



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0919419-3 B1**



**(22) Data do Depósito: 29/09/2009**

**(45) Data de Concessão: 23/07/2019**

**(54) Título:** DISPOSITIVO DE ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DE UM SUBSTRATO

**(51) Int.Cl.:** G01B 11/25; G01N 21/896; G01N 21/958.

**(52) CPC:** G01B 11/2513; G01N 21/896; G01N 21/958; G01N 2021/9586.

**(30) Prioridade Unionista:** 01/10/2008 FR 0856628.

**(73) Titular(es):** SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE.

**(72) Inventor(es):** MICHEL PICHON; FRANC DAVENNE.

**(86) Pedido PCT:** PCT FR2009051838 de 29/09/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/037958 de 08/04/2010

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 25/03/2011

**(57) Resumo:** DISPOSITIVO DE ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DE UM SUBSTRATO. A presente invenção se refere a um dispositivo de análise ( 1) de uma superfície transparente ou especular de um substrato (2) que compreende uma mira (10) disposta em frente à superfície do substrato a medir, uma câmera (3) para captar pelo menos uma imagem da mira deformada pelo substrato medido, um sistema de iluminação ( 4) da mira, meios de tratamento ( 5) da imagem e de análise digital que são ligados à câmera (3). De acordo com a invenção, a câmera (3) é matricial, a mira é disposta sobre um suporte ( 11) de forma oblonga, e é bidirecional sendo para isso constituída por um primeiro motivo (1 Oa) que se estende de acordo com uma primeira direção e de acordo com a menor extensão do suporte, esse primeiro motivo sendo periódico transversalmente à menor extensão, e por um segundo motivo ( 1 Ob) que se estende de acordo com uma segunda direção, perpendicularmente ao primeiro motivo e de acordo com a maior extensão do suporte.

**“DISPOSITIVO DE ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DE UM SUBSTRATO”**

**[0001]** A invenção se refere a um dispositivo de análise da superfície especular ou transparente de um substrato, que permite notadamente a detecção de defeitos ópticos ou na superfície desse substrato, ou em sua massa.

**[0002]** De uma maneira geral, a indústria procura cada vez mais controlar a qualidade dos produtos que ela fabrica. Em especial, tem-se necessidade agora de avaliar em permanência o nível da qualidade óptica das vidraças.

**[0003]** É possível notadamente desejar selecionar o vidro plano que sai das linhas de produção para destinar o mesmo a um uso especial como por exemplo, um espelho destinado a aplicações científicas, uma vidraça laminada destinada à construção, uma vidraça automobilística tal como um pára-brisas destinado notadamente a ser bastante inclinado, ou um vidro plano fino destinado a uma tela de visualização.

**[0004]** De uma maneira geral, os pára-brisas dos automóveis modernos são especialmente acompanhados no plano de sua qualidade óptica. Esse critério toca de fato o problema da segurança da condução dos automóveis. De maneira que, a forma dos pára-brisas, sua inclinação, as matérias de fabricação – vidros muito finos ou mesmo polímeros transparentes – necessitam de um controle muito cuidadoso da qualidade óptica, controle que é preciso com frequência exercer a 100 %.

**[0005]** As vidraças laminadas para o automóvel necessitam de duas folhas de vidro de espessura reduzida em relação a uma vidraça monolítica temperada. A realização de tais folhas de vidro de espessura reduzida é delicada e pode levar a defeitos ópticos na superfície ou na massa. Esses defeitos podem se tornar muito incômodos depois da união para formar uma vidraça laminada pois eles geram fenômenos de distorção óptica, acentuados devido à união com uma segunda folha de vidro. A presença de tais defeitos ópticos leva na maior parte das vezes a colocar as vidraças de lado pois elas são inaceitáveis. As vidraças já estando laminadas, sua reciclagem é difícil e os custos de produção se tornam caros demais.

**[0006]** É, portanto, também desejado proceder a uma detecção de tais defeitos o mais rapidamente possível na cadeia de fabricação e notadamente antes da

realização da união de uma vidraça laminada.

**[0007]** Os defeitos ópticos são com frequência defeitos em duas dimensões, pode se tratar de defeitos de planura do substrato por exemplo, ou defeitos alojados na massa do substrato ligados por exemplo à composição do vidro, esses defeitos gerando um desvio da luz que atravessa o substrato.

**[0008]** Também são encontrados defeitos de acordo com uma só direção tais como as ondas float que correspondem à assinatura do processo de conformação na linha float, a amplitude desses defeitos sendo maior ou menor de acordo com a qualidade da conformação.

**[0009]** As técnicas habitualmente utilizadas para detectar e avaliar os defeitos consistem em observar a vidraça laminada em transmissão ou em reflexão de acordo com técnicas normalizadas, tais como por uma observação visual depois de união da vidraça laminada e fora da linha de fabricação. Como explicado precedentemente, um tal controle é tardio e prejudica notadamente os custos de produção.

**[0010]** Existem por outro lado no comércio técnicas de controle de superfície especular e transparente, que permitem detectar defeitos de superfície por medições em reflexão ou em transmissão da vidraça que reflete o motivo deformado de uma mira.

**[0011]** A patente americana US 6 508 967 descreve um método de detecção de defeitos ópticos fundada na análise das deformações de uma mira de duas dimensões observada em transmissão. Em caso de defeitos, a imagem da mira é deformada, e a deformação de um grande número de pontos da imagem é medida para deduzir daí por calibração a potência óptica de acordo com duas direções, cujos valores são representativos da presença ou não e da importância dos ditos defeitos. Esse documento insiste na necessidade de um acoplamento estudado da mira em relação à câmera encarregada da aquisição das imagens em transmissão. Cada linha da mira deve corresponder a um número inteiro de linhas de pixels da câmera. No entanto, o método dessa patente americana impõe conhecer ou adaptar as características da mira (suas dimensões, suas formas, sua posição) para

assegurar um alinhamento idôneo do motivo a mira com os pixels da câmera, o que restritivo, e raramente possível em meio industrial (má regularidade da mira, dilatação da mira em função das variações de temperatura durante o dia, vibrações do solo...).

**[0012]** A patente US 6 208 412 propõe um outro método de medição por observação em transmissão de uma mira em uma dimensão. O dispositivo de medição desse documento utiliza um projetor para gerar uma mira formando para isso, em uma tela de grandes dimensões, sempre substancialmente superiores às dimensões da vidraça a medir (tipicamente 2 x 3 m), um motivo periódico unidirecional fixo ou variável no tempo, assim como uma câmera que visualiza a mira através da vidraça a analisar.

**[0013]** Esse dispositivo descrito nesse último documento, se ele pode dar satisfação no laboratório ou na borda da linha de produção para um controle por retirada de amostra, não pode em contrapartida ser utilizado para um controle em linha que deve ser exaustivo sem poder parar as vidraças momentaneamente.

**[0014]** A integração de um projetor e de uma tela de grandes dimensões em uma linha industrial é também raramente possível ou desejável, por falta de espaço. Por outro lado, a imagem produzida por um projetor é em geral pouco luminosa. É nesse caso indispensável proteger a tela da luz parasita ambiente cobrindo-se a mesma amplamente com uma capota e mesmo pintando-se o solo de preto.

**[0015]** Por outro lado, para medir defeitos em duas direções do espaço, a mira sendo unidirecional, o dispositivo de medição necessita adquirir uma primeira imagem com a mira orientada em uma direção dada, e depois uma segunda imagem com a mira orientada em uma direção perpendicular, que impõe parar a vidraça durante a tomada de imagem, o que não pode ser considerado em uma linha industrial, tal como para o automóvel, cujo sistema de transporte das vidraças não permite uma paralisação temporária.

**[0016]** Finalmente, o método de medição descrito é aquele bem conhecido de “phase-shifting” que consiste, com a paralisação da vidraça, em projetar sucessivamente várias miras, tipicamente quatro, que são deslocados no espaço, e

em adquirir uma imagem para cada posição de mira e repetindo-se essas operações uma segunda vez para a outra direção de medição. Essa série de aquisições é portanto bastante consumidora de tempo e aumenta na mesma proporção o tempo de paralisação da vidraça.

**[0017]** Consequentemente, o dispositivo descrito nessa patente US 6 208 412 e seu processo de medição geram tempos de tratamento das medições longos demais se considerando prazos muito curtos que são impostos em linhas industriais para toma a decisão de conservar ou de rejeitar uma vidraça.

**[0018]** A requerente se deu assim como missão a concepção de um dispositivo de análise da qualidade óptica de um substrato especular ou transparente, que não apresenta os inconvenientes das técnicas precedentemente citadas e que permite detectar e quantificar os defeitos desse substrato em transmissão ou em reflexão, de modo fácil, preciso, repetitivo que responde para isso a todas as restrições de uma utilização em uma linha industrial para um controle exaustivo das vidraças, e que assegura assim em especial a redução dos custos de controle de conformidade de vidraças em uma linha de produção. Esse dispositivo inovador deve permitir por outro lado utilizar processos de medição que levam a otimizar o tempo de análise.

**[0019]** De acordo com a invenção, o dispositivo de análise de uma superfície transparente ou especular de um substrato compreende uma mira disposta em frente à superfície do substrato a medir e disposta sobre um suporte de duas dimensões de menor e maior extensões, uma câmera para captar pelo menos uma imagem da mira deformada pelo substrato medido, um sistema de iluminação da mira, e meios de tratamento da imagem e de análise digital que são ligados à câmera, e é caracterizado pelo fato de que o suporte tem uma forma oblonga, a mira é bidirecional sendo para isso constituída por um primeiro motivo que se estende de acordo com uma primeira direção e de acordo com a menor extensão do suporte, esse primeiro motivo sendo periódico transversalmente à menor extensão, e por um segundo motivo que se estende de acordo com uma segunda direção, perpendicularmente ao primeiro motivo e de acordo com a maior extensão do suporte, e pelo fato de que a câmera é matricial.

**[0020]** É lembrado que uma câmera matricial é composta por um sensor que forma uma matriz de pixels.

**[0021]** A forma oblonga do suporte da mira acompanhada pela utilização de uma câmera matricial permite bastante vantajosamente reduzir a zona ocupada pela mira e limitar assim o local necessário para o dispositivo em uma linha de produção. Por outro lado, a utilização de uma mira que apresenta dois motivos que se estendem em duas direções diferentes permite uma medição direta dos defeitos que podem ser orientados no substrato de acordo com duas direções do espaço.

**[0022]** O tamanho dos motivos da mira e a posição da mira, do vidro e da câmera devem naturalmente ser adaptados a cada tipo de medição, que pode tanto ser o controle de vidraças com dimensões 2 m por 2 m (ou mais) ou espelhos solares, quanto o controle de amostras vítreas que não excedem um tamanho de 5 cm por 5 cm.

**[0023]** De acordo com uma característica, o primeiro motivo e o segundo motivo são distintos, na proximidade imediata um do outro e não se cruzam.

**[0024]** De acordo com uma outra característica, o primeiro motivo é composto por uma sucessão alternativa de linhas claras e escuras.

**[0025]** De acordo com uma outra característica, o segundo motivo é formado por uma sucessão de linhas oblongas claras e escuras das quais a maior dimensão se estende de acordo com a maior extensão do suporte.

**[0026]** De acordo com uma outra característica, o segundo motivo é formado por uma única linha oblonga da qual a maior dimensão se estende de acordo com a maior extensão do suporte, essa linha apresentando uma cor contrastada em relação ao fundo da mira.

**[0027]** O segundo motivo que pode ser da ordem do milímetro para um único traço ou de alguns milímetros para uma sucessão de alguns traços, implica consequentemente uma minimização da mira.

**[0028]** A largura dos elementos (traços ou linhas por exemplo) que formam cada motivo é de fato adaptada às condições de medições e da amplitude dos defeitos. De preferência, o primeiro motivo e/ou o segundo motivo compreende

(compreendem) pelo menos uma linha que apresenta, de acordo com sua menor extensão, uma largura da ordem de 1 mm a 1 cm. Para medições em reflexão em espelhos solares, os traços do motivo são por exemplo da ordem de 1 cm de largura, enquanto que para medições em transmissão em vidraças, os traços são da ordem do milímetro.

**[0029]** Por outro lado, se o suporte da mira é constituído por um painel retro-iluminado pelo sistema de iluminação, o painel de sustentação da mira pode nesse caso exceder 15 cm de largura, o que reduz portanto consideravelmente as dimensões úteis para a implantação do dispositivo da invenção em relação àqueles existentes.

**[0030]** Como painel retro-iluminado, o painel é, ao nível de sua face em frente ao substrato a medir, translúcido e difusor. Trata-se por exemplo de uma placa de plástico branco.

**[0031]** Vantajosamente, e em especial no caso de uma retro-iluminação, o sistema de iluminação é formado por um grande número de diodos eletroluminescentes.

**[0032]** Para assegurar uma medição em transmissão, o substrato é disposto entre a mira e a câmara, enquanto que o substrato é disposto em frente à mira e à câmara para uma medição em reflexão, a câmara estando no mesmo plano que a mira.

**[0033]** As dimensões reduzidas da mira em relação ao substrato que deve ser medido em seu conjunto impõem que mira ou o substrato sejam aptos para se deslocarem por ocasião da medida.

**[0034]** Assim, em relação à arte anterior para medições em produtos de grandes dimensões tais como as vidraças, a mira não precisa ser tão extensa nas duas dimensões, e mesmo maior, do que as vidraças. Basta de acordo com a invenção fornecer uma mira oblonga, da qual a maior extensão corresponde no máximo à altura do objeto a medir e da qual a menor extensão é extremamente reduzida em relação à outra dimensão do objeto, combinada a uma câmara matricial.

**[0035]** Para responder à necessidade de realizar simultaneamente uma análise

dos defeitos de acordo com duas direções (vertical e horizontal), o dispositivo utiliza uma mira retro-iluminada dupla, uma constituída por uma única linha ou por um número bastante limitado de linhas verticais, a outra constituída por uma série de linhas horizontais muito curtas (tipicamente 5 cm) e regularmente espaçadas, e uma câmara matricial da qual só serão retiradas, depois de aquisição da imagem as colunas de pixels associadas a cada uma das duas miras.

**[0036]** Essa técnica se aplica tanto para as medições em transmissão quanto para as medições em reflexão.

**[0037]** A invenção se refere também a um processo de análise de uma superfície transparente ou especular de um substrato com o auxílio do dispositivo da invenção, o substrato ou a mira estando em deslocamento um em relação ao outro de acordo com um só sentido de deslocamento, caracterizado pelo fato de que ele consiste em:

- captar com o auxílio da câmara matricial um grande número de imagens em transmissão ou em reflexão da mira iluminada;
- extrair espacialmente de maneira periódica, por um lado, uma coluna de pixels associada ao primeiro motivo periódico, e por outro lado, uma pluralidade de colunas de pixels associadas ao segundo motivo;
- empilhar na memória as colunas de pixels para cada um dos motivos a fim de reconstituir a imagem do conjunto do substrato;
- analisar por tratamento digital a imagem reconstituída para deduzir daí a posição dos defeitos e para quantificar os mesmos.

**[0038]** Em seu princípio o processo proposto consiste não mais em adquirir através de um substrato parado uma imagem única de uma mira multilinhas projetada em uma tela de grandes dimensões, mas sim em adquirir uma série de várias imagens de uma mira bastante estreita vista através ou em reflexão de um substrato em translação e em agrupar essas imagens parciais para reconstituir a imagem completa da mira vista através ou refletida pelo substrato.

**[0039]** O tratamento digital da imagem é em seguida efetuado de maneira conhecida. Trata-se por exemplo de extrair fases locais da imagem e de deduzir daí



variações de fases que permitem deduzir a posição do defeito mas também quantificar os mesmos graças a coeficientes de aferição ou de deformação com os quais é possível fornecer uma grandeza dimensionada da deformação ou uma potência óptica representativa do defeito.

**[0040]** Deve ser notado que o tratamento digital de extração das fases pode ser realizado de diferentes maneiras, graças ao método por transformada de Fourier, ou ao método por pesquisa de contorno, ou ainda de maneira original ao método por transformada em ondas pequenas.

**[0041]** É revelado que o processo de acordo com a invenção leva a resultados satisfatórios em linhas industriais sem modificação dessas últimas, por custos reduzidos e permite um controle muito mais rápido do que na arte anterior.

**[0042]** O dispositivo da invenção e o processo de execução podem ser aplicados a substratos transparentes tais como vidraças monolíticas ou laminadas, planas ou recurvadas, de todas as dimensões para diversas utilizações (construção, automóvel, aeronáutica, ferroviária) ou tais como espelhos ou telas de visualizações. Em especial o dispositivo e o processo podem ser aplicados em transmissão a pára-brisas automobilísticos, vidros laterais, pára-brisas traseiros aquecedores, vidraças planas destinadas às aplicações de construção ou às vidraças especiais destinadas às aplicações eletrônicas (telas de plasma ou LCD, ...) e a qualquer outro substrato transparente. Em reflexão o dispositivo pode ser utilizado para qualificar a qualidade óptica de vidro plano, por exemplo em tempo real na saída de banho float, ou de vidro recurvado na saída de forno de têmpera por exemplo, de espelhos solares, etc...

**[0043]** A presente invenção é agora descrita com o auxílio de exemplos unicamente ilustrativos e de nenhuma forma limitativos do alcance da invenção, e a partir das ilustrações anexas, nas quais:

- A figura 1 representa uma vista esquemática em corte de um dispositivo de análise de acordo com a invenção para uma medição em transmissão;

- A figura 2 representa uma vista esquemática em corte de um dispositivo de análise de acordo com a invenção para uma medição em reflexão;

- A figura 3 ilustra um exemplo de mira de acordo com a invenção;

**[0044]** - A figura 4 ilustra uma imagem da mira registrada pela câmera.

**[0045]** As figuras não estão na escala para facilitar a leitura das mesmas.

**[0046]** O dispositivo 1 ilustrado nas figuras 1 e 2 permite analisar por transmissão e respectivamente por reflexão os defeitos de um substrato 2 transparente, tal como uma vidraça. O dispositivo compreende uma mira 10, meios de captação de imagem 3 que são uma câmera matricial, um sistema de iluminação 4 da mira, e meios adaptados de tratamento e de cálculo 5.

**[0047]** A mira 10 é formada sobre uma face de um painel de sustentação 11, em frente ao substrato a medir. Ela será melhor descrita ulteriormente.

**[0048]** Em transmissão (figura 1), o substrato 2 transparente é disposto entre a mira 10 e a câmera 3, a objetiva da câmera sendo dirigida para o substrato.

**[0049]** Em reflexão (figura 2), o substrato 2 de superfície especular é disposto diante da mira 10 e da câmera 3, a objetiva da câmera estando no mesmo plano que aquele da mira e estando apontada na direção da superfície do substrato. Se um ângulo de observação deve ser imposto a fim de se posicionar nas condições de utilização final do produto a medir, por exemplo uma vidraça utilizada de maneira inclinada como pára-brisa de veículo, o ângulo da câmera em relação ao plano de translação do substrato corresponde ao ângulo imposto da mira em relação a esse plano de translação da vidraça.

**[0050]** O sistema de iluminação 4 pode ser um sistema de retro-iluminação quando o painel de sustentação 11 é translúcido, tal como uma placa de plástico branco. De preferência, o sistema de iluminação 4 é nesse caso constituído por um grande número de diodos eletroluminescentes que são dispostos na parte de trás do painel translúcido.

**[0051]** Em variante, quando o painel de sustentação 11 é opção, o sistema de iluminação 4 é formado por uma luz disposta na parte da frente da mira, por exemplo um spot orientado para iluminar a face dianteira do painel que leva a mira (não ilustrado).

**[0052]** A câmera 3 é matricial; ela gera tramas de tomadas de imagem que, por

tratamento digital, são concatenadas para formar uma imagem global do substrato. A mira tendo pequenas dimensões em relação ao substrato, como será visto mais adiante, o substrato 2 ou a mira 10 é apto(a) para se deslocar em translação um em relação ao outro para assegurar o número necessário de tomadas de imagens no conjunto do substrato. A frequência de disparo da câmera para cada tomada de imagem é submetida à velocidade de deslocamento.

**[0053]** A câmera é posicionada a uma distância  $d$  adaptada de maneira a visualizar o conjunto da extensão do substrato que é transversal à direção de deslocamento do substrato ou da mira. Assim, se o deslocamento é feito em um plano horizontal, a câmera é disposta a fim de fotografar toda a vertical do substrato.

**[0054]** A câmera 3 poderia formar um ângulo em relação à vertical, que seria adaptado às condições de utilização final do substrato, por exemplo se o substrato é utilizado em seguida como pára-brisa de veículo e que apresenta, portanto, uma inclinação em relação ao plano vertical de visão do automobilista-observador.

**[0055]** A mira 10, tal como ilustrada na figura 3, é disposta em um suporte 11 de forma oblonga. Ela é bidirecional e constituída por um primeiro motivo 10a e por um segundo motivo 10b disposto na proximidade imediata mas sem recobrimento.

**[0056]** A mira de acordo com a invenção tem pequenas dimensões em relação ao substrato a medir. Por exemplo para medir uma vidraça de 1,5 m por 1,5 m, a mira se estende em 15 cm por 1,8 m para uma inclinação nula da vidraça. Para uma medição sob uma inclinação de  $45^\circ$  da vidraça (posição de condução para um pára-brisa), a altura será de 1,3 m.

**[0057]** O primeiro motivo 10a da mira se estende de acordo com uma primeira direção e de acordo com a menor extensão do suporte, sendo para isso periódico transversalmente à menor extensão, quer dizer de acordo com a maior extensão do suporte. O segundo motivo 10b se estende de acordo com uma segunda direção, perpendicularmente ao primeiro motivo e de acordo com a maior extensão da mira.

**[0058]** O fato de que a mira apresenta dois motivos distintos na proximidade imediata um do outro, que não se cruzam e que são perpendiculares entre si permite diagnosticar com precisão o local do defeito e quantificar o mesmo com minúcia.

Essa dissociação dos motivos permite notadamente dispor de um motivo de largura muito estreita tal como uma linha vertical escura de 2 mm.

**[0059]** O primeiro motivo 10a é composto por uma sucessão alternativa de linhas claras e escuras.

**[0060]** O segundo motivo 10b é preferencialmente formado por um número limitado de linhas contrastadas que se alternam, mas cujo conjunto permanece de largura reduzida. Assim, o segundo motivo é por exemplo formado por uma dezena de linhas escuras alternadas com uma dezena de linhas claras. As linhas escuras e as linhas claras têm por exemplo uma largura compreendida entre 1 mm e 2 mm em toda a altura da mira.

**[0061]** Em variante, o segundo motivo pode compreender uma única linha oblonga, por exemplo de 1 mm de largura na altura da mira, essa linha sendo contrastada em relação ao fundo da mira.

**[0062]** Os meios de tratamento e de cálculo 5 são conectados à câmera para elaborar os tratamentos e análises matemáticas que seguem as tomadas de imagem sucessivas.

**[0063]** A figura 4 ilustra uma imagem registrada pela câmera, a imagem da mira sendo deformada pela presença de defeitos em duas direções. A utilização do dispositivo, o substrato ou a mira estando em deslocamento um em relação ao outro de acordo com um só sentido de deslocamento, consiste em:

- captar com o auxílio da câmera matricial 3 que apresenta um grande número de pixels 30, um grande número de imagens em transmissão ou em reflexão da mira iluminada;
- extrair espacialmente de maneira periódica, por um lado, uma coluna 31 de pixels associada ao primeiro motivo periódico, e por outro lado, uma pluralidade de colunas 32 de pixels associadas ao segundo motivo;
- empilhar na memória as colunas de pixels para cada um dos motivos a fim de reconstituir a imagem do conjunto do substrato;
- analisar por tratamento digital a imagem reconstituída para deduzir daí a posição dos defeitos e avaliar a amplitude dos mesmos.

**[0064]** A aquisição de uma série de  $n$  imagens da linha que forma por exemplo o segundo motivo vertical, por ocasião do deslocamento horizontal do substrato diante da mira permite reconstituir, por simples concatenação de imagens, uma imagem única equivalente àquela que se obteria observando-se em uma só vez a imagem de uma mira de  $n$  linhas colocadas atrás do substrato. A requerente coloca em evidência que esse tipo de mira é especialmente interessante devido a seu volume limitado.

**[0065]** Uma mira é um sinal espacialmente periódico. A análise matemática consiste de maneira conhecida em caracterizar esse sinal por sua fase local módulo  $2\pi$ , ao nível de um pixel da câmera, e define-se assim uma cartografia em uma dimensão das fases (que corresponde ao conjunto dos pixels) de cada uma das imagens vistas por transmissão ou por reflexão, chamada mapa das fases.

**[0066]** Essa extração do mapa de fases módulo  $2\pi$  pode ser obtida de maneira diferentes.

**[0067]** Um dos métodos bem conhecido é o método por transformada de Fourier. Esse método é correntemente descrito na literatura. Ele se decompõe assim:

- aquisição de uma imagem da mira deformada pela amostra;
- cálculo da transformada de Fourier da imagem, coluna por coluna de pixels (transformada em uma dimensão);
- pesquisa automática do pico característico da frequência fundamental  $f_0$  da mira;
- filtragem passa-faixa com o auxílio de um filtro passa-faixa gaussiano ou outro, dessa frequência fundamental  $f_0$ . Essa filtragem tem como efeito eliminar o fundo contínuo da imagem da mira e os harmônicos do sinal da mira;
- decalagem do espectro filtrado de  $f_0$  a fim de levar de volta o pico característico da mira imagem à frequência 0. Essa decalagem faz desaparecer a trama da mira e faz subsistir só as deformações da mira;
- cálculo da transformada de Fourier inversa da imagem, coluna por coluna de pixels. A imagem obtida faz aparecer só as deformações. Essa imagem é uma imagem complexa que compreende uma parte real  $R$  e uma parte imaginária;

- cálculo da fase local ao nível de um pixel, módulo  $2\pi$ , da imagem. Essa fase é obtida calculando-se, pixel por pixel, o valor de  $\arctg(I/R)$ .

**[0068]** Por outro lado, a requerente colocou em evidência a utilização vantajosa de um outro método de cálculo das fases locais, um método dito de cálculo “por transformada em pequenas ondas”. Esse tipo de cálculo utilizado de maneira conhecida no tratamento do sinal para outras aplicações se revelou especialmente interessante na aplicação da invenção. De fato, contrariamente à transformada de Fourier que não é um método de análise local das frequências contidas na imagem da mira, a transformada em pequenas ondas permite analisar simultaneamente a posição e a frequência dos sinais. Isso se traduz por uma redução das perturbações nas bordas das imagens (nas bordas do substrato) e por uma melhor detecção dos defeitos de pequenas dimensões que são com frequência “esmagados” por ocasião da fase de filtragem executada com a transformada de Fourier.

**[0069]** A técnica por transformada em pequena sondas consiste em várias etapas;

- aquisição de uma imagem da mira deformada pelo substrato;
- cálculo dos coeficientes de pequena onda  $W(a, b)$  a partir da imagem e para diferentes valores do parâmetro de escala  $a$  e do parâmetro de translação  $b$ , coluna por coluna dos pixels (transformada em uma dimensão). Esses valores são cuidadosamente escolhidos em função do passo da mira e da resolução desejada. Obtém-se um escalograma:

- para cada valor  $b$ , pesquisa da escala  $a_0$  que maximiza o módulo  $|W(a, b)|$ ;
- cálculo do argumento de  $W(a_0, b)$  que dá ao nível de um pixel a fase local procurada módulo  $2\pi$ ;
- integração ou desdobramento do mapa das fases módulo  $2\pi$  para obter o mapa das fases absoluto.

**[0070]** Uma vez que a etapa de cálculo da fase módulo  $2\pi$  da imagem foi efetuada para cada pixel por um ou outro método, deduz-se daí facilmente o mapa das derivadas da fase, chamado ainda mapa dos gradientes. Esse cálculo do

gradiente de fase da imagem é obtido por simples diferença da fase pixel a pixel, os saltos de fase de  $2\pi$  sendo facilmente eliminados.

**[0071]** Depois de dedução do mapa das fases da imagem completa reconstituída a partir da série de imagens tomadas pela câmera, é nesse caso possível ligar o valor da derivada da fase em cada ponto da imagem à potência óptica PI dos defeitos da vidraça na origem desses variações de fase local por uma calibração prévia do sistema com o auxílio de lentes cilíndricas padrão (em transmissão) ou de espelhos cilíndricos padrão (em reflexão), ou então com o auxílio de um modelo de cálculo óptico que permite calcular a potência óptica PI a partir da derivada dessa fase. A avaliação da potência óptica e sua comparação com um valor de limite permite quantificar o defeito.

**[0072]** Em variante, a derivada das fases poderá de preferência ser comparada com uma largura local de aferição que fornecerá uma largura de deformação representativa também da amplidão do defeito.

**[0073]** A quantificação do defeito permite assim estabelecer a qualidade óptica de uma vidraça em condições reais de utilização diretamente em linha de fabricação.

**[0074]** Consequentemente, o processo de acordo com a invenção de análise do substrato consiste:

- em captar com o auxílio de uma câmera matricial uma série de imagens em transmissão ou em reflexão de uma mira estreita Supla sobre o dito substrato, sem a necessidade, como na arte anterior, de um acoplamento estudado da mira em relação à câmera ou da utilização de um projetor e de uma tela de grandes dimensões.

- em extrair dessa imagem matricial as algumas colunas de pixels (por exemplo uma para a mira horizontal e cinco para a mira vertical) associadas à mira dupla,

- em empilhar em duas memórias distintas (uma dedicada à mira horizontal e a outra à mira vertical) de uma unidade de tratamento essas colunas de pixels a fim de reconstituir depois de deslocamento completo da vidraça diante da mira (ou inversamente) uma imagem completa de cada uma das miras vista através

da vidraça,

- em extrair por tratamento digital fases locais, em calcular a derivada dessas fases, e deduzir por cálculo matemático a presença de um defeito (de preferência de acordo com um cálculo da potência óptica e sua comparação com um valor de limite).

**[0075]** Finalmente, o dispositivo de medição proposto permite um controle exaustivo das vidraças presentes em uma linha industrial, sem retirada da vidraça, sem paralisação nem desaceleração da vidraça, sem modificação de sua posição no sistema de transporte, sem utilização de um sistema de projeção de duas miras. Ele cria uma área de utilização reduzida em relação a dimensões da mira que são nem inferiores às aquelas existentes; tipicamente o painel de sustentação da mira da invenção tem 1,8 metros de altura por 15 cm de largura. Por outro lado, a invenção permite limitar o número de aquisições para uma análise bidirecional dos defeitos.



## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de análise (1) de uma superfície transparente ou especular de um substrato (2) que compreende uma mira (10) disposta em frente à superfície do substrato a medir e disposta sobre um suporte (11) de menor e maior extensões, uma câmera (3) para captar pelo menos uma imagem da mira deformada pelo substrato medido, um sistema de iluminação (4) da mira, e meios de tratamento (5) da imagem e de análise digital que são ligados à câmera (3), caracterizado pelo fato de que o suporte (11) tem uma forma oblonga, a mira é bidirecional sendo para isso constituída por um primeiro motivo (10a) que se estende de acordo com uma primeira direção e de acordo com a menor extensão do suporte, esse primeiro motivo sendo periódico transversalmente à menor extensão, e por um segundo motivo (10b) que se estende de acordo com uma segunda direção, perpendicularmente ao primeiro motivo e de acordo com a maior extensão do suporte, e pelo fato de que a câmera é matricial, o primeiro motivo e o segundo motivo são distintos, na proximidade imediata um do outro e não se cruzam.

2. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o segundo motivo é formado por uma sucessão de linhas oblongas claras e escuras das quais a maior dimensão se estende de acordo com a maior extensão do suporte.

3. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o segundo motivo é formado por uma única linha oblonga da qual a maior dimensão se estende de acordo com a maior extensão do suporte, essa linha apresentando uma cor contrastada em relação ao fundo da mira.

4. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o primeiro motivo e/ou o segundo motivo compreende (compreendem) pelo menos uma linha que apresenta, de acordo com sua menor extensão, uma largura da ordem de 1 mm a 1 cm.

5. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o primeiro motivo é composto por uma sucessão alternativa de linhas claras e escuras.

6. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o suporte (11) da mira é constituído por um painel retro-iluminado pelo sistema de iluminação (4).

7. Dispositivo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o suporte é, ao nível de sua face em frente à vidraça a medir, translúcido e difusor.

8. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o sistema de iluminação (4) é formado por um grande número de diodos eletroluminescentes.

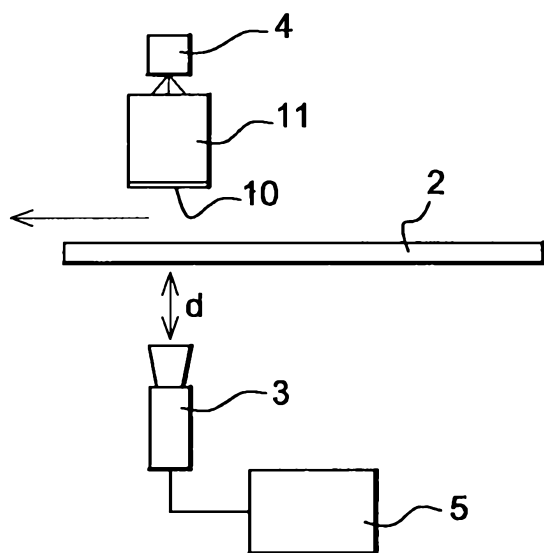
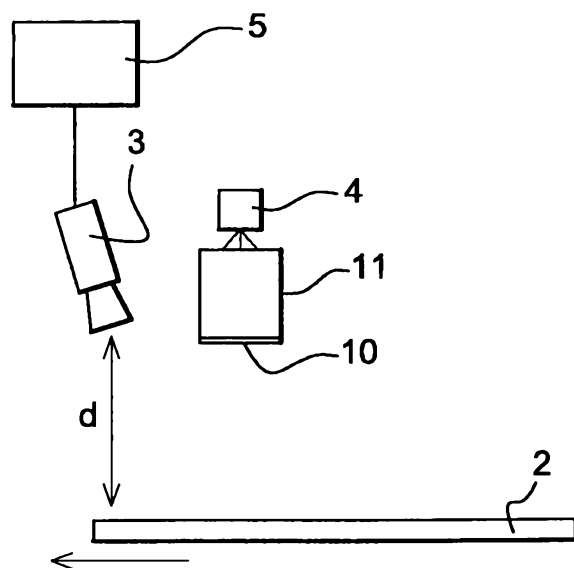
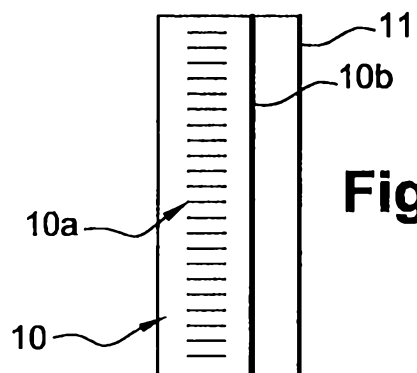
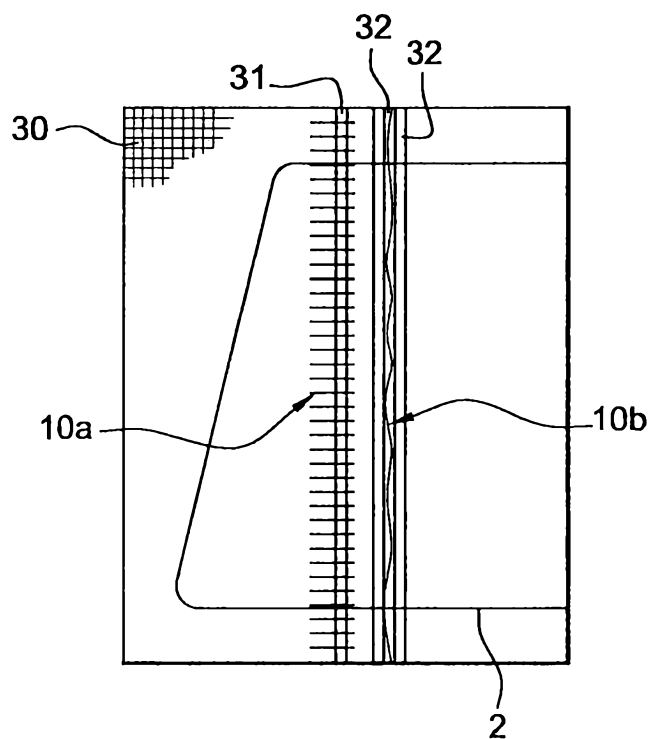
9. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que quando uma superfície transparente do substrato (2) é analisada, o substrato (2) é disposto entre a mira (10) e a câmera (3) para uma medição em transmissão, enquanto quando a superfície especular do substrato (2) é analisada, o substrato (2) é disposto em frente à mira (10) e à câmera (3) para uma medição em reflexão, a câmera estando no mesmo plano que a mira.

10. Dispositivo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a mira (10) ou o substrato (2) é apta(o) para se deslocar por ocasião da medição.

11. Processo de análise de uma superfície transparente ou especular de um substrato (2) com o auxílio do dispositivo tal como definido em qualquer uma das reivindicações precedentes e tal que o substrato (2) ou a mira (10) está em deslocamento um em relação ao outro de acordo com um só sentido de deslocamento, caracterizado pelo fato de que ele consiste em:

- captar com o auxílio da câmera matricial (3) um grande número de imagens em transmissão ou em reflexão da mira (10) iluminada;
- extrair espacialmente de maneira periódica com o auxílio da câmera, por um lado, uma coluna de pixels associada ao primeiro motivo periódico, e por outro lado, uma pluralidade de colunas de pixels associadas ao segundo motivo;
- empilhar na memória as colunas de pixels para cada um dos motivos a fim de reconstituir a imagem do conjunto do substrato;

- analisar por tratamento digital a imagem reconstituída para deduzir daí a posição dos defeitos e para quantificar os mesmos.

**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3****Fig. 4**