas de reflectometría basadas en modelado para medir espesores de película o de recubrimiento de menos de 0,2 micrómetros se han centrado habitualmente en la medición de recubrimientos y películas sobre sustratos semiconductores. Sin embargo, las aplicaciones de recubrimientos o películas en el proceso de fabricación de semiconductores se realizan sobre sustratos estáticos (no móviles). Una limitación significativa de las técnicas de reflectometría basadas en modelado actualmente conocidas capaces de medir recubrimientos de menos de 0,2 micrómetros es que estas requieren un sustrato estático sobre el cual realizar mediciones de recubrimientos o materiales depositados sobre los mismos.

La presente divulgación se dirige a métodos y sistemas para la medición en tiempo real durante el proceso de recubrimientos o películas delgadas, incluyendo películas o recubrimientos de menos de 0,2 micrómetros, sobre un sustrato móvil y, por lo tanto, supera las limitaciones de los métodos y sistemas conocidos.

El documento EP 0 300 508 A2 (NIPPON KOKAN KK [JP] publicado el 25 de enero de 1989) divulga que la luz circularmente polarizada incidente sobre una superficie de película (9) se convierte en tres haces de luz mediante planos ópticos (13a, 13b, 13c, 13d) para obtener señales eléctricas (I1-I3) correspondientes a las intensidades de los haces de luz respectivos. Dos parámetros elipsométricos ψ y Δ se calculan a partir de estas tres señales eléctricas (I1-I3). Se dice que el aparato de medición de espesor de película divulgado es adecuado para medir un objeto que se mueve a alta velocidad o un objeto estacionario.

50 Sumario

La presente divulgación se refiere generalmente a un método de acuerdo con la reivindicación 1 y a un sistema de acuerdo con la reivindicación 8.

Las realizaciones ilustrativas divulgadas en el presente documento no se mencionan para limitar o definir la invención, sino para proporcionar ejemplos para ayudar a la comprensión de la misma. Algunas realizaciones ilustrativas se analizan en la Descripción detallada, y en la misma se proporciona una Descripción adicional de la invención. Las ventajas ofrecidas por diversas realizaciones de la presente invención se pueden entender mejor al examinar la presente memoria descriptiva.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características, aspectos y ventajas de acuerdo con la presente divulgación se entienden mejor cuando se lee la siguiente Descripción detallada con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La figura 1A es un diagrama de bloques de un sistema para medir el espesor de recubrimiento/película delgada de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La figura 1B es una ilustración de una configuración que comprende componentes del sistema 100 de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

5 La figura 2 es un diagrama de flujo de un método para medir el espesor de recubrimiento/película delgada de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Descripción detallada

10 Las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación proporcionan métodos y sistemas para la medición en línea en tiempo real del espesor de recubrimiento o película delgada y, más particularmente, métodos y sistemas para la medición en línea en tiempo real de espesores de recubrimiento o película delgada, incluyendo películas o recubrimientos de menos de 0,2 micrómetros, sobre un sustrato móvil.

15 *Realizaciones ilustrativas*

En una realización ilustrativa, un fabricante emplea los sistemas y métodos de la presente invención para medir el espesor de un recubrimiento lubricante aplicado a revestimiento de metal delgado para asegurar que está presente una capa suficiente de recubrimiento lubricante sobre el revestimiento de metal delgado - usado por el fabricante para crear sus productos - para evitar daños a equipos de fabricación costosos que procesan el revestimiento de metal. En la realización ilustrativa, el fabricante incorpora una fuente de luz de banda ancha que dirige ondas de luz a través de polarizadores y placas de onda sobre la superficie del revestimiento de metal delgado que contiene el recubrimiento lubricante a medida que este se está moviendo a través del equipo. El fabricante incorpora adicionalmente detectores que capturan la luz reflejada que pasa a través de analizadores rotatorios. Un ordenador que controla el proceso de fabricación está en comunicación con las fuentes de luz y los detectores y se programa para configurar las fuentes de luz para generar luz dentro de un rango de espectro particular basándose en el metal particular y el recubrimiento lubricante particular que se está midiendo. El ordenador se programa adicionalmente para recibir datos de onda de luz desde los detectores. El ordenador cuantifica el desplazamiento de fase y los cambios de estado de polarización de la luz reflejada, en comparación con las ondas de luz generadas por la fuente de luz, y entonces usa esa información para evaluar y validar el espesor del recubrimiento lubricante en diversas ubicaciones sobre el revestimiento de metal a medida que este se está moviendo a través del equipo.

Además, los detectores y analizadores rotatorios se acoplan a un mecanismo de ajuste en comunicación con el ordenador. El ordenador funciona para detectar fluctuaciones, vibraciones u otras perturbaciones en el movimiento del revestimiento de metal y ajusta automáticamente las posiciones de los analizadores y detectores para garantizar la precisión de las mediciones de espesor.

En la realización ilustrativa, se definen y se programan en el ordenador un rango de espesor preferido, un nivel de espesor de advertencia y un umbral de espesor crítico. Si el espesor medido del recubrimiento lubricante está bastante dentro del rango de espesor preferido, el ordenador permite que continúe el proceso de fabricación. Si el ordenador detecta que el recubrimiento lubricante está fuera del rango de espesor preferido, el ordenador proporciona realimentación al sistema que controla la aplicación del recubrimiento lubricante. En respuesta, ese sistema ajusta la aplicación del recubrimiento lubricante para devolverlo al rango de espesor preferido. En el caso en el que el espesor de recubrimiento alcanza el nivel de espesor de advertencia, el ordenador alerta a los operadores del equipo de un posible mal funcionamiento en el sistema de aplicación de recubrimiento lubricante. Los operadores pueden elegir entonces si parar el proceso de fabricación para investigar, o continuar el proceso.

Sistema ilustrativo

50 La figura 1A es un diagrama de bloques de un sistema para medir el espesor de recubrimiento/película delgada de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La figura 1A ilustra una configuración que comprende componentes del sistema 100 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El sistema 100 puede comprender uno de una diversidad de factores de forma. En una realización, el sistema 100 puede ser un sistema autónomo que comprende una única carcasa. En una realización, el sistema 100 puede comprender una carcasa portátil. En otras realizaciones, el sistema 100 se puede integrar directamente en equipos de fabricación o de prueba. En otra realización más, el sistema 100 puede comprender un número de componentes en ubicaciones físicas separadas, pero acoplados a través de comunicaciones cableadas y/o inalámbricas y/o interconexiones de redes bien conocidas por los expertos en la materia.

60 Las realizaciones de la presente divulgación se pueden implementar en combinación con, o pueden comprender combinaciones de, conjuntos de circuitos electrónicos digitales, hardware, firmware o software informático, fuentes de luz, equipos ópticos y/o sensores ópticos. El sistema 100 mostrado en la figura 1 comprende un procesador 102. El procesador 102 recibe señales de entrada y genera señales para la comunicación, la visualización y el procesamiento de lecturas de sensor para medir espesores de recubrimientos/películas delgadas. El procesador 102 incluye o está en comunicación con uno o más medios legibles por ordenador, tales como la memoria 104, que puede comprender memoria de acceso aleatorio (RAM).

El procesador 102 ejecuta instrucciones de programa ejecutables por ordenador almacenadas en la memoria 104, tales como ejecutar uno o más programas informáticos para proporcionar una interfaz de usuario y/o procesar lecturas de sensor para medir espesores de recubrimientos/películas delgadas. El procesador 102 puede comprender un microprocesador, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una o más matrices de puertas programables en campo (FPGA) o máquinas de estados. El procesador puede comprender adicionalmente un dispositivo electrónico programable tal como un PLC, un controlador de interrupción programable (PIC), un dispositivo lógico programable (PLD), una memoria de solo lectura programable (PROM), una memoria de solo lectura electrónicamente programable (EPROM o EEPROM) u otros dispositivos similares.

La memoria 104 comprende un medio legible por ordenador que puede almacenar instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador 102, hacen que este realice diversas etapas, tales como las descritas en el presente documento. Las realizaciones de medios legibles por ordenador pueden comprender, pero no se limitan a, un dispositivo electrónico, óptico, magnético u otro dispositivo de almacenamiento o transmisión capaz de proporcionar al procesador 102 instrucciones legibles por ordenador. Otros ejemplos de medios comprenden, pero sin limitarse a, un disquete flexible, CD-ROM, disco magnético, chip de memoria, ROM, RAM, ASIC, procesador configurado, todos los medios ópticos, todas las cintas magnéticas u otros medios magnéticos, o cualquier otro medio desde el cual puede leer un procesador informático. Además, diversos otros dispositivos pueden incluir medios legibles por ordenador, tales como un encaminador, una red privada o pública u otro dispositivo de transmisión. El procesador 102 y el procesamiento descritos pueden estar en una o más estructuras, y se pueden dispersar a través de una o más estructuras.

Haciendo aún referencia a la figura 1, el sistema 100 también comprende uno o más dispositivos de entrada de usuario 108 en comunicación con el procesador 102. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un dispositivo de entrada de usuario 108 puede comprender un teclado, ratón, bola de seguimiento, pantalla táctil, panel táctil, sistema de reconocimiento de voz o cualquier otro dispositivo de entrada conocido por un experto en la materia.

El sistema 100 también comprende un visualizador 106. El visualizador 106 está en comunicación con el procesador 102 y está configurado para visualizar la salida del procesador 102 al usuario. Por ejemplo, en una realización, el visualizador 106 es un monitor informático convencional tal como un visualizador LCD o un tubo de rayos catódicos (CRT). En otra realización, el sistema 100 puede comprender un LCD de pantalla táctil que funciona como tanto un visualizador 106 como un dispositivo de entrada de usuario 108. Se pueden usar diversos tamaños de visualizadores LCD.

Haciendo referencia a continuación a las figuras 1A y 1B, el sistema 100 comprende adicionalmente una fuente de luz 110. Por ejemplo, en una realización, la fuente de luz 110 es una fuente de luz de banda ancha capaz de generar ondas de luz de múltiples longitudes de onda. Por ejemplo, las longitudes de onda de la luz iluminada podrían estar en las regiones ultravioleta (UV), visible o de infrarrojo cercano (NIR). En una realización, la fuente de luz 110 es capaz de generar ondas de luz que tienen longitudes de onda en las regiones de espectro UV y visible. En una realización de este tipo, la fuente de luz 110 comprende una lámpara de arco de xenón. En otra realización, la fuente de luz 110 es capaz de generar ondas de luz que tienen longitudes de onda en las regiones de espectro visible y de NIR. En una realización de este tipo, la fuente de luz 110 comprende una lámpara halógena de tungsteno. En otra realización más, la fuente de luz 110 es capaz de generar ondas de luz que tienen longitudes de onda en las regiones de espectro UV, visible y de NIR. En una realización de este tipo, la fuente de luz 110 comprende una lámpara de arco de xenón y una lámpara halógena de tungsteno.

En una realización, la fuente de luz 110 se acopla al procesador 102 para permitir que el procesador 102 controle la salida de la fuente de luz 110. Por ejemplo, el procesador 110 se puede comunicar con la fuente de luz 110 para encender o apagar la fuente de luz 110, o para especificar el tipo de ondas de luz que se van a proporcionar. En una realización, el procesador se comunica con la fuente de luz para especificar ondas de luz dentro de las regiones de espectro UV, visible y/o de NIR, o subconjuntos de las mismas. En una realización, el procesador 102 controla la cantidad de luz generada para garantizar que los niveles de luz no están saturados. En una realización, la fuente de luz 110 se puede situar para emitir directamente luz hacia un sustrato 120, como se muestra en la figura 1B. En otras realizaciones, las guías de luz se pueden usar para dirigir la luz emitida desde una fuente de luz 110 ubicada en otra posición, tal como dentro de una carcasa que comprende el procesador 102 y la memoria 104, hacia un sustrato 120.

El sistema 100 comprende adicionalmente un polarizador 118. El polarizador 118 es un dispositivo óptico que funciona para convertir ondas de luz no polarizadas que pasan a través del mismo, tales como ondas de luz proporcionadas por la fuente de luz 110, en ondas de luz linealmente polarizadas. En una realización, se usa un polarizador de Glan Taylor con un coeficiente de extinción de $10^5:1$ para convertir el haz de luz no polarizada en un haz de luz linealmente polarizada. En la realización ilustrada en la figura 1B, el polarizador se sitúa de tal manera que las ondas de luz proporcionadas por la fuente de luz 110 pasan a través del polarizador 118.

El sistema 100 comprende adicionalmente una placa de onda 112. En una realización, la placa de onda 112 es una placa de cuarto de onda. La placa de onda 112 funciona para alterar el estado de polarización de las ondas de luz que pasan a través de la misma. Por ejemplo, una placa de cuarto de onda convierte ondas de luz linealmente polarizadas

que pasan a través de la misma en ondas de luz circularmente polarizadas. En la realización ilustrada en la figura 1B, la placa de onda 112 se sitúa para recibir ondas de luz desde una fuente de luz 110 que pasa en primer lugar a través de un polarizador 118. En la realización ilustrada en la figura 1B, las ondas de luz que pasan a través de la placa de onda 112 son ondas de luz incidentes a un sustrato 120 que comprende un recubrimiento o película 122 sobre la superficie de arriba. En algunas realizaciones, la placa de onda 112 es rotatoria y comprende un mecanismo (por ejemplo, un motor eléctrico) para rotar la placa de onda 112. En una realización de este tipo, el procesador 102 se comunica con la placa de onda 112 para controlar si, y a qué velocidad, está rotando la placa de onda 112.

El sistema 100 comprende adicionalmente un analizador 114. En una realización, el analizador 114 es un analizador rotatorio que recibe luz elípticamente polarizada reflejada por el sustrato 120 y/o el recubrimiento o película 122. El analizador rotatorio 114 funciona para reflejar la luz desde diversas posiciones angulares. El analizador 114 es el mismo componente que el polarizador 118, excepto por que este se usa para analizar el estado de polarización de la onda de luz en lugar de alterar el estado de polarización del haz de luz incidente. En algunas realizaciones, un analizador rotatorio 114 comprende un mecanismo (por ejemplo, un motor eléctrico) para rotar el analizador 114. En una realización de este tipo, el procesador 102 se comunica con el analizador rotatorio 114 para controlar si, y a qué velocidad, está rotando el analizador 114.

El sistema 100 comprende adicionalmente un detector 116. El detector 116 funciona para detectar la luz reflejada generada desde diversas posiciones angulares del analizador rotatorio. En una realización, el detector 116 comprende un espectrómetro. En algunas realizaciones, se pueden usar diferentes detectores para diferentes rangos de longitud de onda. En una realización, el detector 116 se puede situar para recibir directamente la luz reflejada generada desde diversas posiciones angulares del analizador rotatorio 114, como se muestra en la figura 1B. En otras realizaciones, se puede usar una sonda conectada a una guía de luz para capturar y dirigir la luz reflejada generada desde diversas posiciones angulares del analizador rotatorio 114 a un detector 116 ubicado en otra posición, tal como dentro de una carcasa que comprende el procesador 102 y la memoria 104. En una realización de este tipo, la sonda comprende una sonda de fibra óptica. El detector 116 funciona para convertir ondas de luz capturadas en datos de onda de luz. En una realización, los datos de onda de luz pueden ser una forma de onda de señal de voltaje que corresponde a la onda de luz capturada. En otra realización, los datos de onda de luz comprenden una estructura de datos que contiene información que describe las ondas de luz de captura.

El detector 116 está en comunicación con el procesador 102 y proporciona los datos de onda de luz al procesador 102. El procesador 102 se programa para validar y evaluar los datos de onda de luz. En una realización, el procesador 102 cuantifica el desplazamiento de fase y los cambios de estado de polarización, en comparación con las ondas de luz generadas por la fuente de luz 110, y entonces usa esa información para evaluar y validar el espesor del recubrimiento/película 122 sobre el sustrato 120. En una realización, el procesador 102 calcula ampliamente el cambio de estado de polarización y el desplazamiento de fase de las ondas de luz incidentes sobre la muestra a los de las ondas de luz reflejadas que emanan del analizador 114. En una realización, se desarrollan modelos teóricos para la combinación de recubrimiento de sustrato dada y se usa el algoritmo de Levenberg-Marquardt para calcular el mejor ajuste para hacer coincidir los datos de onda de luz con un modelo teórico para determinar el espesor. En algunas realizaciones, se aplican técnicas de suavizado triangular a los datos de onda de luz para optimizar la calidad de la respuesta espectral antes de su evaluación. Además, en algunas realizaciones, se usan técnicas para determinar la calidad de señal y detectar ruido para validar datos de onda de luz correspondientes a mediciones individuales. En una realización, la calidad de señal de los datos de onda de luz se determina mediante el uso de firmas espectrales específicas de recubrimiento predeterminadas para validar mediciones individuales. En otra realización más, el procesador 102 determina la intensidad y calidad de las ondas de luz basándose en los datos de onda de luz y ajusta dinámicamente la intensidad de luz proporcionada por la fuente de luz 110.

En algunas realizaciones, el sistema 100 puede comprender dos o más conjuntos de fuentes de luz 110, polarizadores 118, placas de onda 113, analizadores 114 y detectores 116. En una realización de este tipo, el sistema 100 puede medir simultáneamente el espesor del recubrimiento/película 122 en múltiples ubicaciones sobre el sustrato 120. En otra realización, se puede usar una única fuente de luz 110 y/o un único detector 116 junto con dos o más conjuntos de polarizadores 118, placas de onda 113 y analizadores 114. En una realización, se pueden usar un conmutador óptico y guías de luz acopladas al mismo para proporcionar luz desde una única fuente de luz a múltiples ubicaciones sobre el sustrato 120. En otra realización, un conmutador óptico con guías de luz unidas al mismo y sondas acopladas a las guías de luz se pueden usar para capturar la luz reflejada generada desde diversas posiciones angulares de múltiples analizadores rotatorios 114 y dirigir la luz de captura a un único detector 116.

Aunque se muestran como componentes individuales en la figura 1B, en algunas realizaciones, dos o más de la fuente de luz 110 (o el punto de emisión de una guía de luz acoplada a una fuente de luz 110), el polarizador 118 y la placa de onda 112 pueden residir en una única carcasa. De manera similar, en otras realizaciones, el analizador 114 y el detector 116 (o una sonda acoplada a un detector 116 a través de una guía de luz) pueden residir en una única carcasa.

En una realización, el analizador 114 y el detector 116 (o una sonda acoplada a un detector 116 a través de una guía de luz) se acoplan a uno o más mecanismos de ajuste 124 en comunicación con el procesador 102 para ajustar la posición del analizador 114 y el detector 116 (o una sonda acoplada a un detector 116 a través de una guía de luz).

En otra realización, el polarizador 118 y el analizador 114 se acoplan a uno o más mecanismos de ajuste 124 en comunicación con el procesador 104 para ajustar la posición del polarizador 118 y el analizador 114. En otra realización, el polarizador 118, el analizador 114 y el detector 116 se acoplan a uno o más mecanismos de ajuste 124 en comunicación con el procesador 102 para ajustar la posición del polarizador 118 y el analizador 114. El uno o más mecanismos de ajuste 124 pueden usar motores eléctricos, accionadores lineales, pistas deslizantes, mecanismos de cardán o cualquier otro componente conocido por un experto en la materia.

Sustratos y recubrimientos/películas

La presente divulgación contempla el uso de los sistemas y métodos divulgados para medir el espesor de una amplia diversidad de recubrimientos/películas 122 sobre una amplia diversidad de sustratos 120. Los sustratos contemplados comprenden todo tipo de metales (por ejemplo, aluminio, cobre, níquel, titanio, acero, hojalata y otros metales empleados como componentes de, o en la fabricación de, productos o procesamiento de materiales), una diversidad de películas (por ejemplo, películas estiradas delgadas, recubrimientos delgados sobre sustratos de película de PET, sustratos de película de polietileno, etc.), vidrio, plásticos, caucho, látex, silicio (por ejemplo, placas de circuito, obleas) y células solares. Los recubrimientos contemplados comprenden todo tipo de lubricantes, ceras, líquidos (por ejemplo, agua), silicona, películas delgadas, recubrimientos UV, recubrimientos nanométricos, adhesivos, recubrimientos por pulverización para recipientes de vidrio en frío y en caliente, electrónica impresa, recubrimientos antirreflectantes (AR), recubrimientos de CdTe y recubrimientos de CdS. La presente divulgación contempla todos los métodos para aplicar tales recubrimientos a tales sustratos conocidos por un experto en la materia. Por ejemplo, algunos recubrimientos se pueden pulverizar sobre un sustrato. Otros recubrimientos se pueden aplicar por laminado sobre el sustrato.

Funcionamiento de un sistema ilustrativo

La figura 2 muestra un diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento de un sistema de acuerdo con una realización de la presente divulgación. En particular, la figura 2 muestra etapas realizadas por un sistema para realizar una medición en línea en tiempo real del espesor de película delgada sobre un sustrato móvil. Para ayudar a comprender cómo se puede realizar cada una de las etapas, se proporciona la siguiente descripción en el contexto de los diagramas ilustrativos de realizaciones del sistema mostrado en las figuras 1A y 1B. Sin embargo, las realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se pueden implementar en realizaciones alternativas.

Comenzando en la etapa 202, se generan ondas de luz y se dirigen hacia un sustrato recubierto 120. Por ejemplo, el procesador 102 se comunica con la fuente de luz 110 para generar ondas de luz dentro de uno o más rangos de espectro particulares para dirigirse a un sustrato recubierto 120. En una realización, una interfaz de usuario proporcionada por el procesador 102 y visualizada en el visualizador 106 permite que un operador de sistema identifique el material de recubrimiento y/o sustrato y el procesador 102 determina entonces las ondas de luz apropiadas que seleccionar basándose en información de materiales almacenada en la memoria 104. En otra realización, el procesador 102 se programa para tener en cuenta los rasgos de los materiales de recubrimiento y/o sustrato especificados por un operador de sistema para seleccionar la región apropiada del espectro de longitud de onda para el análisis. En otra realización más, la interfaz de usuario permite que un operador de sistema configure manualmente el rango de longitud de onda para el análisis que se va a usar para el proceso de medición.

En la etapa 203, las ondas de luz proporcionadas por la fuente de luz 110 se polarizan linealmente al pasar a través de un polarizador 118. Además, las ondas de luz linealmente polarizadas se convierten en ondas de luz circularmente polarizadas al pasar a través de la placa de onda 112. En una realización, la placa de onda 112 es una placa de cuarto de onda rotatoria. En una realización de este tipo, el procesador 102 se comunica con la placa de onda 112 para configurar la velocidad de la rotación de la placa de onda rotatoria 112.

En la etapa 204, las ondas de luz elípticamente polarizadas reflejadas por la película/recubrimiento 122 y/o el sustrato 120 se analizan mediante un analizador 114. En una realización, el analizador 114 es un analizador rotatorio. En una realización de este tipo, el procesador 102 se comunica con el analizador 114 para configurar la velocidad de la rotación del analizador rotatorio 114.

En la etapa 206, el detector 116 captura ondas de luz reflejadas por el sustrato recubierto 120 y reflejadas adicionalmente entonces desde diversas posiciones angulares por el analizador 114.

En la etapa 208, el detector 116 funciona para convertir las ondas de luz capturadas en datos de onda de luz para la comunicación al procesador 102. En una realización, los datos de onda de luz pueden ser una forma de onda de señal de voltaje que corresponde a la onda de luz capturada. En otra realización, los datos de onda de luz comprenden una estructura de datos que contiene información que describe las ondas de luz capturadas. Una vez que se han generado los datos de onda de luz, estos se comunican al procesador 102.

En la etapa 210, los datos de onda de luz son procesados por el procesador 102 para determinar el espesor de la película/recubrimiento 122 sobre la superficie del sustrato 120. En una realización, el procesador 102 cuantifica el desplazamiento de fase y los cambios de estado de polarización, en comparación con las ondas de luz proporcionadas por la fuente de luz 110, y entonces usa esa información para evaluar y validar el espesor del recubrimiento/película

122 sobre el sustrato 120 usando técnicas divulgadas en el presente documento. En otras realizaciones, el procesador 102 puede procesar los datos de onda de luz para determinar otros parámetros ópticos de la película/recubrimiento 122 tales como índice de refracción, rugosidad de superficie y coeficiente de extinción.

- 5 En el punto de decisión 212, se determina si los datos de onda de luz eran válidos. En una realización, el sistema determina si hay vibraciones, fluctuaciones u otras perturbaciones en el movimiento de un sustrato móvil 120 que requieren el ajuste de componentes de sistema para obtener mediciones precisas. Si están presentes, perturbaciones tales como vibraciones y fluctuaciones pueden afectar al plano de incidencia y a la reflexión de las ondas de luz. En otra realización, el sistema determina si la fuente de luz 110 está proporcionando muy poca o mucha luz. En una
10 realización, las perturbaciones y/o defectos de nivel de luz se identifican basándose en los datos de onda de luz detectados por el detector 116 durante la realización de iteraciones previas del método actualmente descrito. En algunas realizaciones, la calidad de los datos de onda de luz se valida usando una o más técnicas divulgadas en el presente documento.
- 15 Si se validan los datos de onda de luz, indicando que no hay vibraciones, fluctuaciones u otras perturbaciones en el movimiento del sustrato 120 y que no hay defectos de nivel de luz que requieran un ajuste, el método procede a la etapa 202 para realizar otra iteración del método. Sin embargo, si el proceso de validación determina que los datos no son válidos, se descarta la medición basándose en la onda de luz y el método procede a la etapa 214.
- 20 En la etapa 214, se realizan ajustes para compensar las perturbaciones y/o defectos de nivel de luz detectados. En una realización, la orientación y/o posición de la óptica tal como el analizador 114 y el polarizador 118 se ajustan en tiempo real para dar cabida a cualquier cambio en el plano de incidencia. En otra realización, la orientación y/o posición del analizador 114 y el detector 116 se ajustan en tiempo real para dar cabida a cualquier cambio en el plano de incidencia. En otra realización, la orientación y/o posición del polarizador 118, el analizador 114 y/o el detector 116 se
25 ajustan en tiempo real para dar cabida a cualquier cambio en el plano de incidencia. En una realización, el procesador 102 comunica órdenes a uno o más mecanismos de ajuste 124 para provocar el ajuste del polarizador 118, el analizador 114 y/o el detector 116 basándose en las vibraciones, fluctuaciones u otras perturbaciones detectadas en el movimiento del sustrato 120. En otra realización, el procesador 102 se comunica con la fuente de luz 110 para ajustar la intensidad de la luz.

30 *General*

- La descripción anterior de algunas realizaciones de la divulgación se ha presentado únicamente con fines ilustrativos y descriptivos y no pretende ser exhaustiva o limitar la invención a las formas precisas divulgadas. Numerosas
35 modificaciones y adaptaciones de las mismas serán evidentes para los expertos en la materia sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

- 5 A) (202) proporcionar y dirigir ondas de luz hacia un sustrato móvil (120) que comprende un recubrimiento (122);
 B) (203) polarizar linealmente las ondas de luz;
 C) convertir las ondas de luz linealmente polarizadas en ondas de luz circularmente polarizadas;
 D) (204) analizar ondas de luz elípticamente polarizadas reflejadas por el sustrato móvil (120);
 E) (206) capturar ondas de luz analizadas;
 10 F) (208) generar datos de onda de luz basándose en las ondas de luz capturadas;
 G) (210) determinar un espesor del recubrimiento (122) basándose en los datos de onda de luz
 H) (212) determinar la validez de los datos de onda de luz;

caracterizado por que:

15 los datos de onda de luz no son válidos si:

se detecta una perturbación en el movimiento del sustrato
 y, si se determina que los datos de onda de luz no son válidos:

20 (214) los componentes de sistema se ajustan para compensar las perturbaciones detectadas; y
 las etapas de método A-H se repiten hasta que los datos de onda de luz se determinan como válidos.

25 2. El método de la reivindicación 1, en donde ajustar los componentes de sistema comprende ajustar una posición y/o una orientación de un analizador (114) y un polarizador (118) basándose en la perturbación detectada y/o ajustar la intensidad de las ondas de luz proporcionadas.

30 3. El método de la reivindicación 1, en donde ajustar los componentes de sistema comprende ajustar una posición y/o una orientación de un analizador (114) y un detector (116) basándose en la perturbación detectada y/o ajustar la intensidad de las ondas de luz proporcionadas.

4. El método de la reivindicación 1, en donde ajustar los componentes de sistema comprende ajustar una posición y/o una orientación de un analizador (114), un polarizador (118) y/o un detector (116) basándose en la perturbación detectada y/o ajustar la intensidad de las ondas de luz proporcionadas.

35 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el recubrimiento (122) tiene un espesor de menos de 0,2 micrómetros.

40 6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde determinar el espesor del recubrimiento (122) basándose en los datos de onda de luz comprende aplicar el algoritmo de Levenberg-Marquardt para hacer coincidir los datos de onda de luz con un modelo teórico.

7. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente ajustar la intensidad de las ondas de luz proporcionadas basándose en los datos de onda de luz.

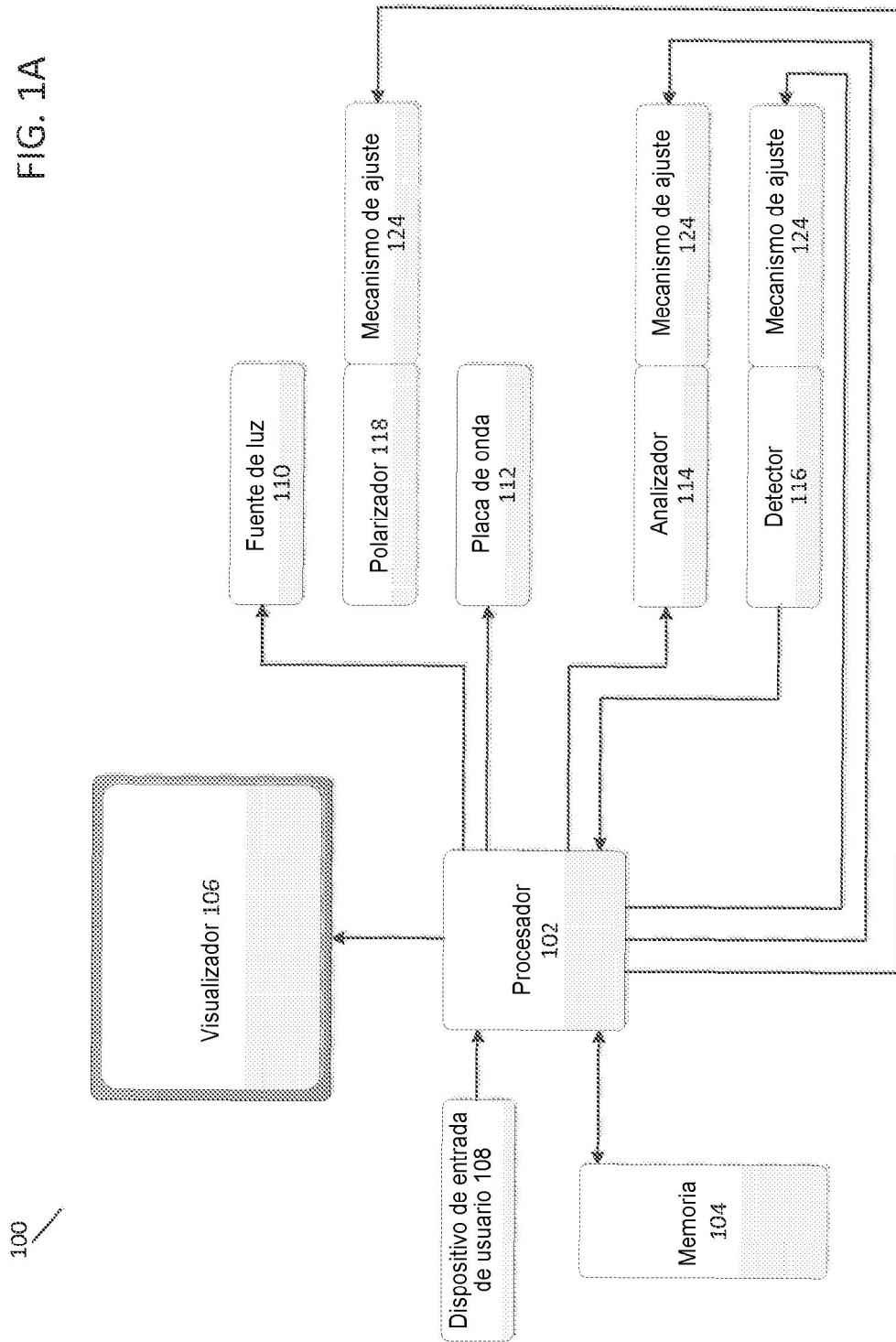
45 8. Un sistema que comprende:

un procesador (102);
 una fuente de luz (110) en comunicación con el procesador (102);
 50 un sustrato móvil (120) que comprende un recubrimiento, la fuente de luz (110) configurada para proporcionar y dirigir ondas de luz hacia el sustrato móvil (120);
 un polarizador (118) situado entre la fuente de luz (110) y el sustrato móvil (120);
 una placa de onda (112) situada entre el polarizador (118) y el sustrato móvil (120); un analizador (114) situado para recibir ondas de luz reflejadas por el sustrato móvil (120); un detector (116), en comunicación con el
 55 procesador (102), situado para capturar ondas de luz desde el analizador (114) y configurado para generar datos de onda de luz basándose en las ondas de luz capturadas; y
 una memoria (104) en comunicación con el procesador (102), en donde la memoria (104) comprende código de programa informático ejecutable por el procesador (102) para determinar un espesor del recubrimiento (122) basándose en los datos de onda de luz;
 60 caracterizado por que el polarizador (118), el analizador (114) y el detector (116) se acoplan a un mecanismo de ajuste (124) en comunicación con el procesador (102) y por que la memoria (104) comprende adicionalmente código de programa informático ejecutable por el procesador para:

- 65 i) determinar la validez de los datos de onda de luz, en donde los datos de onda de luz no son válidos si el código de programa informático ejecutable por el procesador detecta una perturbación en el movimiento del sustrato móvil basándose en los datos de onda de luz; y
 ii) ajustar los componentes de sistema para compensar las perturbaciones detectadas.

9. El sistema de la reivindicación 8, en donde el recubrimiento (122) tiene un espesor de menos de 0,2 micrómetros.
- 5 10. El sistema de la reivindicación 8 o 9, en donde el recubrimiento (122) es un recubrimiento lubricante y/o un recubrimiento líquido.
11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde la placa de onda (112) es una placa de cuarto de onda rotatoria.
- 10 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en donde el analizador (114) es un analizador rotatorio en comunicación con el procesador (102).
- 15 13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en donde el código de programa informático ejecutable por el procesador (102) para determinar el espesor del recubrimiento (122) basándose en los datos de onda de luz comprende código de programa informático ejecutable por el procesador (102) para aplicar el algoritmo de Levenberg-Marquardt para hacer coincidir los datos de onda de luz con un modelo teórico.
- 20 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en donde una posición y una orientación del analizador (114) son ajustables y una posición y una orientación del detector (116) son ajustables y una posición y una orientación del polarizador (118) son ajustables.
- 25 15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, en donde la memoria (104) comprende adicionalmente código de programa informático ejecutable por el procesador (102) para ajustar la intensidad de las ondas de luz proporcionadas basándose en los datos de onda de luz.

FIG. 1A



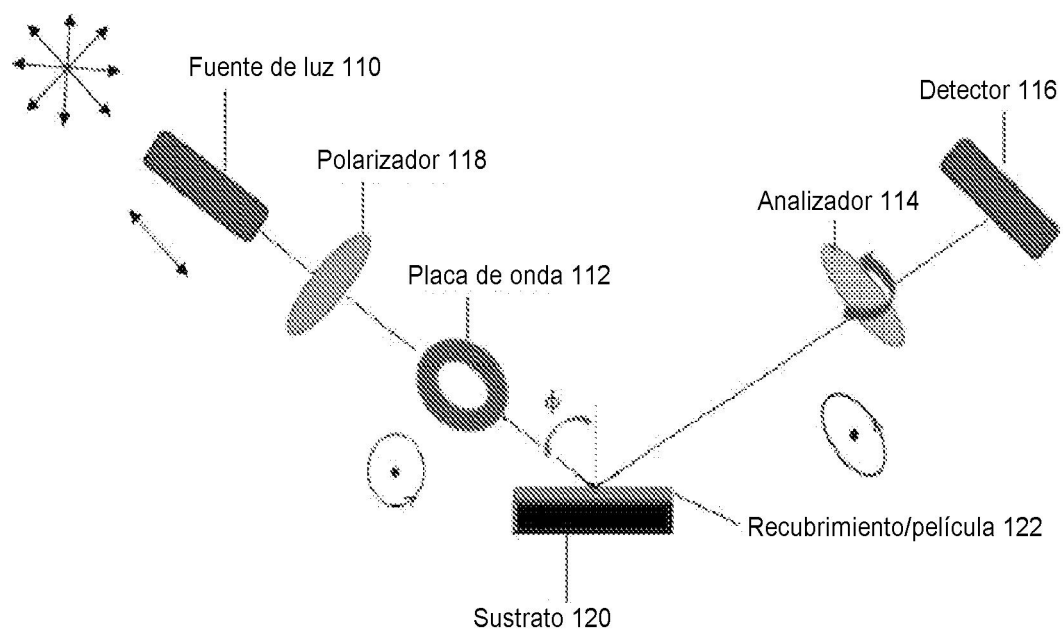


FIG. 1B

FIG. 2

