

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 722**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/17** (2006.01)

**G01N 21/64** (2006.01)

**G02B 27/02** (2006.01)

**G01B 11/25** (2006.01)

**G01N 21/958** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2019 PCT/US2019/043180**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2020 WO20023599**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2019 E 19839886 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2024 EP 3827246**

54 Título: **Sistema y método para medir una superficie en láminas de vidrio contorneadas**

30 Prioridad:

**24.07.2018 US 201862702617 P**

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

**02.10.2024**

73 Titular/es:

**GLASSTECH, INC. (100.0%)  
995 Fourth Street Ampoint Industrial Park  
Perrysburg, Ohio 43551, US**

72 Inventor/es:

**ADDINGTON, JASON C.;  
MORAN, BENJAMIN L. y  
VILD, MICHAEL J.**

74 Agente/Representante:

**ARIZTI ACHA, Monica**

ES 2 980 722 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**

Sistema y método para medir una superficie en láminas de vidrio contorneadas

**5 Referencia de cruce a solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de los Estados Unidos con n.º de serie 62/702.617, presentada el 24 de julio de 2018.

**10 Campo técnico**

Las reivindicaciones definen un sistema y un método para medir una superficie de una lámina de vidrio contorneada.

**Antecedentes**

15 Los fabricantes de láminas de vidrio, particularmente, láminas de vidrio conformadas en diversas formas curvas para su uso como parabrisas de automóviles, lunetas traseras y lunetas laterales, están interesados en medir y evaluar la superficie de una lámina de vidrio. Los fabricantes pueden desear determinar si la lámina de vidrio está dentro de una especificación predefinida para la medición. Los fabricantes pueden desear también medir y evaluar una cantidad de  
 20 distorsión óptica reflejada en las láminas formadas que podría ser percibida por un observador humano, tal como un observador externo o el conductor o pasajero en un vehículo en el que el vidrio puede montarse como el parabrisas, luneta trasera, o luneta lateral, o similares. Por ejemplo, las métricas de medición y los umbrales de distorsión reflejada se están volviendo cada vez más estrictos con el uso creciente de tecnología tal como pantallas de visualización frontal en aplicaciones de vehículos. Los fabricantes, del mismo modo, desean identificar pequeñas marcas u otros defectos  
 25 que sean visibles en las superficies de las láminas de vidrio formadas. El documento EP0747664 describe un método para medir el grado de flexión en una lámina de vidrio doblada usando cámaras que tienen un campo de formación de imágenes común dentro de los límites de una superficie que se está midiendo y formando imágenes de un perfil hecho visible para las cámaras por medio de una línea de iluminación con un intervalo de longitud de onda de 250-330 nm.

**30 Sumario**

En una realización, un sistema de inspección óptica de acuerdo con la reivindicación 1 está provisto de un láser ultravioleta y una óptica asociada que forma una lámina de láser plana dirigida a una lámina de vidrio. La lámina de  
 35 láser plana se interseca con una superficie de la lámina de vidrio, lo que provoca que la superficie de la lámina de vidrio emita fluorescencia y forme una línea de longitud de onda visible en la superficie.

En otra realización, se proporciona un método de uso de un sistema de inspección óptica de acuerdo con la reivindicación 16. Se forma una lámina de láser plana y se dirige desde un láser ultravioleta y una óptica asociada a  
 40 una superficie de una lámina de vidrio. La superficie de la lámina de vidrio se excita en una intersección de la lámina de láser plana y la superficie para formar una línea de longitud de onda visible en la superficie de la lámina de vidrio.

**Breve descripción de los dibujos**

la Figura 1 es una vista esquemática de una realización de un sistema de inspección de láminas de vidrio de  
 45 acuerdo con una realización;  
 la Figura 2 es una vista esquemática de un sistema óptico para su uso con el sistema de inspección de la Figura 1 de acuerdo con una realización;  
 la Figura 3 es un gráfico que ilustra la transmisividad óptica de una lámina de vidrio para su uso en los sistemas de las Figuras 1 y 2;  
 50 la Figura 4 es una vista esquemática de otro sistema óptico para su uso con el sistema de inspección de la Figura 1;  
 la Figura 5 es una vista esquemática de otro sistema óptico para su uso con el sistema de inspección de la Figura 1;  
 55 la Figura 6 es un diagrama de flujo de un método de medición de una superficie de una lámina de vidrio usando los sistemas de las Figuras 1, 2, 4 y 5 de acuerdo con una realización;  
 la Figura 7 es una porción de una imagen de espectro visible de una superficie de lámina de vidrio tomada usando el sistema de la Figura 2;  
 las Figuras 8A y 8B son esquemas del sistema de inspección óptica de las Figuras 1-2 para su uso en la triangulación de una tercera coordenada;  
 60 la Figura 9 es un esquema que ilustra una secuencia de etapas de alineación de datos para sistemas multicámara para su uso con el método de la Figura 7 de acuerdo con una realización;  
 la Figura 10 es un diagrama de flujo de un método de medición de una superficie usando un mapa de superficie según se determina a partir del método de la Figura 6;  
 las Figuras 11A y 11B son salidas de sistema representativas para su visualización a un usuario según se

determina usando el método de la Figura 10;

la Figura 12 es un diagrama de flujo de un método de modelado y determinación de la reflectancia óptica y la distorsión de una superficie usando un mapa de superficie como se determina a partir del método de la Figura 6;

y

5 la Figura 13 es una salida de sistema representativa para su visualización a un usuario según se determina usando el método de la Figura 12.

### Descripción detallada

10 Como se requiere, en el presente documento se proporcionan realizaciones detalladas de la presente divulgación; sin embargo, debe entenderse que las realizaciones desveladas son simplemente ejemplos y pueden realizarse en diversas formas alternativas. Las figuras no están necesariamente a escala; algunas características pueden exagerarse o minimizarse para mostrar detalles de componentes particulares. Por lo tanto, los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en el presente documento no se interpretarán como limitantes, sino simplemente  
15 como una base representativa para enseñar a un experto en la materia a emplear de diversas formas la presente divulgación.

Se reconoce que cualquier circuito u otro dispositivo eléctrico divulgado en el presente documento puede incluir cualquier número de microprocesadores, circuitos integrados, dispositivos de memoria (por ejemplo, FLASH, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de solo lectura eléctricamente programable (EPROM), memoria de solo lectura programable eléctricamente borrable (EEPROM) u otras variantes adecuadas de la misma) y software que actúan conjuntamente entre sí para realizar la operación u operaciones divulgadas en el presente documento. Adicionalmente, uno cualquiera o más de los dispositivos eléctricos como se divulgan en el presente documento pueden configurarse para ejecutar un programa informático que se incorpora en un medio legible por ordenador no transitorio que se programa para realizar cualquier número de las funciones como se divulgan en el presente documento.  
20  
25

La Figura 1 ilustra un sistema de inspección óptica de lámina de vidrio en línea 10. El sistema de inspección 10 incluye un transportador 12 que transporta la lámina de vidrio G en una primera dirección generalmente paralela a una primera dimensión de la lámina de vidrio. En el ejemplo mostrado, la lámina de vidrio contorneada G es un parabrisas o luneta trasera de vehículo generalmente rectangular, que tiene una primera dimensión que es la dimensión relativamente más pequeña (y que puede denominarse alternativamente como la altura) y una segunda, dimensión relativamente mayor (que puede denominarse alternativamente anchura). La lámina de vidrio G tiene un espesor en la tercera dimensión, siendo el espesor menor que la anchura y la altura. La lámina de vidrio G está curvada alrededor de uno o más ejes de curvatura que son generalmente paralelos a la primera dirección. En otros ejemplos, la lámina de vidrio G puede tener otros ejes de curvatura o proporcionarse como una lámina plana o sustancialmente plana.  
30  
35

El transportador 12 puede ser un único transportador dedicado únicamente a transportar la lámina de vidrio G a través del sistema de inspección 10 que puede configurarse y/u operarse como un sistema de inspección óptica independiente. En otros ejemplos, el transportador 12 puede ser uno de una serie de transportadores que transportan la lámina de vidrio a través de una variedad de estaciones de proceso, tal como, por ejemplo, estaciones de calentamiento, conformación y recocido o templado que se encuentran en sistemas de fabricación de láminas de vidrio para un automóvil, arquitectónicas y/o solares convencionales. El transportador para la lámina de vidrio G puede proporcionarse mediante diversas técnicas, tales como transportadores de rodillos, de flotadores de aire o de cinta, posicionadores y brazos robóticos, para manipular el vidrio en la forma descrita. También se apreciará que una pluralidad de transportadores, cada uno de los cuales puede controlarse independientemente para mover las láminas de vidrio a través de las diferentes estaciones de procesamiento a velocidades para gobernar de manera eficiente el flujo y el procesamiento de las láminas de vidrio en todo el sistema 10.  
40  
45

Como alternativa, el sistema de inspección 10 puede proporcionarse como un sistema o aparato separado, autónomo sin transportador. El sistema de inspección 10 puede también estar provisto de un accesorio para el panel de vidrio G, con el sistema de inspección 14 configurado para trasladarse con respecto al panel G, por ejemplo, con el sistema óptico 14 montado en un sistema transportador. El sistema de inspección 10 puede estar provisto del panel de vidrio G y el sistema óptico 14 fijados entre sí, teniendo el sistema óptico elementos ópticos configurados para escanear la superficie del panel de vidrio G.  
50  
55

El sistema de inspección 10 tiene un sistema óptico 14 que se usa para identificar y medir la superficie de una lámina de vidrio, y puede usarse además para calibrar la lámina, identificar y medir pequeños defectos en la lámina y/o medir la distorsión óptica reflectante. El sistema de inspección 14 se describe en detalle con referencia a la Figura 2.

60 Generalmente, el sistema óptico 14 incluye un láser u otra fuente de luz con una longitud de onda seleccionada al menos en parte basándose en las propiedades ópticas de la lámina de vidrio G. La luz de la fuente de luz se dirige a la lámina de vidrio G por el sistema óptico 14. En un ejemplo, la fuente de luz se selecciona para tener una longitud de onda  $\lambda_1$  en una banda estrecha, ajustada a la que esa lámina de vidrio G es opaca o generalmente no transmisiva.

La fuente de luz también se selecciona de tal manera que la longitud de onda  $\lambda_1$  de la fuente de luz induce o hace que la superficie de la lámina de vidrio G emita luz a una longitud de onda  $\lambda_2$  que es diferente de la fuente de luz. Por ejemplo, la fuente de luz se selecciona de tal manera que la longitud de onda  $\lambda_1$  de la fuente de luz induce o hace que la superficie de la lámina de vidrio G emita fluorescencia o luminiscencia a una longitud de onda  $\lambda_2$  que es más larga que la longitud de onda  $\lambda_1$  de la fuente de luz.

El sistema óptico 14 tiene al menos una cámara u otro detector para detectar la luz emitida desde la lámina de vidrio G. El sistema óptico 14 también incluye diversos elementos ópticos para controlar y dirigir la luz desde la fuente de luz a la lámina de vidrio G, y desde la lámina de vidrio G al detector.

El sistema óptico 14 tiene al menos un ordenador y/o unidad de control que incluye al menos un programa de procesador para ejecutar la lógica para controlar el sistema óptico, incluyendo la fuente de luz y el detector, adquirir datos del detector para cada lámina de vidrio, analizar los datos de la lámina de vidrio y proporcionar información relacionada con la forma de la superficie, distorsión óptica reflectante u otra información superficial o defectos para la lámina de vidrio. El ordenador puede integrarse con el sistema de control 16 para el sistema de inspección 10 como se muestra, o puede proporcionarse como un dispositivo separado en comunicación con el sistema de control 16.

Por lo tanto, el sistema óptico 14 proporciona un sistema de inspección sin contacto para adquirir rápidamente datos detallados correspondientes a la superficie de una lámina de vidrio G y analizar los datos de superficie adquiridos para evaluar e informar sobre la forma de la superficie de la lámina de vidrio G, así como las propiedades relacionadas a las características ópticas de la lámina de vidrio G, particularmente cuando la lámina de vidrio G se transporta en un transportador 12 entre o después de las operaciones de doblado, enfriamiento u otras operaciones de procesamiento.

El sistema de inspección 10 incluye una unidad de control programable 16, representada en esta realización como un ordenador. El ordenador 16 puede estar en comunicación con o integrado con el ordenador del sistema óptico 14. El ordenador 16 incluye al menos un procesador programado para detectar la lámina de vidrio a medida que avanza sobre el transportador, y controlar el motor o motores para controlar el movimiento y la velocidad del transportador 12.

El transportador 12 mueve la lámina de vidrio G a lo largo de una trayectoria o en una dirección, que se muestra aquí como la dirección y, más allá del sistema óptico 14. El transportador 12 se mueve usando uno o más motores y rodillos de soporte u otros dispositivos.

El sistema de inspección 10 tiene uno o más sensores de posición 18 para determinar una ubicación y temporización del transportador 12 para su uso en el análisis de la lámina de vidrio G usando el sistema óptico 14 a medida que se mueve a través del sistema 10. El sensor o sensores de posición 18 pueden proporcionarse mediante un codificador digital, un codificador óptico o similar. La velocidad del transportador 12 y de la lámina de vidrio G puede seleccionarse para permitir un tiempo de residencia suficiente de la luz de la fuente de luz del sistema óptico 14 sobre una región de la superficie de la lámina de vidrio G para hacer que la superficie emita fluorescencia, mientras se mantiene la operación de línea para la lámina de vidrio G. En un ejemplo, el transportador 12 se mueve continuamente a una velocidad de 0,1 a 0,2 metros/segundo, o a una velocidad que se coordina con el sistema óptico 14 para adquirir datos basándose en un movimiento específico del panel de vidrio G, por ejemplo, movimiento dentro del intervalo de 1-4 mm. En ejemplos adicionales, el transportador 12 se mueve de tal manera que un panel de vidrio G puede inspeccionarse dentro de un marco de tiempo del orden de diez a quince segundos. En otro ejemplo, el transportador se mueve continuamente a una velocidad de 0,01 metros/segundo o más para adquirir datos basándose en un movimiento del panel de vidrio G del orden de cinco milímetros o menos. Los datos de la lámina de vidrio pueden adquirirse basándose en movimientos variables del panel de vidrio G, correspondiente a un tamaño de cuadrícula, y puede ser inferior a cinco milímetros, inferior a dos milímetros, del orden de un milímetro u otro valor. En un ejemplo adicional, la velocidad del transportador puede aumentarse de modo que los datos se adquieran basándose en un movimiento del panel de vidrio G del orden de más de cinco milímetros, por ejemplo, que tiene un tamaño de cuadrícula de más de cinco milímetros, o más de diez milímetros. A medida que la velocidad del transportador disminuye, el tiempo para escanear un panel G aumenta, y puede ser del orden de segundos, decenas de segundos, o minutos, por ejemplo dos minutos. El tiempo para escanear un panel puede aumentar igualmente para un panel de vidrio G con contornos de superficie complejos, ya que puede ser necesario aumentar la resolución usando un tamaño de cuadrícula más pequeño. Los sensores de posición 18 pueden usarse como una entrada al sistema óptico 14 para determinar la temporización para la adquisición de datos, por ejemplo, como disparador para una cámara.

El sistema de inspección 10 puede estar provisto de sensores adicionales, como un sensor fotoeléctrico o similar, en comunicación con el sistema de control 16 para determinar que una lámina de vidrio G está en la posición apropiada en el transportador 12, o ha avanzado al sistema óptico 14. El ordenador 16 se comunica a continuación con el sistema óptico 14 para activar el sistema 14 y comienza a medir una superficie de la lámina G. En otros ejemplos, el sistema óptico 14 puede estar funcionando continuamente y comenzar a adquirir y procesar datos relacionados con una lámina de vidrio G en respuesta al detector del sistema 14 que registra señales apropiadas que indican que la fuente de luz ha comenzado a interactuar con la lámina de vidrio G.

Haciendo referencia ahora a las Figuras 2-4, el sistema óptico 14 se describe con mayor detalle de acuerdo con diversas realizaciones. En las realizaciones desveladas, la fuente de luz es proporcionada por un láser 50 y puede ser un láser de diodo. El láser 50 puede estar empaquetado con un láser de diodo con la montura y la lente apropiadas para proporcionar un haz colimado, y adicionalmente puede estar provisto de un disipador de calor. En otras realizaciones, el láser 50 puede ser proporcionado por otro láser o combinación de láseres configurados para proporcionar la longitud de onda deseada de luz láser a la intensidad láser deseada y otros parámetros de haz. En realizaciones adicionales, la fuente de luz puede proporcionarse como una fuente de luz ultravioleta, con filtros y elementos ópticos asociados para proporcionar una lámina de luz dirigida a la lámina de vidrio G. En realizaciones adicionales, el sistema 14 puede estar provisto de más de un láser 50.

Basándose en el uso previsto para una lámina de vidrio G formada a partir de vidrio de silicato de cal sodada, el láser 50 se selecciona para tener una longitud de onda en el intervalo ultravioleta y a una longitud de onda específica a la que la lámina de vidrio G es opaca o no transmisiva, o a la que la lámina de vidrio G es sustancialmente no transmisiva, por ejemplo, con menos del 5 % o 2 % de transmisividad para la salida láser. En el ejemplo divulgado, el láser 50 es proporcionado por un láser de estado sólido de diodo pulsado que está sintonizado para emitir luz a una longitud de onda central  $\lambda_1$ . La longitud de onda central puede seleccionarse para corresponder con la opacidad o no transmisividad de la lámina de vidrio G, y puede ser una longitud de onda no visible, y se selecciona también para inducir fluorescencia o luminiscencia de la superficie de la lámina de vidrio G. La longitud de onda central puede ser inferior a 350 nanómetros, y en un ejemplo se proporciona como 266 nanómetros, en el intervalo ultravioleta.

En un ejemplo, el láser tiene una potencia de salida de 150 microjulios a 15 kilohercios. En ejemplos adicionales, el láser 50 puede proporcionarse a otras salidas de potencia y tasas de repetición, y se contemplan láseres con longitudes de onda centrales de 266 nm a 500-100 microjulios y un kilohercio o más. El sistema 10, 14 puede configurarse para medir una lámina de vidrio G dentro de un período de tiempo especificado, por ejemplo, del orden de diez segundos por lámina, aunque también se contemplan otros tiempos basándose en el tamaño de la lámina y la resolución deseada del modelo. Evidentemente, se pueden seleccionar otras longitudes de onda basándose en la composición de la lámina de vidrio G.

La Figura 3 ilustra un gráfico para vidrio de silicato de cal sodada con transmisividad representada frente a la longitud de onda de la luz incidente. Como se puede ver a partir de la Figura, la transmisividad de la lámina de vidrio G muestra una fuerte disminución y se acerca a un material opaco a medida que disminuye la longitud de onda de la luz incidente. La longitud de onda del láser 50 se representa también en el gráfico, y la lámina de vidrio G se muestra opaca a esta longitud de onda. Para una lámina de vidrio G que tiene otra composición de material a granel, se puede seleccionar un láser 50 sintonizado a otra longitud de onda para su uso con el sistema de inspección óptica 14 de modo que la longitud de onda seleccionada no sea transmisiva a través de la lámina G e induzca luminiscencia o fluorescencia en la lámina G.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 2, los elementos ópticos 54 se proporcionan aguas abajo del láser 50 para interactuar con, conformar y dirigir el haz de láser hacia la lámina de vidrio G. Los elementos ópticos 54 pueden incluir uno o más conformadores de haz, lentes, espejos y similares. En la realización divulgada, se proporciona un conformador de haz 55 para aumentar la uniformidad de la intensidad del láser convirtiendo el perfil de haz gaussiano colimado del haz de láser en un haz de perfil superior plano colimado con una distribución de intensidad más uniforme y sin enfoque de láser interno, lo que da como resultado una mayor uniformidad de la intensidad de línea de láser a través de la superficie de la lámina de vidrio G. Se proporciona una primera lente 56 para formar una lámina de láser plana a partir del haz de láser 52. En la realización divulgada, la primera lente 56 es una lente plano-cóncava cilíndrica con una distancia focal seleccionada basándose en el posicionamiento del láser 50 en relación con el transportador y la lámina de vidrio, o la distancia D1 desde el láser 50 hasta la lámina de vidrio G. Para enfocar aún más la lámina de láser plana, también se puede proporcionar una segunda lente 58. En la realización divulgada, la segunda lente 58 puede ser una lente plano-cóncava cilíndrica para enfocar aún más la lámina de láser plana. Se puede proporcionar una lente de enfoque adicional 57 para estrechar y enfocar la lámina de láser. Aunque la segunda lente 58 se ilustra como posterior o aguas abajo de la primera lente 56, en otras realizaciones, el posicionamiento de las lentes 56, 57, 58 puede variarse o invertirse de modo que la segunda lente 58 sea anterior a la primera lente 56. Las lentes 56, 57, 58 se usan para formar una lámina de láser plana, enfocada 60 que se dirige a una primera superficie 62 de la lámina de vidrio G a una longitud de onda central ajustada  $\lambda_1$  de 266 nanómetros basándose en la opacidad del material que forma la lámina de vidrio G. En el ejemplo mostrado, los elementos ópticos 56, 57, 58 están provistos por una lente cilíndrica plano-cóncava  $f = -8$  mm, una lente de enfoque cilíndrica plano-convexa de  $f = 1000$  mm y una lente cilíndrica plano-cóncava de  $f = -25$  mm, respectivamente. Los elementos ópticos 54 cooperan para formar una lámina de láser plana con un ancho de haz de 1-2 mm sobre la superficie de la lámina de vidrio G. En otro ejemplo, los elementos ópticos pueden tener diferentes distancias focales, y las distancias focales y la selección de lentes pueden basarse en parte en el tamaño del panel G. En otras realizaciones, elementos ópticos adicionales tales como filtros, cortadores en trozos y similares se pueden proporcionar entre el láser 50 y la lámina de vidrio G.

Como alternativa o adicionalmente, otros elementos ópticos, tal como una lente de Powell, pueden usarse para proporcionar una distribución más uniforme de la intensidad del láser a lo largo de la lámina de láser plana. Así mismo,

aunque se muestra un láser 50 en las Figuras 2-4, el sistema 14 puede estar provisto de más de un láser 50 en otras realizaciones. Por ejemplo, el sistema 14 puede tener dos láseres 50, dirigidos a diferentes regiones de la lámina de vidrio G, o con los haces alineados para formar una lámina común a través de la lámina de vidrio G. La intensidad de la lámina de láser varía a través de la lámina de láser desde un láser, por ejemplo, como una distribución, y se pueden usar múltiples láseres para proporcionar una intensidad más uniforme a través de la superficie de la lámina de vidrio G, o para proporcionar una línea fluorescente para múltiples cámaras respectivas.

La lámina de vidrio G tiene superficies primera y segunda 62, 64 que forman el primer y segundo lados de la lámina de vidrio G. La primera y segunda superficies 62, 64 están separadas entre sí por el espesor de la lámina de vidrio G. Como la lámina de vidrio G es opaca o sustancialmente no transmisiva a la longitud de onda  $\lambda_1$  de la lámina de láser 60, la lámina de láser 60 interactúa con la primera superficie 62 sin viajar a través de la lámina G o a la segunda superficie 64 y, por lo tanto, excita la lámina de vidrio G solo en la primera superficie 62. El espesor de la lámina de vidrio G, o la distancia entre la primera y la segunda superficies 62, 64, puede variar y, en algunos ejemplos, es superior a 1,2 mm o superior a 1,6 mm, y en un ejemplo no limitante se encuentra dentro del intervalo de 1,6-25 mm.

La lámina de láser plana 60 puede orientarse para extenderse transversalmente a la cinta, o en la dirección x. La lámina de láser 60 interactúa con la primera superficie 62 de la lámina de vidrio G a lo largo de la trayectoria 66, o la intersección de la lámina de láser 60 y la primera superficie 62 de la lámina de vidrio G. Para una lámina de vidrio plana G, la trayectoria 66 es lineal. Para una lámina de vidrio curvada G, la trayectoria 66 puede variar con la curvatura de la lámina G a lo largo de la superficie 62 a medida que la lámina de láser 60 interactúa con la superficie curva.

La lámina de láser 60 excita el material de la lámina de vidrio G en la primera superficie 62 y provoca luminiscencia en la primera superficie 62. La lámina de vidrio G emite fluorescencia a lo largo de la excitación de la línea de láser 66 para emitir una longitud de onda  $\lambda_2$  que es más larga que  $\lambda_1$ . En el presente ejemplo, la luz emitida 70 desde la lámina de vidrio G está a una longitud de onda  $\lambda_2$  que está en el intervalo visible o en el intervalo casi ultravioleta, y aparece como una línea 68 a lo largo de la superficie 62 y la línea 66 de excitación.

La luz emitida 70 es detectada por un detector tal como una cámara 72. La cámara puede estar provista de un sensor de imagen de dispositivo de acoplamiento de carga (CCD) o un sensor de imagen de semiconductor de óxido metálico complementario (CMOS). En el presente ejemplo y como se muestra en la Figura 2, el detector 72 está provisto de un sensor CMOS y está colocado de tal manera que todo el ancho de la lámina de vidrio G, o lámina de vidrio en la dirección x, se captura en una imagen. En el ejemplo mostrado, la cámara es proporcionada por una cámara de sensor CMOS a 5496x3672 píxeles que se establece en una región de interés de 5496x1836 o 5496x1000 píxeles en un ejemplo, o es un sensor CMOS a 5120x5120 píxeles en otro ejemplo. Se pueden controlar diversos ajustes de la cámara basándose en los parámetros del láser, la velocidad del transportador y otros factores del sistema, y estos ajustes de la cámara incluyen la distancia focal de la lente, apertura, ganancia y tiempos de exposición. En un ejemplo, la cámara usa una lente fija, por ejemplo, una lente de 16 mm o 25 mm, y se ajusta a una apertura de f2,4 o aperturas más altas para aumentar la profundidad de campo, y usa un tiempo de exposición de 15-20 milisegundos con una ganancia de 2-15 decibelios. En otro ejemplo, los ajustes de la cámara pueden usar otro tiempo de exposición, por ejemplo dentro de un intervalo de 10 milisegundos a 300 milisegundos o más, y la ganancia puede establecerse igualmente a otro valor dentro de un intervalo de dos a treinta decibelios. En otros ejemplos, la cámara 72 puede colocarse para obtener imágenes solo de una región seleccionada de la lámina G. En ejemplos adicionales, el detector puede proporcionarse como otro fotodetector o elemento fotosensor. En ejemplos adicionales, elementos ópticos adicionales, tales como filtros, pueden proporcionarse entre la lámina de vidrio G y el detector 72 para aumentar aún más la relación señal-ruido.

En otros ejemplos y como se muestra en las figuras 4-5, el sistema óptico 14 puede usar más de una cámara 72. Las Figuras 4-5 son esquemáticas y no ilustran diversos componentes del sistema 14, tales como elementos ópticos, controladores, etc. En la Figura 4, un par de cámaras 72A, 72B colocadas en un lado de la lámina de láser 60. Cada cámara 72A, 72B forma una imagen de una región 73A, 73B de la lámina de vidrio G, con las regiones superpuestas entre sí, por ejemplo, en aproximadamente 10 cm. Al usar más de una cámara en el sistema de la Figura 3, los errores introducidos por la distorsión óptica pueden reducirse en el mapa de superficie final de la superficie de la lámina de vidrio G basándose en una distancia focal más larga para cada cámara. Así mismo, el uso del sistema óptico 14 con dos o más cámaras también puede proporcionar imágenes de mayor resolución de la superficie de vidrio, por ejemplo, píxeles aumentados por unidad de área de superficie de la lámina de vidrio G, y precisión y sensibilidad aumentadas a medida que las cámaras se ubican físicamente más cerca de la lámina de vidrio G.

En la Figura 5, un par de cámaras 72A, 72B se proporcionan, con la lámina de láser 60 colocada entre las cámaras 72A, 72B. Cada cámara 72A, 72B forma una imagen de una región 73A, 73B de la lámina de vidrio G, con las regiones superpuestas entre sí, por ejemplo, en aproximadamente 10 cm. Al usar más de una cámara en el sistema de la Figura 3, los errores introducidos por la distorsión óptica pueden reducirse en el mapa superficial final de la superficie de la lámina de vidrio G. Así mismo, las cámaras 72A, 72B se colocan para formar imágenes de láminas de vidrio G con un alto grado de curvatura, por ejemplo, cuando una cámara 72A puede tener una vista obstruida de, o está en un pequeño ángulo de incidencia o un ángulo de mirada con respecto a, el lado izquierdo de la superficie de la lámina G

en la Figura 4. En una realización adicional, el sistema 14 puede tener más de dos cámaras. Por ejemplo, se prevé que se puedan proporcionar cuatro cámaras 72, con dos a cada lado de la lámina de láser 60, y las regiones de las cuatro cámaras superpuestas entre sí. En otros ejemplos, pueden estar presentes más de cuatro cámaras 72.

5 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 2, el láser 50 y la cámara 72 están en comunicación con al menos un ordenador 80 en una unidad de control. El ordenador 80 puede estar conectado o integrado con el sistema de control 16 o el sistema de inspección 10. El ordenador 80 tiene una unidad de procesador de imágenes 82 y está conectado también a la memoria. El ordenador 80 puede recibir información desde el sistema de control 16 y los sensores de posición para su uso para determinar cuándo enviar señales de disparo a la cámara o cámaras 72 de las Figuras 2 y 4-5. Por ejemplo, la cámara o cámaras pueden adquirir datos a una velocidad de fotogramas de hasta 80 fps, o hasta 10 160 fps, basándose en un movimiento correspondiente de 1-4 milímetros para la lámina de vidrio G.

El ordenador 80 recibe datos de imagen desde la cámara 72. El ordenador 80 forma una matriz o nube de puntos usando datos de la imagen, por ejemplo, celdas en la matriz asociadas con posiciones en la superficie 62 de la lámina de vidrio, o como una matriz de puntos en la nube de puntos asociada con posiciones en la superficie 62 de la lámina de vidrio. Los datos de imagen pueden proporcionarse como una serie de valores de escala de grises, oscilando cada valor de 0 a 255, si se basa en una escala de grises de 8 bits. En otros ejemplos, los datos de imagen pueden proporcionarse como una serie de señales RGB correspondientes a cada una de las señales roja, segmentos verdes y azules o componentes de color detectados por el sensor de la cámara, puede proporcionarse basándose en un espacio de color y modelo de color diferente, o puede proporcionarse como otro valor de bit. Detalles adicionales de la adquisición de datos y el procesamiento de datos antes de la nube y después de la nube se proporcionan a continuación con referencia a las Figuras 6-13.

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método 200 para usar un sistema de inspección óptica de acuerdo con una realización para determinar un mapa tridimensional de una superficie de la lámina de vidrio G. En diversas realizaciones, el método 200 puede usarse con los sistemas 10, 14 de las Figuras 1-2 y 4-5, respectivamente, y las etapas pueden reorganizarse u omitirse o pueden agregarse etapas adicionales de acuerdo con diversas realizaciones.

30 En la etapa 202, una primera longitud de onda, tal como una longitud de onda ultravioleta, se selecciona en función de la transmisividad de la lámina de vidrio, con la primera longitud de onda seleccionada para ser sustancialmente no transmisiva a través de la lámina de vidrio. En la etapa 204, se forma una lámina de luz plana en la primera longitud de onda, por ejemplo, utilizando un láser ultravioleta.

35 En la etapa 206, el sistema óptico 14 está calibrado. La(s) cámara(s) y el(los) láser(es) están calibrados. Un gráfico de tablero de ajedrez u otra superficie de calibración plana conocida se proporciona en lugar de la lámina de vidrio G y aproximadamente a una distancia z media de la lámina de vidrio G, o en el medio de un cuadro delimitador definido para la cámara o cámaras. El cuadro delimitador para las cámaras se define como un espacio tridimensional que permite suficiente profundidad vertical o profundidad de campo para contener los límites superior e inferior de la lámina de vidrio G, mientras se omite cualquier superficie de soporte subyacente de los accesorios. En un ejemplo, el cuadro delimitador tiene una profundidad de aproximadamente 10-15 cm, aunque se prevén otras dimensiones basándose en las características específicas de la parte.

45 Por lo tanto, la posición del gráfico de calibración se conoce y proporciona la base para un sistema de coordenadas global para el cuadro delimitador. La cámara se calibra basándose en un gráfico de calibración estacionario, y se seleccionan los ajustes de la cámara, incluyendo la distancia focal, exposición, apertura, ganancia y similares.

El láser se calibra también. Para un láser que está orientado con la lámina de láser que se extiende a lo largo del eje z, o en un plano x-z, la cámara o cámaras detectan la ubicación de la lámina de láser en relación con el gráfico de calibración y asocian esta posición con el sistema de coordenadas global. Para un láser que no está en el plano x-z, pueden ser necesarias etapas de medición adicionales para proporcionar la posición de la lámina de láser al sistema de coordenadas global. Los ajustes del láser se seleccionan incluyendo la intensidad y la frecuencia. La calibración de cámara y láser en relación con el gráfico de calibración y el sistema de coordenadas global se usan posteriormente con referencia a la determinación de la coordenada z de la superficie en la etapa 214.

55 En la etapa 208, la lámina de luz plana se dirige a una lámina de vidrio, por ejemplo, usando ópticas asociadas, y la superficie de la lámina de vidrio se excita de tal manera que la luz se emite a una segunda longitud de onda, tal como una longitud de onda visible, a lo largo de una trayectoria de intersección entre la lámina de luz plana y la superficie de la lámina de vidrio orientada hacia la fuente de luz.

60 En la etapa 210, una serie de datos indicativos de una serie de líneas de longitud de onda visibles se mide o detecta usando una o más cámaras, con cada cámara formando una imagen de una región de interés de la lámina de vidrio G. Para un sistema de cámara única 14, la cámara 72 puede detectar cada línea detectada a través del panel, o en una región de interés en el panel. Para un sistema multicámara 14, cada cámara 72 puede estar dirigida para separar,

regiones de interés superpuestas de la lámina de vidrio G y detectar cada línea dentro de la región de interés.

En la etapa 212, cada línea de longitud de onda visible se procesa y analiza para determinar primera y segunda coordenadas, por ejemplo, coordenadas (x, y), en una serie de coordenadas asociadas con cada línea, y las coordenadas se almacenan en una matriz o nube de puntos asociada con la cámara.

El ordenador 80 procesa la imagen usando la unidad de procesador de imágenes 82. En la Figura 7 se proporciona una sección de una imagen de muestra representativa con superposiciones esquemáticas asociadas basándose en el procesamiento de imagen descrito a continuación.

El ordenador 80 y el procesador de imágenes 82 pueden procesar la imagen para reducir el ruido, por ejemplo, aplicando umbrales a la imagen, normalizando la imagen, transformando la imagen usando una transformada rápida de Fourier y similares. En un ejemplo, la imagen se filtra usando un filtro de mediana para la reducción de ruido, incluyendo ruido moteado. La necesidad de una etapa de reducción de ruido puede aumentar con ajustes de ganancia de cámara aumentados.

El ordenador 80 y el procesador de imagen 82 seleccionan una región de anchura de línea en la imagen basándose en una entrada de tamaño de anchura de línea indicada y una intensidad mínima. Al seleccionar una región de ancho de línea, se usa una región reducida de la imagen en el procesamiento y determinación de coordenadas en etapas posteriores. Por ejemplo, la anchura de línea indicada puede seleccionarse como un valor nominal con un factor de tolerancia. En un ejemplo, la anchura de línea nominal se selecciona en el intervalo de 3-10 píxeles, y la tolerancia se selecciona en el intervalo de 1-5 píxeles. En otro ejemplo, la anchura de línea nominal se selecciona en el intervalo de 4-6 píxeles, y la tolerancia se selecciona en el intervalo de 2-3 píxeles. En un ejemplo adicional, la anchura de línea indicado se selecciona con un ancho mínimo de un píxel. La intensidad también se selecciona como una entrada y puede basarse en parte en una intensidad esperada de la línea fluorescente a la tasa de fotogramas asociada, y para eliminar píxeles que contienen ruido de fondo para que no se incluyan innecesariamente. En diversos ejemplos, la intensidad mínima se selecciona en una escala de grises de 5/255, 10/255, 20/255, 30/255 u otro valor. Un ejemplo de una región de anchura de línea seleccionada se muestra como la región 250 en la Figura 7.

Mientras que la lámina de vidrio G es transparente a la luz emitida en el visible, la segunda longitud de onda  $\lambda_2$ , y la luz emitida desde la superficie 62 puede atravesar y/o reflejarse desde la otra superficie 64, los experimentos han demostrado que cualquier reflexión desde la superficie posterior 64 tiene una señal muy baja y, en general, puede perderse como ruido. Por ejemplo, los reflejos de la línea emitida 68 en la superficie posterior 64 son del orden de 5 de 255 en una escala de grises en la imagen capturada, mientras que la línea de emisión primaria 68 está en el orden de 20-100 de 255 en la escala de grises, de modo que la señal reflejada puede considerarse ruido. Así mismo, basándose en la posición de la línea reflejada en la imagen y el espaciado de la línea visible primaria, la línea reflejada puede excluirse de o fuera de los límites de la región de anchura de línea seleccionada 250 de modo que no se considere adicionalmente en el procesamiento de datos. Para los casos en los que la línea reflejada está lo suficientemente cerca de la línea emitida 68 de modo que no pueda excluirse razonablemente usando la región de anchura de línea 250, la línea reflejada puede incluirse en el procesamiento de datos; sin embargo, el procesamiento de datos no se ve afectado significativamente debido a la señal baja de la línea reflejada. Como alternativa y en presencia de una segunda línea reflejada, el procesamiento de datos puede seleccionar la línea fluorescente teniendo en cuenta la geometría de la cámara, la ubicación de las líneas basándose en el panel, el mayor brillo de la línea fluorescente en comparación con la línea reflejada y otros factores. El procesamiento de datos puede recibir además una entrada en cuanto al material del panel G. Por ejemplo, se puede esperar una línea reflejada para una imagen de vidrio flotado del lado de estaño, mientras que una línea reflejada puede no estar presente para una imagen de vidrio flotado del lado del aire.

El ordenador 80 y el procesador de imagen 82 determinan o calculan puntos a lo largo de una línea de modelo basándose en los datos de imagen y los niveles de escala de grises de los píxeles en la línea fluorescente visible. Como se puede ver en la imagen de muestra, la luz emitida desde la superficie 62 puede capturarse extendiéndose a través de múltiples píxeles en la dirección y dentro de la región 250. En este sentido, el ordenador 80 calcula los puntos para una línea de modelo basándose en los valores de escala de grises en los píxeles como una serie de coordenadas o conjuntos de datos (x, y). Los puntos calculados en la línea de modelo 100 se superponen en la Figura 4 a modo de ejemplo.

En un ejemplo, el ordenador y el procesador de imágenes pueden promediar grupos de píxeles adyacentes para encontrar cada punto y conjunto de datos (x, y) como un centro estimado de la línea de modelo, y puede proporcionar un conjunto de datos (x, y) para cada píxel en la dirección x en la imagen. En otros ejemplos, el ordenador y el procesador de imágenes pueden realizar un promedio ponderado de píxeles para encontrar cada punto y conjuntos de datos (x, y) como un centro estimado de la línea. El ordenador y el procesador de imágenes pueden calcular los puntos y conjuntos de datos (x, y) que usan una función de distribución con los valores de píxel, tal como una distribución gaussiana, anchuras promedio o medias u otras funciones matemáticas. El ordenador y el procesador de imágenes pueden usar alternativamente una herramienta o software de procesamiento de biblioteca de imágenes

disponible comercialmente y conocido para determinar valores para los conjuntos de datos usando los datos de píxeles.

5 El ordenador 80 introduce entonces la serie de conjuntos de datos  $(x, y)$  en celdas asociadas en la matriz, o en una nube de puntos. El conjunto de datos puede incluir una serie de coordenadas de la línea de modelo según se determina a partir de la imagen. Cada conjunto de datos puede incluir un valor  $(x, y)$  correspondiente a la ubicación de la superficie 62 de la lámina de vidrio G en un plano x-y que define colectivamente la línea de modelo 100 y está vinculado al sistema de coordenadas global.

10 La matriz puede rellenarse de manera similar a una imagen de exploración lineal, con cada fila en la matriz rellena usando las coordenadas de una línea de modelo de cada imagen de la lámina de vidrio G, y con imágenes posteriores llenando filas posteriores. De igual manera, se puede construir una nube de puntos a partir de imágenes secuenciales de una lámina de vidrio G. En un ejemplo, la matriz puede tener una celda y un conjunto de coordenadas asociadas con cada píxel en la dirección x de la imagen. En otros ejemplos, la matriz puede tener una celda y un conjunto de coordenadas asociadas con múltiples píxeles adyacentes, de manera que el ordenador realiza una etapa de promediado o similar antes de introducir los datos. En algunos ejemplos, la matriz o nube de puntos puede adelgazarse, por ejemplo, omitiéndose cada  $n$ -ésimo conjunto de datos recopilado.

20 En la etapa 214, una tercera coordenada, tal como una coordenada  $(z)$ , se triangula usando una posición del láser, una posición de la cámara y la primera y segunda coordenadas, y se almacena en la matriz o nube de puntos. El ordenador 80 calcula entonces un valor  $z$  para cada conjunto de coordenadas  $(x, y)$  asociadas con la ubicación  $z$  de ese conjunto de coordenadas en la superficie 62 de la lámina de vidrio G. El valor  $z$  se calcula usando los valores  $(x, y)$  de un conjunto de coordenadas en cada celda, así como el posicionamiento del láser y la cámara del sistema de inspección 14 en un cálculo de triangulación como se describe a continuación con referencia a las figuras 8A-8B. El ordenador introduce los valores  $(z)$  en las celdas asociadas en la matriz con las coordenadas correspondientes  $(x, y)$  para completar el mapa de la superficie 62. El proceso informático y de imagen puede calcular el valor  $(z)$  para cada conjunto de coordenadas a medida que la imagen se procesa en la etapa 212, o puede calcular los valores  $(z)$  para todos los conjuntos de datos en la matriz o nube de puntos después de que la lámina de vidrio se haya representado en su totalidad.

30 Las Figuras 8A-8B ilustran varias vistas relacionadas con la triangulación de una tercera coordenada  $(z)$  para asociación con la primera y segunda coordenadas  $(x, y)$  en un conjunto de datos D en la serie de coordenadas para cada línea calculada a partir de una imagen, como se muestra en la Figura 4. El láser 50 y la cámara 72 pueden fijarse entre sí, con el haz de láser y la lámina de láser plana resultante también fijadas, de tal forma que la lámina de vidrio G se traslade o se mueva con relación en una dirección y con respecto al sistema óptico 14 y a través de la lámina de láser plana. Como la ubicación de la lámina de láser y la cámara se calibraron y vincularon a un sistema de coordenadas global, se puede calcular la coordenada  $z$ .

40 La Figura 8A es un esquema lateral del sistema óptico 14 con un gráfico de calibración C superpuesto con una lámina de vidrio G, y también ilustra un cuadro delimitador B. La lámina de láser 60 está referenciada en relación con el gráfico de calibración C y el sistema de coordenadas global. De igual manera, cada píxel en la cámara está referenciado al gráfico de calibración C y al sistema de coordenadas global, de modo que cada píxel tiene un vector asociado en el espacio  $(x, y, z)$ . Las coordenadas  $(x, y)$  para un conjunto de datos D pueden determinarse usando la etapa 212 anterior y vincularse al sistema de coordenadas global basándose en el esquema mostrado en la Figura 8B. La coordenada  $z$  para el conjunto de datos D en el sistema de coordenadas global puede calcularse entonces usando la intersección de la lámina de láser 60 y el vector para el píxel asociado en comparación con donde el píxel y el vector intersecarían el gráfico de calibración C, con referencia al esquema de la Figura 8A y usando técnicas de triangulación. Por lo tanto, el valor  $z$  se calcula para cada coordenada  $(x, y)$  en la serie de coordenadas a lo largo de la línea, y el sistema de control 80 luego ingresa esta coordenada  $z$  en la celda de matriz o nube de puntos con los valores  $(x, y)$  ya presentes para cada punto en la línea.

55 En la etapa 216, a continuación, se crea un mapa tridimensional de la superficie de la lámina de vidrio a partir de la matriz o nube de puntos en función de la serie de coordenadas para cada una de las series de líneas de longitud de onda visibles para una lámina de vidrio G para la cámara.

Las etapas indicadas por la región 218 se realizan para cada cámara, o datos de cada cámara. Para un sistema de cámara única, la etapa 216 da como resultado una matriz final o nube de puntos para la superficie del panel de vidrio G.

60 Para un sistema multicámara 214, se proporciona una etapa adicional 220 para combinar las matrices o nubes de puntos de las diferentes cámaras en una única matriz o nube de puntos representativa de la lámina de vidrio G. La Figura 9 ilustra un esquema de una subrutina usada en la etapa 220 para alinear múltiples matrices o nubes de puntos, por ejemplo, usando un sistema de dos cámaras como se muestra en la Figura 4. Una subrutina para alinear múltiples matrices o nubes de puntos para un sistema de dos cámaras como se muestra en la Figura 5, o un sistema con otro

número de cámaras, es similar y sería evidente para un experto en la materia basándose en el método 220 como se describe en el presente documento y el ejemplo mostrado en la Figura 9.

5 La Figura 9 ilustra un diagrama esquemático para la etapa 220 para el método 200. El ordenador 80 carga dos matrices o nubes de puntos M1, M2 según se adquieren de dos cámaras 72A, 72B, respectivamente, a partir de un escaneo de una lámina de vidrio G. En otros ejemplos, se pueden combinar más de dos matrices o nubes de puntos usando técnicas similares a las descritas en el presente documento. Como puede verse a partir de la Figura 9A, las matrices M1, M2 se superponen a medida que los campos de visión de las cámaras 72A, 72B se superponen entre sí. Así mismo, aunque el sistema se ha calibrado con al menos un punto en el gráfico de calibración proporcionado en cada región de cámara 73A, 73B, y preferiblemente con un grado de superposición entre las regiones, cuando las matrices M1, M2 se superponen entre sí, puede haber un pequeño grado de desplazamiento entre puntos en la sección superpuesta. Para formar una matriz final representativa de la superficie de la lámina de vidrio G, el ordenador procesa las matrices M1, M2 para resolver el desplazamiento. En un ejemplo, el desplazamiento que se está resolviendo puede ser tan pequeño como del orden de un micrómetro (milésima de pulgada). Así mismo, el desplazamiento puede variar a través de la región superpuesta.

20 En la Figura 9B, el ordenador mueve una o ambas de las matrices o nubes de puntos M1, M2. En un ejemplo, el ordenador 80 mueve una de las matrices usando una transformación rígida para trasladarla y/o rotarla con respecto a la otra matriz de tal manera que dos regiones de superposición se alinean entre sí como se muestra y se reduce el error o la desalineación.

25 En la Figura 9C, el ordenador 80 crea entonces una matriz final o nube de puntos M3 para la lámina de vidrio G. En un ejemplo, el ordenador elimina los puntos de la región de superposición de una u otra matriz. En otro ejemplo, y como se muestra, el ordenador usa una línea L que se correlaciona con el punto de calibración común para las matrices y usa puntos de una matriz para llenar la matriz final en un lado de la línea L como submatriz M1\*, y usa puntos de la otra matriz para llenar el matriz final en el otro lado de la línea L como submatriz M2\*.

30 Como la luz láser no pasa a través de la lámina de vidrio G, solo la superficie 62 orientada hacia el sistema de inspección es luminiscente. En este sentido, la matriz con una serie de coordenadas proporciona un modelo matemático tridimensional, de alta resolución de la superficie 62 de la lámina de vidrio G por medio de la serie de coordenadas (x, y, z). En un ejemplo, la matriz proporciona un modelo matemático con más de un millón de conjuntos de coordenadas para una lámina G. Por ejemplo, el modelo puede tener una densidad de puntos de 1.000.000 conjuntos de coordenadas por metro cuadrado de superficie de lámina 62, o del orden de un conjunto de coordenadas por milímetro cuadrado de superficie de lámina 62.

35 En los ejemplos descritos con respecto a las Figuras 1-2, la lámina de vidrio G se mueve en un transportador con respecto al sistema óptico 14. En este escenario, el láser 50 y la cámara 72 están fijos entre sí, y la lámina de vidrio G pasa por debajo. En otro ejemplo, la lámina de vidrio G puede fijarse, y el haz de láser emitido desde el láser 50 puede escanearse a través de la primera superficie 62 de la lámina de vidrio G mediante un galvanómetro de espejo de un eje o de dos ejes, o similar. En este escenario, el ordenador 80 recibe también una entrada indicativa del ángulo de dirección del haz proporcionado por el galvanómetro para determinar los ángulos asociados con las distancias D1, D2 asociadas con la ubicación de las líneas de movimiento 66, 68 a lo largo de la lámina de vidrio.

45 En ejemplos adicionales, el sistema de inspección óptica 14 puede usarse para inspeccionar el segundo lado 64 de la lámina de vidrio G, y crear una correspondiente matriz tridimensional o nube de puntos representativa de la superficie 64 de la lámina G.

50 La matriz o nube de puntos para la lámina de vidrio G proporciona un mapa tridimensional de alta resolución de la superficie de la lámina de vidrio G. Las coordenadas en la matriz pueden usarse en comparación con un modelo matemático de la lámina de vidrio G para determinar si la forma de la lámina de vidrio está dentro de una especificación para la forma, por ejemplo, la curvatura. Así mismo, las coordenadas en la matriz pueden usarse en comparación con un modelo matemático de la lámina de vidrio G para determinar si la superficie de la lámina de vidrio G está dentro de una especificación o estándar para la reflectancia óptica de la superficie.

55 La matriz y el modelo resultante pueden usarse con el sistema 10 para proporcionar una medición para la lámina de vidrio G, como un sistema de inspección de aprobación/fallo para corregir la desviación en el proceso de fabricación o evitar que el sistema 10 se salga de la especificación, para crear un modelo de reflectancia óptica para la lámina de vidrio G.

60 El uno o más ordenadores 16, 80 pueden programarse para presentar información relacionada con el mapa tridimensional de la matriz en forma gráfica (por ejemplo, imágenes codificadas por colores) y/o formas estadísticas. En diversos ejemplos, se pueden derivar y notificar datos estadísticos para la lámina de vidrio o áreas predefinidas de la lámina de vidrio, incluyendo distancias z, desviaciones estándar y otras métricas de cubierta superficial o de reflectancia óptica.

El sistema de inspección 14 puede incluir también un identificador de la parte de lámina de vidrio, que puede ser proporcionada por la cámara 72 u otro elemento, para identificar la lámina de vidrio como una de un conjunto de formas de partes conocidas almacenadas en la memoria en el ordenador 80, teniendo cada parte conocida un estándar de forma asociado y un estándar de reflectancia óptica para la comparación con el mapa en la matriz. El usuario puede programar el sistema 10, 14 para visualizar gráfica y/o numéricamente diversas marcas ópticas o de forma de la lámina de vidrio G detectada por el aparato 14, por ejemplo, a través de una interfaz de usuario y una pantalla de visualización 20, incluyendo los indicios más relevantes para las normas de la industria u otros indicios considerados relevantes en la industria para el análisis de la calidad de reflectancia óptica de las láminas de vidrio formadas y fabricadas. El sistema 10 puede, del mismo modo, programarse para visualizar las ubicaciones de pequeños defectos identificados por el aparato 14.

Los datos seleccionados emitidos por el sistema de inspección óptica en línea divulgado 10, 14 pueden proporcionarse también como entrada a la lógica de control para un sistema asociado de calentamiento, doblado y templado de láminas de vidrio (o sistema de fabricación de parabrisas de automóvil) para permitir que el uno o más controles para que una o más de las estaciones del sistema de lámina de vidrio modifiquen su parámetro o parámetros operativos en función de los datos ópticos desarrollados a partir de las láminas de vidrio previamente procesadas.

La Figura 10 es un diagrama de flujo para un método 300 para su uso en la medición de una parte, tal como una lámina de vidrio G, usando la matriz o nube de puntos para una superficie de la lámina de vidrio según lo determinado por el ordenador 80 que usa el sistema óptico 14. En diversas realizaciones, las etapas en el método 300 pueden omitirse o reorganizarse, o pueden proporcionarse etapas adicionales.

En la etapa 302, una matriz o nube de puntos para una superficie de una lámina de vidrio G como se ha determinado anteriormente usando el sistema óptico y el método 200 se introduce en una unidad de procesador por el ordenador 80. La matriz puede ser representativa de toda una primera superficie de la lámina de vidrio G, o puede incluir conjuntos de datos para solo una región de superficie seleccionada de la lámina de vidrio G.

En la etapa 304, el ordenador 80 se refiere a un modelo de calibre apropiado para la lámina de vidrio G. El modelo de calibre puede proporcionarse usando modelos y/o datos de diseño asistido por ordenador (CAD), u otros modelos matemáticos o representaciones de dimensiones o formas. El ordenador puede determinar el modelo de calibre correcto a usar a partir de uno de varios modelos almacenados en memoria para láminas de vidrio G de diversas formas y/o tamaños. El ordenador 80 introduce después el modelo de calibre seleccionado en el procesador.

En la etapa 306, el ordenador 80 determina datos métricos invariantes para la lámina de vidrio en comparación con el modelo de calibre. En un ejemplo, el ordenador puede determinar distancias de distancia z para los conjuntos de datos o la superficie de la lámina de vidrio G en comparación con el modelo de calibre. El ordenador puede calcular una distancia de vector normal desde cada uno de los conjuntos de datos o superficie de la lámina G al modelo de calibre. Como alternativa, el ordenador puede calcular una distancia vertical, o distancia z desde cada uno de los conjuntos de datos o superficie de la lámina G al modelo de calibre.

El ordenador puede configurarse para medir toda la lámina de vidrio G con referencia a la matriz o nube de puntos. En otros ejemplos, el ordenador puede medir solo regiones o porciones seleccionadas de la lámina de vidrio G o tener puntos de medición adicionales en regiones específicas, por ejemplo, una región perimetral, o una región destinada para uso óptico, tal como con una pantalla de visualización frontal o una cámara u otro sensor. En un ejemplo, el ordenador usa regiones seleccionadas de la lámina de vidrio G para simular un método de medición por contacto.

En ejemplos adicionales, y como se muestra como el bloque opcional 308 en líneas discontinuas, el ordenador puede realizar cálculos o subrutinas en vecindades de puntos para proporcionar un punto de datos o conjunto de datos de superficie con procesamiento posterior para su uso en la determinación de la métrica invariante. En un ejemplo, el ordenador realiza una interpolación, un promedio u otra función matemática tal como umbralización o similares en puntos o conjuntos de datos adyacentes para calcular un conjunto de datos con procesamiento posterior para esa vecindad. Esto puede proporcionar una medición mejorada y métricas invariantes al eliminar conjuntos de datos atípicos como los causados por el polvo superficial, etc.

En otros ejemplos, el ordenador puede determinar desviaciones estándar de las distancias z u otra métrica invariable para la superficie y la lámina de vidrio G, tal como un radio de curvatura calculado u otra métrica de medición de forma. Las métricas invariantes pueden introducirse en una matriz de calibración o nube de puntos para la lámina de vidrio G.

En la etapa 310, el ordenador 80 emite la información relacionada con la medición de la superficie, incluyendo cualquier métrica invariable, por ejemplo, la matriz de calibración. El ordenador puede analizar adicionalmente información en la matriz de calibración para determinar si una o más métricas exceden un valor umbral. El ordenador puede proporcionar adicionalmente información relacionada con la calibración a un usuario, por ejemplo, a través de un mapa

codificado por colores de la lámina de vidrio o a través de formas numéricas u otras formas de presentación, tal como una tabla. El ordenador puede proporcionar adicionalmente información desde la etapa de calibración hasta una de proceso de fabricación para la lámina de vidrio G como parte de un bucle de realimentación de control.

- 5 Las Figuras 11A y 11B ilustran ejemplos representativos de salidas del método 300 para su visualización a un usuario. La Figura 11A ilustra un mapa de puntos simplificado para una lámina de vidrio G o región de una lámina de vidrio G, y proporciona un ejemplo representativo de la salida del sistema. Los puntos de calibración tienen métricas invariantes asociadas enumeradas, tales como valores diferenciales basados en la distancia normal, vertical u otra del valor de calibración. Si el valor diferencial está más allá de un umbral especificado o fuera de una tolerancia permitida, puede marcarse para que sea fácilmente evidente para un usuario. En el ejemplo mostrado, los valores corresponden a una distancia vertical normal desde el modelo de calibración y se proporcionan en milímetros, aunque se contemplan otras unidades. Así mismo, los valores que están subrayados se encuentran fuera del umbral o tolerancia y pueden marcarse para un usuario.
- 10
- 15 La Figura 11B ilustra un mapa para una lámina de vidrio G o región de una lámina de vidrio G, con diferentes tonos correspondientes a diferentes intervalos de valores diferenciales basados en la distancia normal, vertical u otra del valor de calibración, y proporciona otro ejemplo representativo de la salida del sistema. Si el valor diferencial está más allá de un umbral especificado o fuera de una tolerancia permitida, puede marcarse para que sea fácilmente evidente para un usuario. Las tolerancias o umbrales pueden establecerse en diferentes valores para diferentes regiones del panel basándose en el uso previsto y los requisitos para la lámina. Para el ejemplo mostrado, los diferenciales se proporcionan en milímetros, aunque se contemplan también otras unidades.
- 20

El método 300 proporciona la calibración sin contacto de la superficie y de la lámina de vidrio G, permite la supervisión e inspección en línea de partes, y permite la calibración rápida y fácil de una serie de partes diferentes, o el uso de múltiples modelos de calibre. Así mismo, la calibración sin contacto a través del método 300 proporciona tiempo y gastos reducidos asociados con la calibración de una parte, ya que el modelo de calibre se puede crear, cambiar o actualizar fácilmente usando datos CAD, y no requiere el uso de herramientas de calibración de medición de precisión para la medición de contacto que son específicas de la parte.

25

30 La Figura 12 es un diagrama de flujo para un método 350 para su uso en la determinación y modelado de la reflectancia óptica de una parte, tal como una lámina de vidrio G, usando la matriz o nube de puntos para una superficie de la lámina de vidrio según lo determinado por el ordenador 80 que usa el sistema óptico 14. En diversas realizaciones, las etapas en el método 300 pueden omitirse o reorganizarse, o pueden proporcionarse etapas adicionales.

35 En la etapa 352, una matriz o nube de puntos para una superficie de una lámina de vidrio G como se ha determinado anteriormente usando el sistema óptico y el método 200 se introduce en una unidad de procesador por el ordenador 80. La matriz puede ser representativa de toda una primera superficie de la lámina de vidrio G, o puede incluir conjuntos de datos para solo una región de superficie seleccionada de la lámina de vidrio G.

40 En la etapa 354, el ordenador 80 realiza una o más operaciones de procesamiento posterior en la matriz o nube de puntos. En un ejemplo, el ordenador 80 modifica o elimina el ruido de la matriz o nube de puntos para eliminar ciertos puntos o artefactos de la nube de puntos. Por ejemplo, el ordenador 80 puede eliminar o modificar puntos en la nube de puntos que son adyacentes o dentro de una distancia especificada, por ejemplo, de uno a dos milímetros, del borde del panel G para eliminar puntos que tienen un efecto de borde o sesgo en su ubicación medida, por ejemplo, provocado por un efecto de orientación del haz y/o una desviación en el centro de línea calculado que se introduce basándose en la anchura de la línea de láser o la luz visible junto con el borde del panel que se extiende no perpendicularmente a la línea o lámina. De manera adicional, la luz visible, fluorescente puede aparecer inmediatamente fuera del panel G y puede ser provocada, por ejemplo, por una molienda u otro parámetro del panel que provoque la propagación de la luz, provocando así puntos de artefacto adicionales en la nube de puntos o matriz.

45

50 En un ejemplo, estos puntos inexactos o artefactos forman una curva que tiene un signo de curvatura opuesto al del panel G adyacente, o se forma una curva en una curva entre los puntos inexactos o artefactos y el panel G adyacente, de modo que el ordenador 80 puede truncar o eliminar estos puntos de la nube de puntos o matriz usando el punto de inflexión o el codo como límite. Aunque esta etapa de eliminación de ruido se describe con respecto a la eliminación de ruido de una nube de puntos creada al medir la superficie de una lámina de vidrio G usando luz visible fluorescente de una lámina de láser, la etapa de eliminación de ruido se puede aplicar también a otros sistemas de visión y medición para su uso en la eliminación de efectos de borde.

55

El ordenador 80 realiza también un algoritmo de eliminación de ruido en la nube de puntos o matriz en la etapa 354. De acuerdo con un ejemplo, la eliminación de ruido puede proporcionarse promediando vectores normales en una vecindad de conjuntos de datos, y actualizando después los conjuntos de datos usando el vector normal promediado para crear un conjunto de datos con procesamiento posterior que coincida con el cambio de las normales. En un ejemplo no limitativo, una nube de puntos de conjuntos de datos se malla triangularmente con cada conjunto de datos actuando como un vértice. En otros ejemplos, se pueden usar otras formas de malla. Para cada triángulo de malla, se calcula un vector normal. Los vectores normales divergentes pueden ser indicativos de ruido en la nube de puntos,

60

mientras que los vectores normales convergentes pueden ser indicativos de una superficie más suave para la nube de puntos. La nube de puntos se suaviza promediando o combinando matemáticamente de otra manera vectores normales para vecindades o agrupaciones de triángulos de malla, y las vecindades pueden definirse como mallas que comparten un vértice común o que comparten un o más bordes comunes. Cada vector normal promediado se usa para ajustar las coordenadas para el vértice asociado para crear un vértice o conjunto de datos con procesamiento posterior en una matriz o nube de puntos con procesamiento posterior y sin ruido. En otros ejemplos, pueden proporcionarse otros algoritmos de eliminación de ruido y pueden basarse en algoritmos matemáticos asociados con técnicas de cubierta de superficie tales como las descritas por: Gabriel Taubin "A signal processing approach to fair surface design" Actas SIGGRAPH '95 de la 22ª conferencia anual; Hirokazu Yagou, y col. "Mesh Smoothing via Mean and Median Filtering Applied to Face Normals" Actas GMP '02 del Modelado y Procesamiento Geométrico - Teoría y Aplicaciones (GMP'02); Shachar Fleishman, y col. "Bilateral mesh denoising" Documentos SIGGRAPH '03 ACM SIGGRAPH 2003; y Thouis R. Jones, y col. "Non-iterative, feature-preserving mesh smoothings" Documentos SIGGRAPH '03 ACM SIGGRAPH 2003.

De acuerdo con otro ejemplo no limitativo, el ordenador 80 realiza un algoritmo de eliminación de ruido en la nube de puntos o matriz usando un método de mínimos cuadrados en movimiento para suavizar e interpolar los datos. De acuerdo con la presente divulgación y para un punto de datos dado en la nube de puntos, un número de puntos vecinos en la nube de puntos son mínimos cuadrados ajustados a una función por el ordenador 80. En un ejemplo, la función puede ser un polinomio. Un punto de datos con procesamiento posterior se determina moviendo el punto original dado en la nube de puntos a la superficie polinomial determinada. El ordenador 80 itera la eliminación de ruido a través de la nube de puntos para crear una matriz o nube de puntos con procesamiento posterior y sin ruido. Se pueden encontrar ejemplos de un método de mínimos cuadrados móviles y su aplicación a superficies en Lancaster, Peter y Kes Salkauskas, "Surfaces generated by moving least squares methods", Matemáticas de cálculo 37.155 (1981): 141-158; y Alexa, Marc, y col. "Computing and rendering point set surfaces". Transacciones IEEE sobre visualización y gráficos por ordenador 9.1 (2003): 3-15.

En la etapa 356, el ordenador 80 determina o calcula una o más métricas invariantes de la superficie a partir de conjuntos de datos con procesamiento posterior en la matriz sin ruido o nube de puntos, o para una o más regiones seleccionadas de la superficie. Las métricas invariantes pueden incluir curvatura horizontal, curvatura vertical, radio de curvatura, curvatura principal, curvatura gaussiana, curvatura media, derivadas o tasas de cambio de una o más de las curvaturas, dioptrias o métricas de potencia óptica, y similares.

En la etapa 358, el ordenador puede determinar si las métricas invariantes indicativas de la reflectancia óptica de la superficie están dentro de una especificación de reflectancia óptica designada para la superficie de la lámina de vidrio G, o una región de la superficie. El ordenador puede comparar una o más de las métricas invariantes con una métrica de diseño correspondiente para la lámina de vidrio G. Por ejemplo, la especificación de reflectancia óptica puede ser una métrica invariante estándar o umbralizada para la lámina de vidrio G. En un ejemplo, la especificación incluye una métrica tal como una curvatura calculada a partir de un modelo de ingeniería asistida por ordenador (CAE) u otros datos de modelo para la lámina de vidrio G. El ordenador puede comparar métricas invariantes con valores umbral o crear un mapa codificado por colores u otra salida visual para indicar si la lámina de vidrio o una región de la lámina de vidrio está dentro de la especificación predeterminada, o comparar la superficie con la especificación predeterminada. En ejemplos adicionales, el ordenador puede usar una función matemática de más de una invariante para proporcionar una puntuación u otra indicación de la reflectancia óptica en comparación con la especificación que pondera o factoriza de otro modo las diferentes invariantes y regiones de la superficie en relación con la reflectancia óptica.

En la etapa 360, y en algunas realizaciones, el ordenador 80 determina o calcula métricas variantes para la lámina de vidrio G. En un ejemplo, el ordenador 80 crea una cuadrícula, tablero de cebra u otra imagen reflejada simulada para una representación visual simulada de la reflectancia óptica y cualquier distorsión. El algoritmo informático usado para crear la imagen reflejada simulada puede usar técnicas tales como trazado de rayos usando los vértices con procesamiento posterior en la matriz sin ruido y los vectores normales calculados a partir de cada uno de los vértices con procesamiento posterior. Por ejemplo y con referencia al uso de trazado de rayos, un rayo del vértice con procesamiento posterior en la nube de puntos sin ruido incide en una cámara virtual en un píxel en un ángulo con respecto al vector normal, y dado que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, por lo tanto, se conoce un rayo desde el mismo vértice con procesamiento posterior en la nube de puntos y se puede determinar el punto de intersección con un tablero de cuadrícula virtual. A continuación, se puede construir una imagen reflejada, tal como un tablero de cuadrícula reflejado o un tablero de cebra, usando los píxeles en la cámara virtual y los puntos en el tablero de cuadrícula virtual, ya que corresponden uno a uno. El algoritmo usado por el ordenador para simular la cuadrícula o tablero de cebra reflejado puede ajustarse o calibrarse usando una imagen real reflejada de una cuadrícula o tablero de cebra en el mismo ángulo de incidencia, configuración de la cámara, etc. como se usaron en el algoritmo. En un ejemplo adicional, el ordenador puede ensamblar una serie de cuadrículas simuladas o tableros de cebra simulados, por ejemplo, tomados en diferentes ángulos de incidencia, para proporcionar una película o flipbook de los tableros de cebra para su representación visual a un usuario para simular que el usuario escanea un tablero de cebra desde posiciones cambiantes con respecto al tablero de cebra.

- En la etapa 362, el ordenador 80 emite la información relacionada con la reflectancia óptica simulada y la distorsión de la superficie, incluyendo cualquier métrica variante o invariante, representaciones visuales o mapeo de datos invariantes o del tablero de cebra simulado, u otros cálculos o simulaciones. En un ejemplo, el ordenador 80 muestra la información en una pantalla de visualización u otra interfaz de usuario. La Figura 13 ilustra un ejemplo representativo de una imagen óptica reflejada simulada de un tablero de rejilla como se construye usando los métodos 200, 350 como se describe en el presente documento. El ordenador puede proporcionar adicionalmente esta información a una etapa de proceso de fabricación para la lámina de vidrio G como parte de un bucle de realimentación de control.
- El método 350 proporciona inspección sin contacto y determinación de la reflectancia óptica y cualquier distorsión de la superficie y de la lámina de vidrio G, permite la supervisión e inspección en línea de partes, y permite una inspección rápida y fácil de una serie de partes diferentes. Así mismo, la inspección óptica reflectante sin contacto a través del método 350 proporciona tiempo y los gastos reducidos asociados con la inspección de una parte, y puede proporcionar adicionalmente métricas no subjetivas para su uso en la determinación de si la parte ha pasado la especificación.
- En otros ejemplos, y dependiendo de la técnica de fabricación utilizada para formar la lámina de vidrio, la primera y segunda superficies 62, 64 pueden emitir luz a diferentes longitudes de onda en respuesta a la excitación del láser 50. En un ejemplo, la lámina de vidrio G se forma usando un proceso de vidrio flotado y tiene una mayor concentración de estaño en una superficie en comparación con la otra superficie. En este escenario, la superficie con la mayor concentración de estaño emite fluorescencia a una intensidad y/o longitud de onda diferente que la otra superficie, y el sistema de inspección puede usarse además para identificar un lado de la lámina del otro basándose en la diferente intensidad y/o longitud de onda  $\lambda_2$  de la luz emitida. Por ejemplo, para una lámina de vidrio con una primera superficie que tiene una concentración de estaño más alta que una segunda superficie, la primera superficie puede emitir fluorescencia a una intensidad y/o longitud de onda diferente a la de la segunda superficie y, además, la primera superficie puede emitir fluorescencia a una intensidad alta y/o una longitud de onda más corta que la segunda superficie. Así mismo, la unidad de control y el ordenador 80 pueden modificar la intensidad del láser 50 basándose en la superficie de la lámina de vidrio que está orientada hacia el láser, y/o ajustar la configuración de la cámara, como la ganancia o la configuración de procesamiento de imágenes. Por ejemplo, para una lámina de vidrio con una primera superficie con una concentración de estaño más alta que una segunda superficie, la intensidad del láser puede reducirse para la primera superficie en comparación con la segunda superficie, por ejemplo, para evitar la sobresaturación del sensor de la cámara. Como alternativa o adicionalmente, la ganancia puede aumentarse para el segundo lado, o pueden necesitarse etapas de procesamiento de imagen adicionales para la reducción de ruido para el segundo lado.
- Así mismo, un sistema 10 puede estar provisto de más de un sistema de inspección óptica 14, por ejemplo, para su uso con láminas de vidrio más grandes G, para reducir los tiempos de escaneo o para aumentar la precisión de la medición.
- Al usar un sistema 14 con una fuente de luz que no es transmisiva a la lámina de vidrio G, se puede proporcionar una medición de una superficie de la lámina G, también se evitan los problemas que surgen en otros sistemas que usan luz visible para interrogar la lámina de vidrio y la dispersión o reflectancia resultante de las superficies delantera y trasera 62, 64. De la misma manera, la medición de la luz emitida desde la lámina de vidrio G se simplifica al estar en el espectro visible de modo que no se requieren sensores ultravioleta.
- En realizaciones adicionales, el sistema óptico puede usarse para formar un mapa de superficie tridimensional para un objeto que no sea una lámina de vidrio G. En un ejemplo no limitativo, un sistema óptico con un láser que emite luz en otra longitud de onda, tal como una longitud de onda visible, puede usarse para escanear un objeto que tiene una superficie difusa. El sistema óptico usa una o más cámaras con los métodos descritos anteriormente para determinar un mapa de superficie tridimensional de la superficie difusa.
- Aunque anteriormente se han descrito diversos ejemplos de la divulgación, no se pretende que estas realizaciones describan todas las formas posibles de la invención. Más bien, las palabras usadas en la memoria descriptiva son palabras de descripción en lugar de limitación, y se entiende que pueden realizarse diversos cambios sin apartarse del alcance de la divulgación como se define por las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de inspección óptica (10) comprende:

5 un láser ultravioleta (50) y una óptica asociada (54) que forman una lámina de láser plana (60) dirigida a una lámina de vidrio (G), en donde la lámina de láser plana (60) se interseca con una superficie (62) de la lámina de vidrio (G), lo que provoca que la superficie (62) de la lámina de vidrio (G) emita fluorescencia y forme una línea de longitud de onda visible (68) en la superficie;

10 una primera cámara (72A) que tiene un primer sensor de imagen para detectar la línea de longitud de onda visible (68) a través de una primera porción (73A) de una anchura de la lámina de vidrio (G);  
una segunda cámara (72B) que tiene un segundo sensor de imagen para detectar la línea de longitud de onda visible a través de una segunda porción (73B) de una anchura de la lámina de vidrio (G) separada de la primera porción (73A) de tal manera que la primera cámara (72) y la segunda cámara (72) tienen campos de visión superpuestos y separados en la superficie de la lámina de vidrio (G); y

15 un sistema de control (16) configurado para (i) recibir datos de imagen indicativos de la línea de longitud de onda visible desde la primera cámara (72A), (ii) analizar los datos de la primera cámara (72A) para determinar primera y segunda coordenadas en una primera serie de coordenadas asociadas con la línea, (iii) triangular una tercera coordenada asociada con cada una de la primera y segunda coordenadas en la primera serie de coordenadas, (iv) crear un primer mapa tridimensional (M1) de la superficie de la lámina de vidrio (G) en función de la primera serie de coordenadas, (v) recibir datos de imagen indicativos de la línea de longitud de onda visible desde la segunda cámara, (vi) analizar los datos de la segunda cámara (72B) para determinar primera y segunda coordenadas en una segunda serie de coordenadas asociadas con la línea, (vii) triangular una tercera coordenada asociada con cada una de la primera y segunda coordenadas en la segunda serie de coordenadas, (viii) crear un segundo mapa tridimensional (M2) de la superficie de la lámina de vidrio (G) en función de la segunda serie de coordenadas, y

20 (ix) formar un mapa combinado (M3) usando el primer mapa (M1) y el segundo mapa (M2).

2. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado además para mover el primer mapa (M1) con respecto al segundo mapa (M2) usando una transformación rígida para alinear el primer mapa con el segundo mapa, y eliminar posteriormente una serie de coordenadas de un campo de visión superpuesto de uno del primer mapa y del segundo mapa para formar el mapa combinado (M3).

30

3. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde la primera cámara (72) y la segunda cámara (72) están situadas en un lado de la lámina de láser plana (60).

35 4. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde la lámina de láser plana (60) se coloca entre la primera cámara (72) y la segunda cámara.

5. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1 comprendiendo además:

40 una tercera cámara que tiene un tercer sensor de imagen para detectar la línea de longitud de onda visible a través de una tercera porción de una anchura de la lámina de vidrio (G); y  
una cuarta cámara que tiene un cuarto sensor de imagen para detectar la línea de longitud de onda visible a través de una cuarta porción de una anchura de la lámina de vidrio (G);  
en donde la primera cámara (72), la segunda cámara, la tercera cámara y la cuarta cámara tienen campos de visión superpuestos y separados en la superficie de la lámina de vidrio (G).

45

6. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, que comprende además un transportador configurado para trasladar al menos una de la lámina de vidrio (G) y el láser entre sí;

50 en donde el láser, la lámina de láser plana (60) y las cámaras (72A, 72B) se fijan entre sí; en donde el sistema de control (16) está configurado además para recibir una serie de datos indicativos de una serie de líneas de longitud de onda visibles (68) de cada cámara medida a través de la lámina de vidrio (G), correspondiendo cada línea a una ubicación diferente a lo largo de la superficie de la lámina de vidrio (G); y  
en donde el sistema de control (16) está configurado además para analizar cada una de la serie de líneas de longitud de onda visibles (68) para determinar una primera y segunda coordenadas en una serie de coordenadas asociadas con cada línea, triangular una tercera coordenada asociada con cada una de la primera y segunda coordenadas en cada una de la serie de coordenadas, y crear cada mapa tridimensional (M1, M2, M3) de la superficie de la lámina de vidrio (G) de cada una de las series de coordenadas asociadas con cada cámara (72A, 72B).

55

60 7. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para analizar los datos de cada cámara (72A, 72B) usando una región de anchura de línea predeterminada (250) para determinar la primera y segunda coordenadas en cada serie de coordenadas asociadas con la línea (68), en donde la primera y segunda coordenadas en cada serie de coordenadas se encuentran dentro de

la región de anchura de línea.

- 5 8. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 7, en donde la región de anchura de línea (250) es una función de píxeles y/o un umbral de escala de grises.
- 10 9. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde la superficie de la lámina de vidrio (G) es una primera superficie (62);  
 en donde la lámina de vidrio (G) tiene una segunda superficie (64) opuesta a la primera superficie; y  
 en donde el sistema de control (16) está configurado además para ajustar una intensidad del láser (50) en respuesta a una de la primera y segunda superficies (62, 64) que comprende una mayor concentración de estaño que la otra de la primera y segunda superficies.
- 15 10. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 9, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para operar el láser a una intensidad más baja cuando la primera superficie comprende la concentración más alta de estaño.
- 20 11. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para determinar una reflectancia óptica simulada de la superficie (62) usando el mapa combinado (M3) de la superficie.
- 25 12. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 11, que comprende además una pantalla en comunicación con el sistema de control (16);  
 en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para emitir un mapa de datos invariantes y/o una imagen óptica reflejada simulada de uno de un tablero de cuadrícula y un tablero de cebra a la pantalla.
- 30 13. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para medir la lámina de vidrio (G) usando el mapa combinado (M3) de la superficie.
- 35 14. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para eliminar el ruido del mapa combinado (M3) mallando la primera y la segunda serie de coordenadas en el mapa combinado, promediar vectores normales para vecindades de malla, y ajustar una posición de las coordenadas en la primera y segunda serie de coordenadas para crear una serie de coordenadas con procesamiento posterior en el mapa combinado.
- 40 15. El sistema de inspección óptica (10) de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (16) está configurado adicionalmente para eliminar el ruido del mapa combinado (M3) eliminando puntos adyacentes a un borde del mapa tridimensional usando uno de un punto de inflexión y un codo.
- 40 16. Un método de uso de un sistema de inspección óptica (10) que comprende:  
 formar y dirigir una lámina de láser plana (60) desde un láser ultravioleta (50) y una óptica asociada (54) a una superficie (62) de una lámina de vidrio (G);  
 45 excitar la superficie de la lámina de vidrio (G) en una intersección de la lámina de láser plana (60) y la superficie (62) para formar una línea de longitud de onda visible (68) en la superficie de la lámina de vidrio (G);  
 obtener imágenes de la línea de longitud de onda visible (68) usando una primera cámara (72A) y una segunda cámara (72B), con cada una de la primera cámara (72A) y la segunda cámara (72B) formando una porción separada respectiva (73A, 73B) de la superficie de la lámina de vidrio (G) que tiene campos de visión superpuestos y separados en la superficie de la lámina de vidrio (G);  
 50 determinar primera y segunda coordenadas en una primera serie de coordenadas asociadas con la línea de longitud de onda visible analizando datos de formación de imágenes de la primera cámara (72A);  
 determinar una tercera coordenada asociada con cada una de la primera y segunda coordenadas en la primera serie de coordenadas asociadas con la línea de longitud de onda visible mediante triangulación;  
 determinar primera y segunda coordenadas en una segunda serie de coordenadas asociadas con la línea de longitud de onda visible (68) analizando datos de formación de imágenes de la segunda cámara (72B);  
 55 determinar una tercera coordenada asociada con cada una de la primera y segunda coordenadas en la segunda serie de coordenadas asociadas con la línea de longitud de onda visible (68) por triangulación;  
 crear un primer mapa tridimensional (M1) de la superficie de la lámina de vidrio (G) en función de la primera serie de coordenadas;  
 60 crear un segundo mapa tridimensional (M2) de la superficie de la lámina de vidrio (G) en función de la segunda serie de coordenadas; y  
 combinar el primer y segundo mapas tridimensionales (M1, M2) para formar un mapa combinado (M3) de la superficie de la lámina de vidrio (G).

17. El método de la reivindicación 16 comprendiendo además:

5 mover la lámina de vidrio (G) con respecto al láser, a la lámina de láser plana (60) y a las cámaras; y  
formar imágenes de una primera serie de líneas de longitud de onda visibles usando la primera cámara (72A) a  
medida que la lámina de vidrio (G) se mueve con respecto a la lámina de láser plana (60);  
10 formar imágenes de una segunda serie de líneas de longitud de onda visibles usando la segunda cámara (72B) a  
medida que la lámina de vidrio (G) se mueve con respecto a la lámina de láser plana (60);  
en donde el primer mapa tridimensional (M1) de la superficie (62) se crea en función de la primera serie de  
coordenadas en la primera serie de líneas; y  
10 en donde el segundo mapa tridimensional (M2) de la superficie (62) se crea en función de la segunda serie de  
coordenadas en la segunda serie de líneas.

18. El método de la reivindicación 16 comprendiendo además

15 calcular una métrica invariante de la lámina de vidrio (G) usando un conjunto de coordenadas en el mapa  
combinado (M3) en comparación con un modelo de calibre para la superficie; (62) y  
emitir la métrica invariable para proporcionar información de calibración para la lámina de vidrio (G).

19. El método de la reivindicación 16 comprendiendo además eliminar el ruido del mapa combinado de la superficie;  
20 y

calcular una métrica invariante de la lámina de vidrio (G) usando al menos un conjunto de coordenadas del mapa  
combinado (M3) en comparación con una especificación de reflectancia óptica designada para la superficie de la  
lámina de vidrio (G); y  
25 emitir la métrica invariante para proporcionar información de reflectancia óptica para la superficie (62).

20. El método de la reivindicación 19 comprendiendo además

30 construir una imagen óptica reflejada simulada de uno de un tablero de cuadrícula y un tablero de cebra mediante  
conjuntos de datos de trazado de rayos a partir del mapa sin ruido; y  
emitir la imagen simulada.

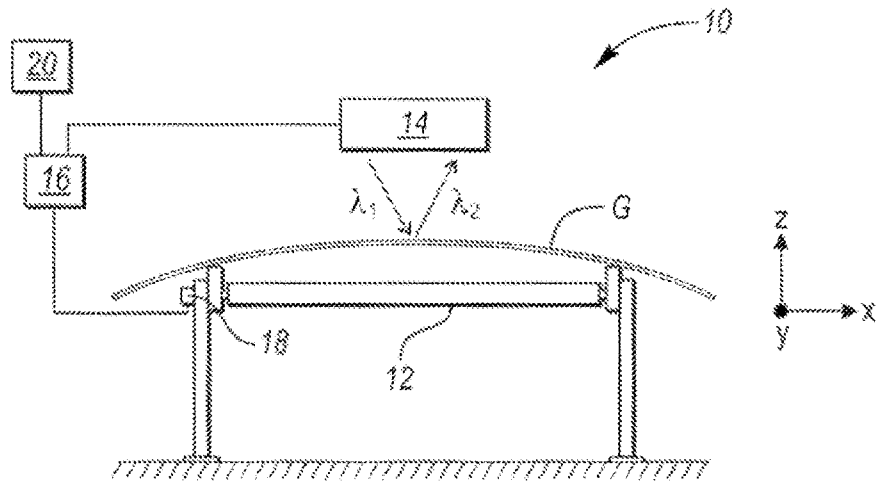


FIG. 1

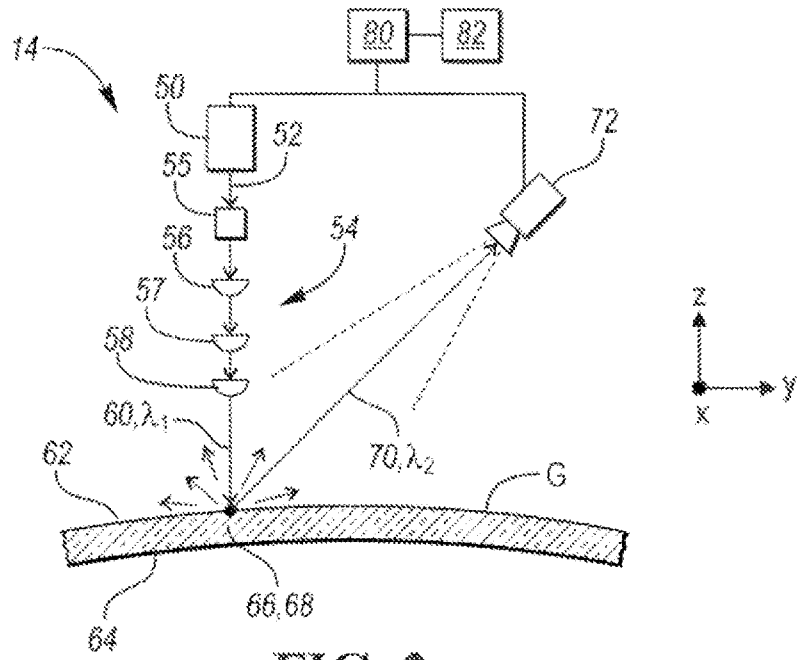


FIG. 2

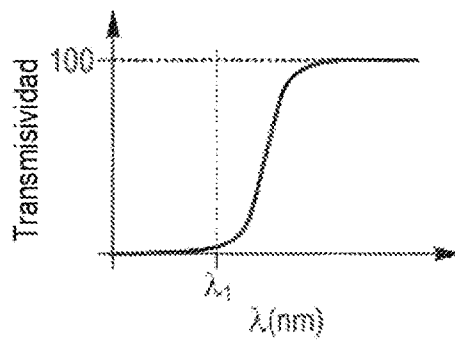
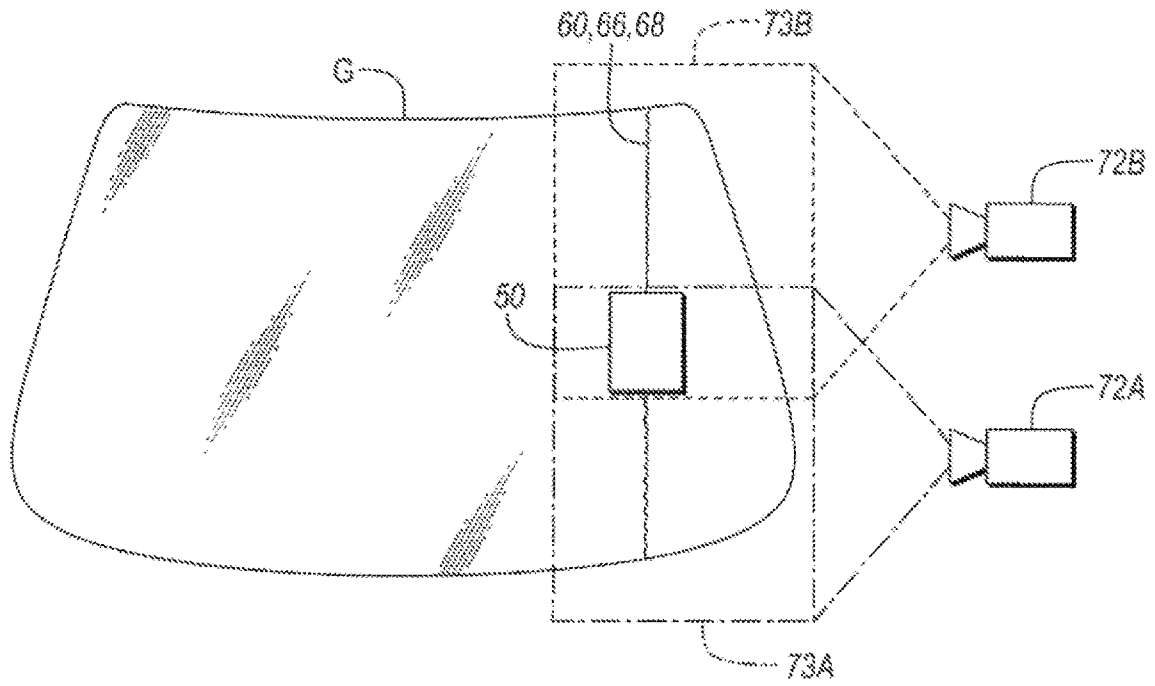
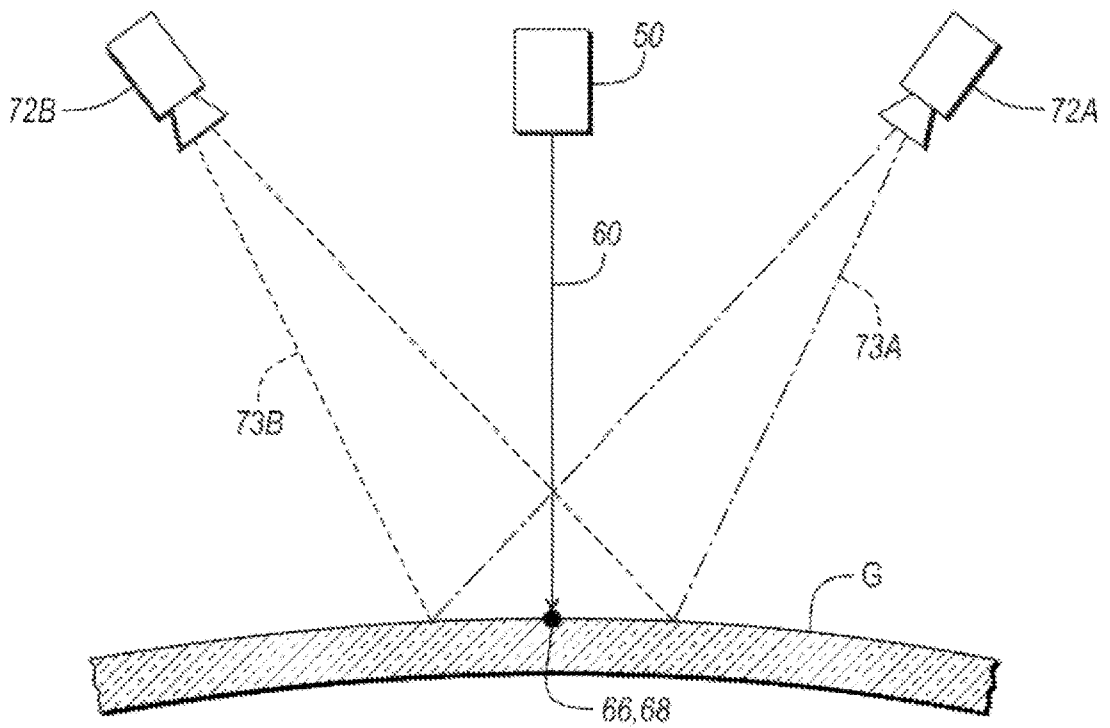


FIG. 3



**FIG. 4**



**FIG. 5**

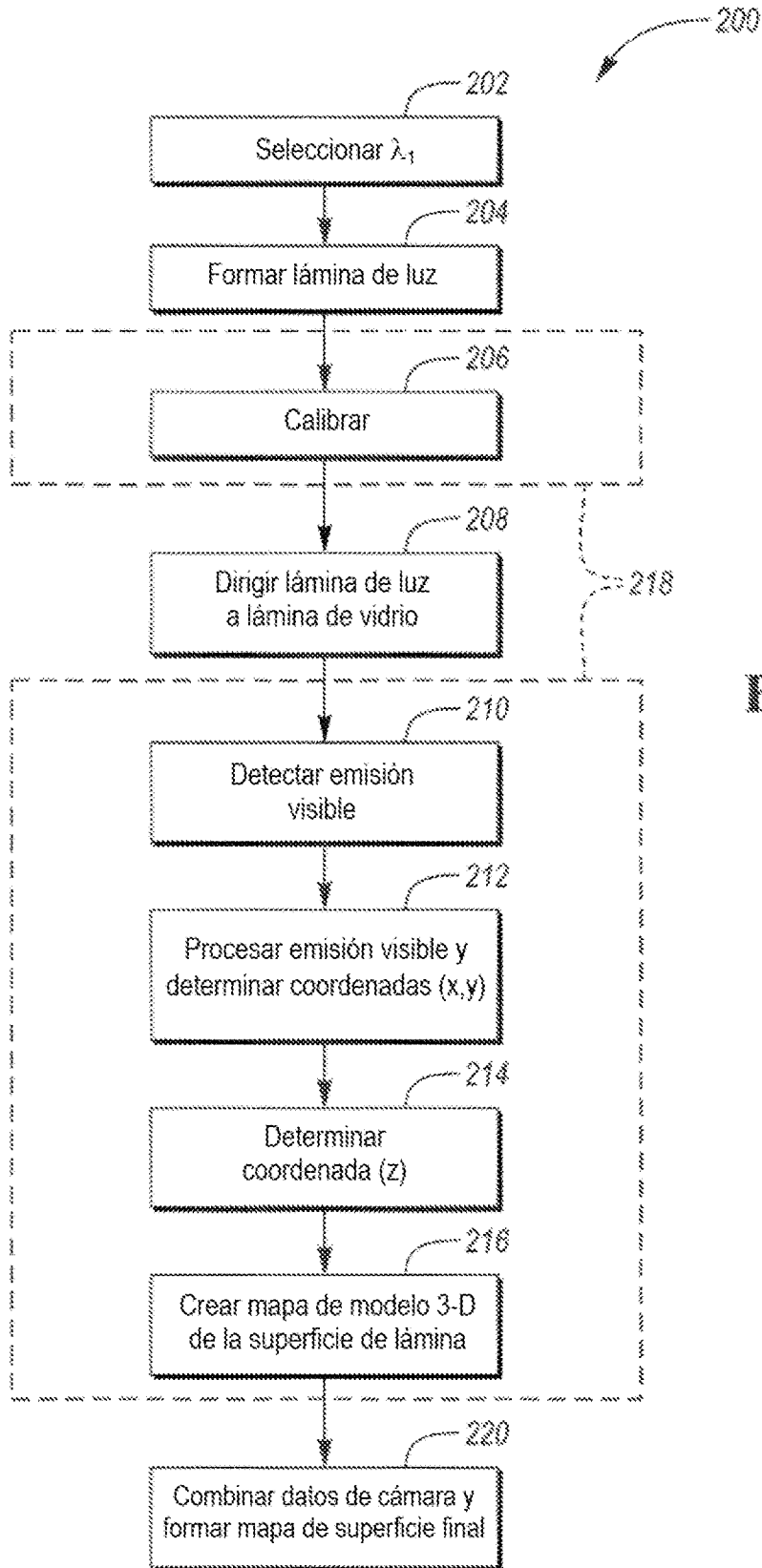
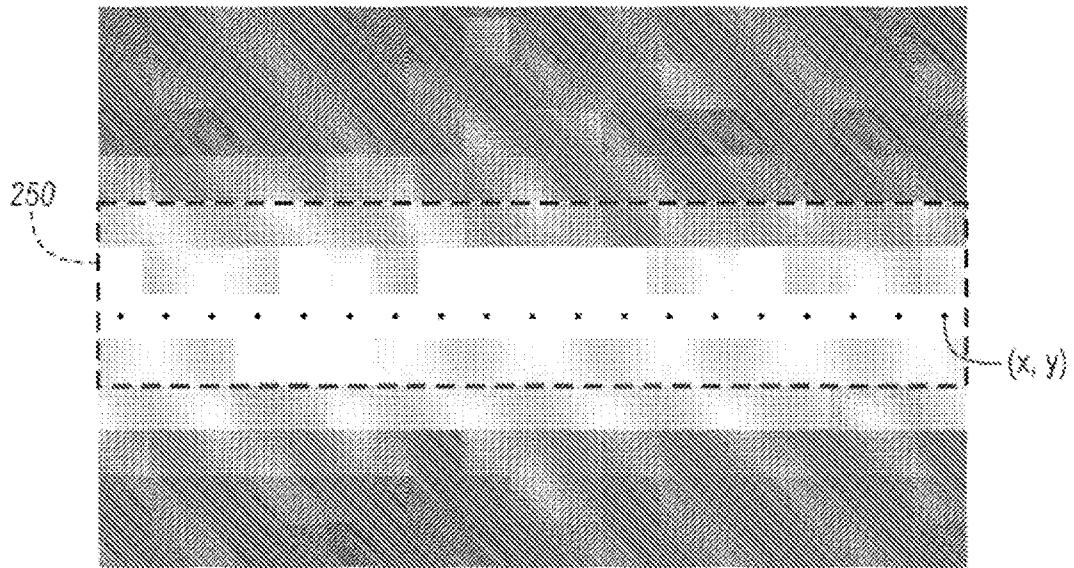
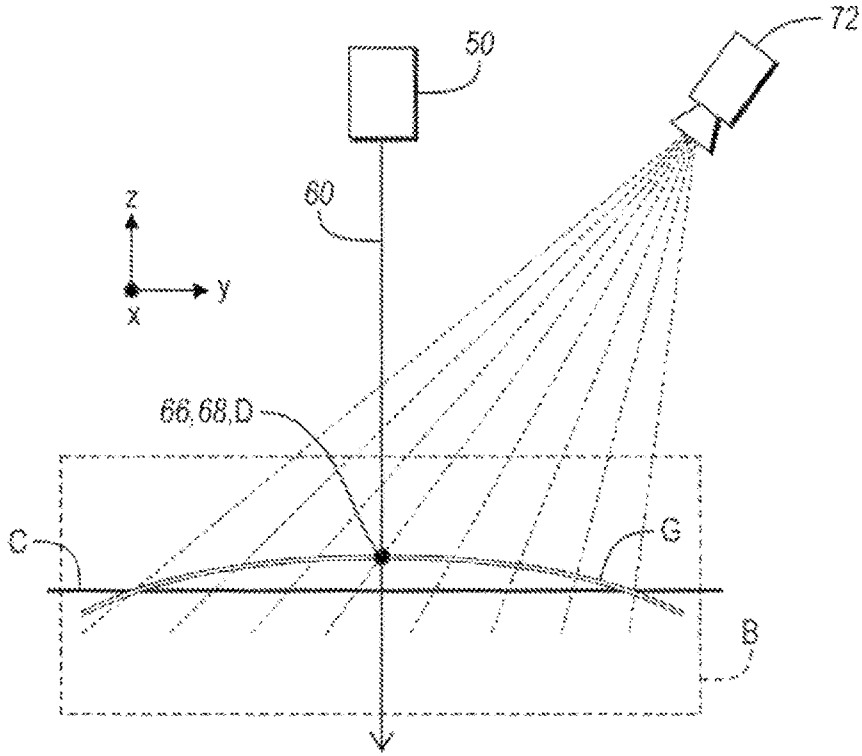


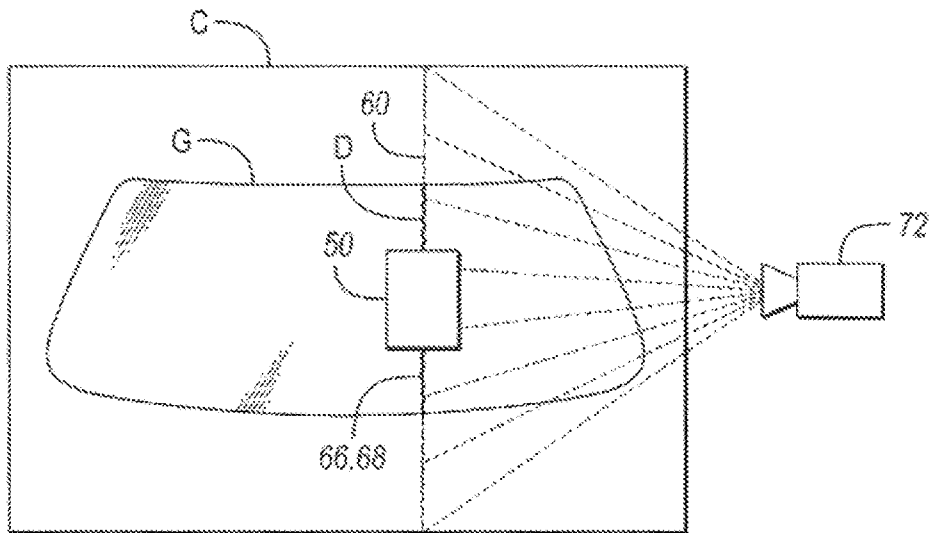
FIG. 6



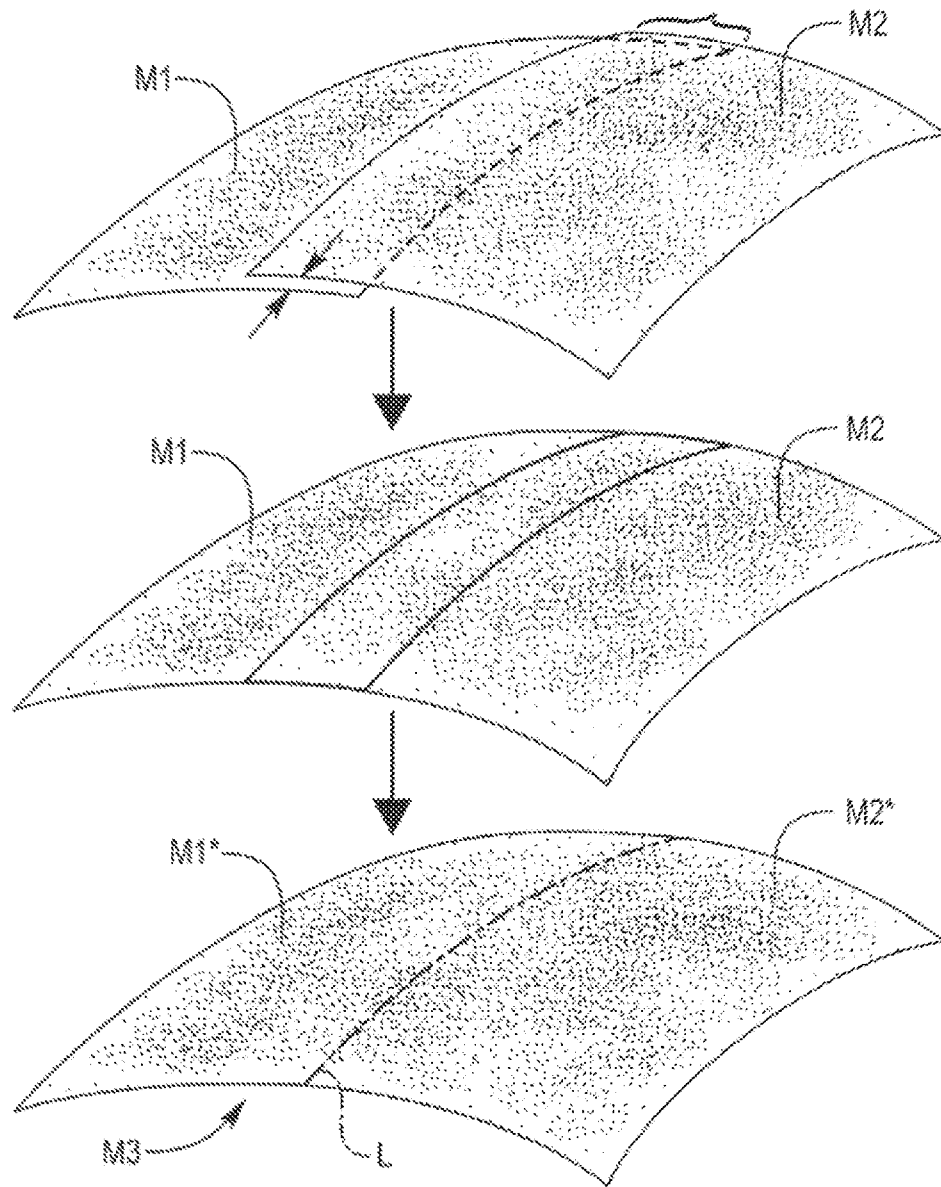
**FIG. 7**



**FIG. 8A**



**FIG. 8B**



**FIG. 9**

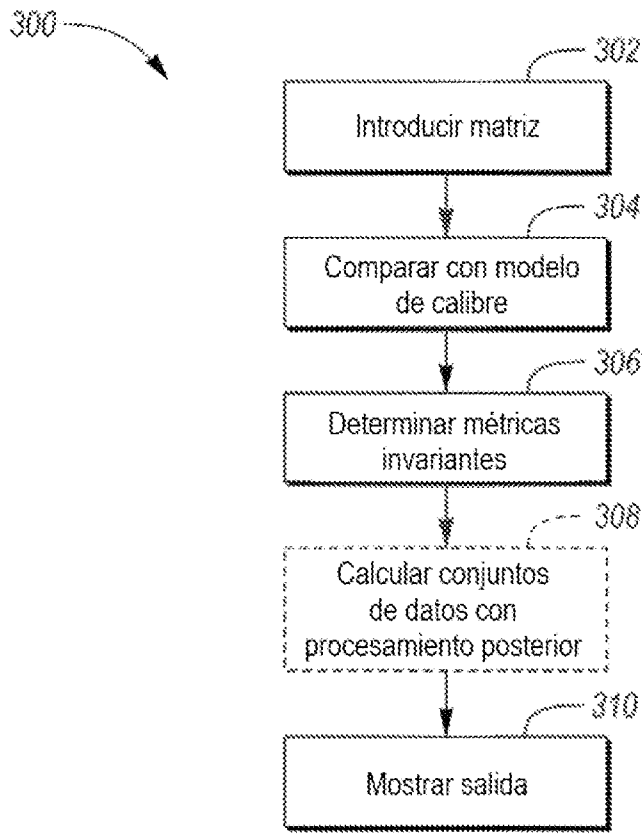


FIG. 10

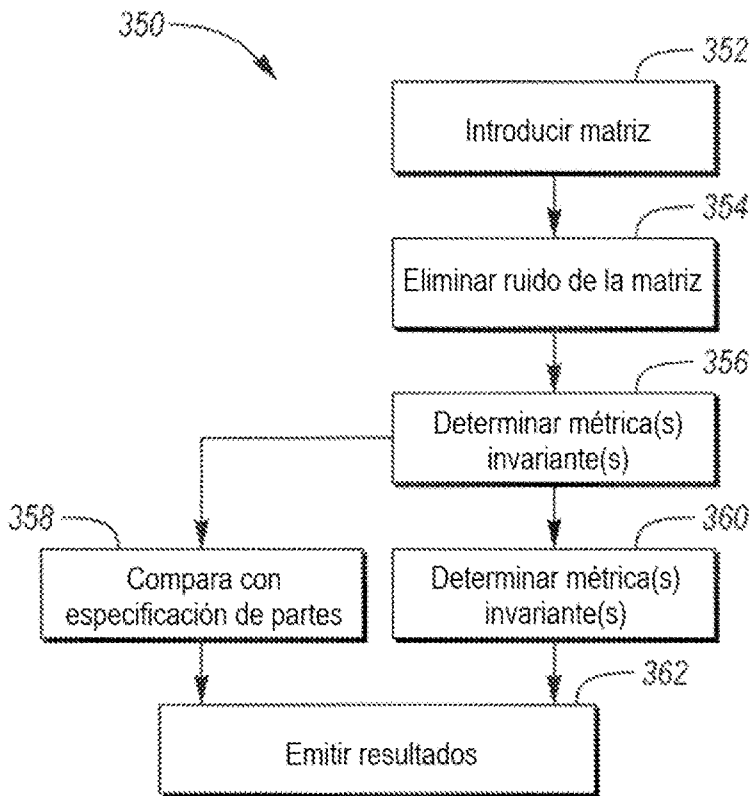


FIG. 12

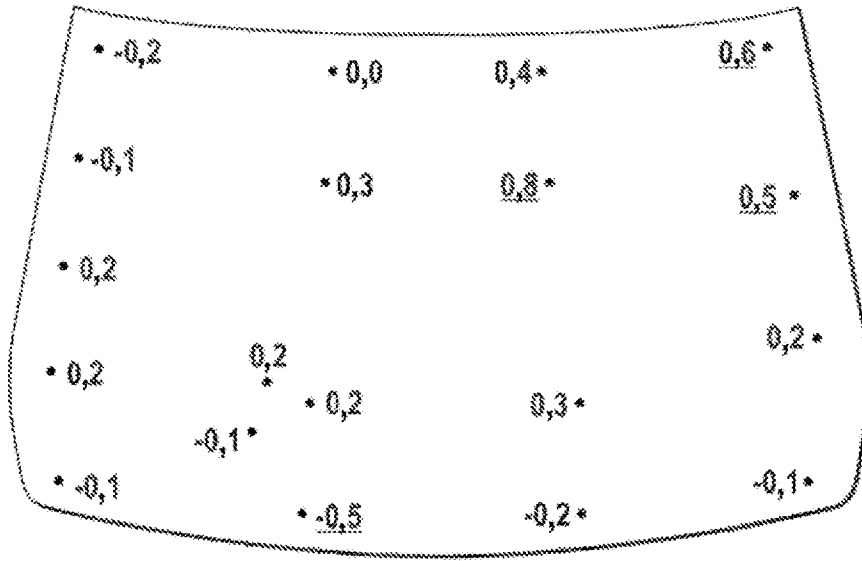


FIG. 11A

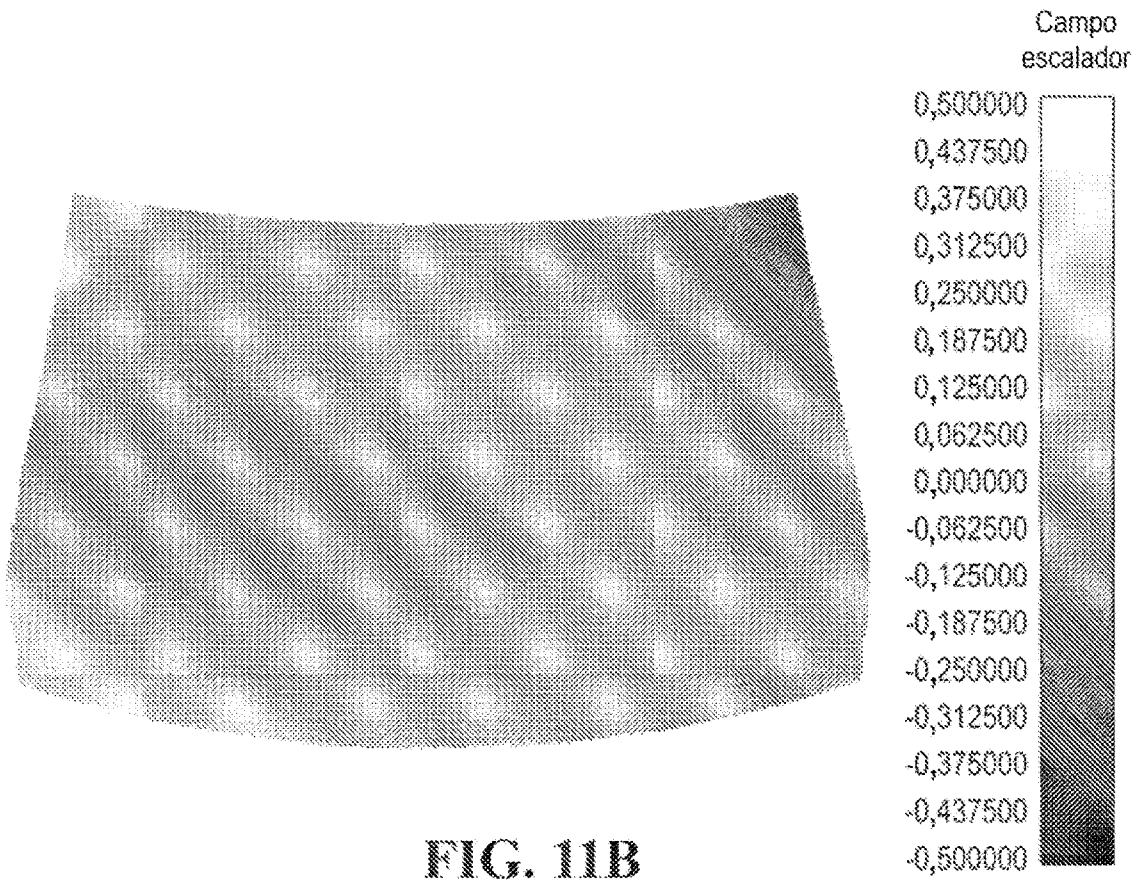
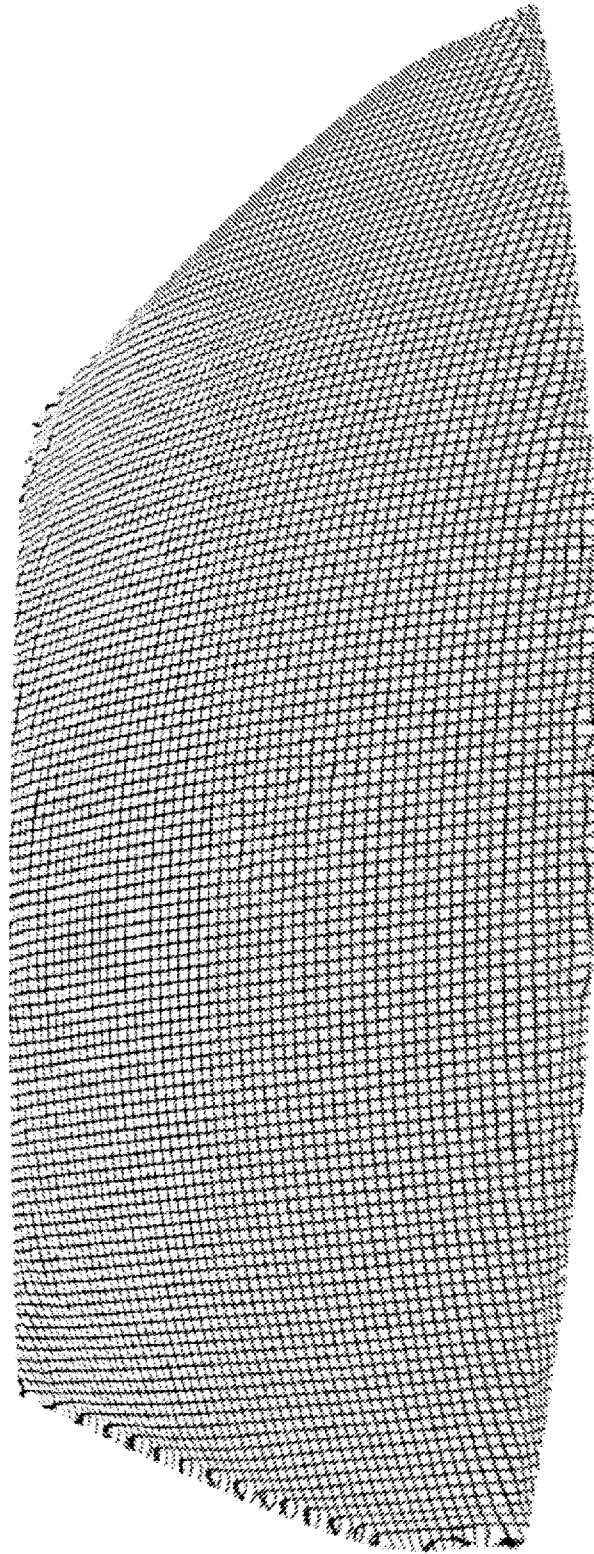


FIG. 11B



**FIG. 13**