

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 936 605

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

08 56628

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 N 21/958 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 01.10.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.04.10 Bulletin 10/13.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE
Société anonyme — FR.

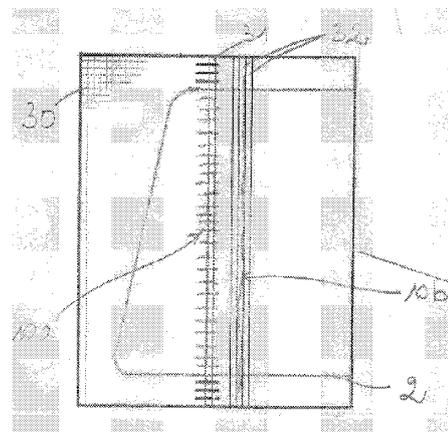
⑦2 Inventeur(s) : PICHON MICHEL et DAVENNE
FRANC.

⑦3 Titulaire(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE
Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET WAGRET.

⑤4 DISPOSITIF D'ANALYSE DE LA SURFACE D'UN SUBSTRAT.

⑤7 La présente invention concerne un dispositif d'analyse
(1) d'une surface transparente ou spéculaire d'un substrat
(2) comportant une mire (10) disposée en regard de la sur-
face du substrat à mesurer, une caméra (3) pour prendre au
moins une image de la mire déformée par le substrat mesuré,
un système d'éclairage (4) de la mire, des moyens de
traitement (5) de l'image et d'analyse numérique qui sont reliés
à la caméra (3). Selon l'invention, la caméra (3) est matri-
cielle, la mire (10) est agencée sur un support (11) de forme
oblongue, et est bidirectionnelle en étant constituée d'un
premier motif (10a) qui s'étend selon une première direction
et selon la plus petite extension du support, ce premier motif
étant périodique transversalement à la petite extension, et
d'un second motif (10b) qui s'étend selon une seconde di-
rection, perpendiculairement au premier motif et selon la
plus grande extension du support.



FR 2 936 605 - A1



DISPOSITIF D'ANALYSE DE LA SURFACE D'UN SUBSTRAT

L'invention concerne un dispositif d'analyse de la surface spéculaire ou transparente d'un substrat, permettant notamment la détection de défauts optiques soit à la surface de ce substrat, soit dans sa masse.

D'une manière générale, l'industrie cherche de plus en plus à maîtriser la qualité des produits qu'elle fabrique. En particulier, on a besoin à présent d'évaluer en permanence le niveau de la qualité optique des vitrages.

On peut notamment souhaiter sélectionner le verre plat sortant des lignes de production pour le destiner à un usage particulier comme par exemple, un miroir destiné à des applications scientifiques, un vitrage feuilleté destiné au bâtiment, un vitrage automobile tel qu'un pare-brise destiné notamment à être très incliné, ou un verre plat mince destiné à un écran de visualisation.

D'une manière générale, les pare-brise des automobiles modernes sont particulièrement suivis sur le plan de leur qualité optique. Ce critère touche en effet le problème de la sécurité de la conduite des automobiles. Aussi, la forme des pare-brise, leur inclinaison, les matières de fabrication - verres très minces ou même polymères transparents - nécessitent un contrôle très soigné de la qualité optique, contrôle qu'il faut souvent exercer à 100 %.

Les vitrages feuilletés pour l'automobile nécessitent deux feuilles de verre d'épaisseur réduite par rapport à un vitrage monolithique trempé. La réalisation de telles feuilles de verre d'épaisseur réduite est délicate et peut conduire à des défauts optiques en surface ou dans la masse. Ces défauts peuvent devenir très gênants après assemblage pour former un

5 vitrage feuilleté car ils engendrent des phénomènes de distorsion optique, accentués du fait de l'assemblage à une seconde feuille de verre. La présence de tels défauts optiques conduit le plus souvent à mettre les vitrages au rebut car inacceptables. Les vitrages étant déjà feuilletés, leur recyclage est difficile et les coûts de production deviennent trop chers.

10 Il est donc également souhaité de procéder à une détection de tels défauts le plus rapidement possible sur la chaîne de fabrication et notamment avant la réalisation de l'assemblage d'un vitrage feuilleté.

15 Les défauts optiques sont souvent des défauts en deux dimensions, il peut s'agir de défauts de planéité du substrat par exemple, ou des défauts logés dans la masse du substrat liés par exemple à la composition du verre, ces défauts engendrant une déviation de la lumière traversant le substrat.

20 On trouve également des défauts selon une seule direction tels les ondes float qui correspondent à la signature du processus de formage sur la ligne float, l'amplitude de ces défauts étant plus ou moins importante selon la qualité du formage.

25 Les techniques habituellement utilisées pour détecter et évaluer les défauts consistent à observer le vitrage feuilleté en transmission ou en réflexion selon des techniques normalisées, telles que par une observation visuelle après assemblage du vitrage feuilleté et en dehors de la ligne de fabrication. Comme expliqué précédemment, un tel contrôle est tardif et nuit notamment aux coûts de production.

30 Il existe par ailleurs dans le commerce des techniques de contrôle de surface spéculaire et transparente, qui permettent de détecter des défauts

de surface par des mesures en réflexion ou en transmission du vitrage reflétant le motif déformé d'une mire.

Le brevet américain US 6 509 967 décrit une méthode de détection de
5 défauts optiques fondée sur l'analyse des déformations d'une mire à deux dimensions observée en transmission. En cas de défauts, l'image de la mire est déformée, et la déformation d'une multitude de points de l'image est mesurée pour en déduire par calibration la puissance optique selon deux directions, dont les valeurs sont représentatives de la présence ou
10 non et de l'importance desdits défauts. Ce document insiste sur la nécessité d'un couplage étudié de la mire par rapport à la caméra chargée de l'acquisition des images en transmission. Chaque ligne de la mire doit correspondre à un nombre entier de lignes de pixels de la caméra.

Cependant, la méthode de ce brevet américain impose de connaître ou
15 d'adapter les caractéristiques de la mire (ses dimensions, ses formes, sa position) pour assurer un alignement idoine du motif de la mire avec les pixels de la caméra, ce qui est contraignant, et rarement possible en milieu industriel (mauvaise régularité de la mire, dilatation de la mire en fonction des variations de température dans la journée, vibrations du
20 sol...).

Le brevet US 6 208 412 propose une autre méthode de mesure par observation en transmission d'une mire à une dimension. Le dispositif de mesure de ce document utilise un projecteur pour générer une mire en
25 formant, sur un écran de grandes dimensions, toujours sensiblement supérieures aux dimensions du vitrage à mesurer (typiquement 2 x 3 m), un motif périodique unidirectionnel fixe ou variable dans le temps, ainsi qu'une caméra qui visualise la mire au travers du vitrage à analyser.

30 Ce dispositif décrit dans ce dernier document, s'il peut donner satisfaction

en laboratoire ou en bord de ligne de production pour un contrôle par prélèvement, ne peut par contre pas être utilisé pour un contrôle sur ligne qui se doit d'être exhaustif sans pouvoir arrêter les vitrages momentanément.

5

L'intégration d'un projecteur et d'un écran de grandes dimensions sur une ligne industrielle est également rarement possible ou souhaitable, par manque de place. Par ailleurs, l'image produite par un projecteur est en général peu lumineuse. Il est alors indispensable de protéger l'écran de la
10 lumière parasite ambiante en le capotant largement et en peignant même le sol en noir.

En outre, pour mesurer des défauts dans deux directions de l'espace, la mire étant unidirectionnelle, le dispositif de mesure nécessite d'acquérir
15 une première image avec la mire orientée dans une direction donnée, puis une seconde image avec la mire orientée dans une direction perpendiculaire, imposant de stopper le vitrage durant la prise de vue, ce qui n'est pas envisageable sur une ligne industrielle, telle que pour l'automobile, dont le système de convoyage des vitrages n'autorise pas
20 d'arrêt temporaire.

Enfin, la méthode de mesure décrite est celle bien connue de « phase-shifting » qui consiste, avec l'arrêt du vitrage, à projeter successivement plusieurs mires, typiquement quatre, qui sont décalées dans l'espace, et à
25 acquérir une image pour chaque position de mire et en répétant ces opérations une deuxième fois pour l'autre direction de mesure. Cette série d'acquisitions est donc très consommatrice de temps et augmente d'autant plus le temps d'arrêt du vitrage.

30 Par conséquent, le dispositif décrit dans ce brevet US 6 208 412 et son

processus de mesure engendrent des temps de traitement des mesures trop longs compte-tenu des délais très courts qui sont imposés sur lignes industrielles pour prendre la décision de conserver ou de rejeter un vitrage.

5

La demanderesse s'est ainsi donnée pour mission la conception d'un dispositif d'analyse de la qualité optique d'un substrat spéculaire ou transparent, qui ne présente pas les inconvénients des techniques précédemment citées et qui permet de détecter et de quantifier les défauts de ce substrat en transmission ou en réflexion, de façon aisée, précise, répétitive en répondant à toutes les contraintes d'une mise en œuvre sur une ligne industrielle pour un contrôle exhaustif des vitrages, et en assurant en particulier la réduction des coûts de contrôle de conformité de vitrages sur une ligne de production. Ce dispositif innovant doit permettre en outre d'utiliser des procédés de mesure qui conduisent à optimiser le temps d'analyse.

Selon l'invention, le dispositif d'analyse d'une surface transparente ou spéculaire d'un substrat comporte une mire disposée en regard de la surface du substrat à mesurer et agencée sur un support à deux dimensions de petite et grande extensions, une caméra pour prendre au moins une image de la mire déformée par le substrat mesuré, un système d'éclairage de la mire, et des moyens de traitement de l'image et d'analyse numérique qui sont reliés à la caméra, et est caractérisé en ce que le support est de forme oblongue, la mire est bidirectionnelle en étant constituée d'un premier motif qui s'étend selon une première direction et selon la plus petite extension du support, ce premier motif étant périodique transversalement à la petite extension, et d'un second motif qui s'étend selon une seconde direction, perpendiculairement au premier motif et selon la plus grande extension du support, et en ce que la caméra est

matricielle.

On rappelle qu'une caméra matricielle est composée d'un capteur qui forme une matrice de pixels.

5

La forme oblongue du support de la mire accompagnée de l'utilisation d'une caméra matricielle permet très avantageusement de réduire la zone occupée par la mire et de limiter ainsi l'emplacement nécessaire au dispositif sur une ligne de production. En outre, l'utilisation d'une mire
10 présentant deux motifs s'étendant dans deux directions différentes autorise une mesure directe des défauts qui peuvent être orientés dans le substrat selon deux directions de l'espace.

La grandeur des motifs de la mire et la position de la mire, du verre et de
15 la caméra sont bien entendu à adapter à chaque type de mesure, qui peut tout aussi bien être le contrôle de vitrages de dimensions 2 m par 2 m (ou plus) ou de miroirs solaires, que le contrôle d'échantillons verriers n'excédant pas une taille de 5 cm par 5 cm.

20 Selon une caractéristique, le premier motif se compose d'une succession alternative de lignes claires et foncées.

Selon une autre caractéristique, le second motif est préférentiellement formé d'une unique ligne oblongue dont la plus grande dimension s'étend
25 selon la grande extension du support, cette ligne présentant une couleur contrastée par rapport au fond de la mire. En variante, le second motif peut comprendre un nombre très limité de lignes contrastées qui s'alternent.

30 Le second motif qui peut être de l'ordre du millimètre pour un unique trait

ou de quelques millimètres pour une succession de quelques traits, implique par conséquent une minimisation de la mire.

La largeur des éléments (traits ou lignes par exemple) formant chaque motif est en fait adaptée aux conditions de mesures et de l'amplitude des défauts. De préférence, un motif comprend au moins une ligne qui présente, selon sa petite extension, une largeur de l'ordre de 1 mm à 1 cm. Pour des mesures en réflexion sur des miroirs solaires, les traits du motif sont par exemple de l'ordre de 1 cm de large, alors que pour des mesures en transmission sur des vitrages, les traits sont de l'ordre du millimètre.

En outre, si le support de la mire est constitué d'un panneau rétro-éclairé par le système d'éclairage, le panneau support de la mire peut alors ne pas excéder 15 cm de large, ce qui réduit donc considérablement les dimensions utiles à l'implantation du dispositif de l'invention par rapport à ceux existants.

En tant que panneau rétro-éclairé, le panneau est, au niveau de sa face en regard du substrat à mesurer, translucide et diffusant. Il s'agit par exemple d'une plaque de plastique blanc.

Avantageusement, et en particulier dans le cas d'un rétro-éclairage, le système d'éclairage est formé d'une multitude de diodes électroluminescentes.

Pour assurer une mesure en transmission, le substrat est disposé entre la mire et la caméra, tandis que le substrat est agencé en regard de la mire et de la caméra pour une mesure en réflexion, la caméra étant dans le même plan que la mire.

Les dimensions réduites de la mire par rapport au substrat qui est à mesurer dans son ensemble imposent à la mire ou au substrat d'être apte à se déplacer lors de la mesure.

5

Ainsi, par rapport à l'art antérieur pour des mesures sur des produits de grandes dimensions tels que les vitrages, la mire n'a pas besoin d'être aussi étendue dans les deux dimensions, voir même plus grande, que les vitrages. Il suffit selon l'invention de fournir une mire oblongue, dont la grande extension correspond au plus à la hauteur de l'objet à mesurer et dont la petite extension est extrêmement réduite par rapport à l'autre dimension de l'objet, combinée à une caméra matricielle.

Pour répondre à la nécessité de réaliser simultanément une analyse des défauts selon deux directions (verticale et horizontale), le dispositif utilise une double mire rétro-éclairée, l'une constituée d'une unique ligne ou d'un nombre très limité de lignes verticales, l'autre constituée d'une série de lignes horizontales très courtes (typiquement 5 cm) et régulièrement espacées, et une caméra matricielle dont on ne prélèvera, après acquisition de l'image, que les colonnes de pixels associées à chacune des deux mires.

Cette technique s'applique aussi bien aux mesures en transmission qu'aux mesures en réflexion.

25

L'invention a également trait à un procédé d'analyse d'une surface transparente ou spéculaire d'un substrat à l'aide du dispositif de l'invention, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- prendre à l'aide de la caméra matricielle une multitude d'images en transmission ou en réflexion de la mire éclairée, le substrat ou la mire

30

étant en déplacement l'un par rapport à l'autre selon un seul sens de défilement ;

- extraire spatialement de manière périodique, d'une part, une colonne de pixels associée au premier motif périodique, et d'autre part, une pluralité de colonnes de pixels associées au second motif;
- empiler en mémoire les colonnes de pixels pour chacun des motifs afin de reconstituer l'image de l'ensemble du substrat;
- analyser par traitement numérique l'image reconstituée pour en déduire la position des défauts et à les quantifier.

10

Dans son principe le procédé proposé consiste non plus à acquérir au travers d'un substrat à l'arrêt une image unique d'une mire multilignes projetée sur un écran de grandes dimensions, mais à acquérir une série de plusieurs images d'une mire très étroite vue au travers ou en réflexion d'un substrat en translation et de regrouper ces images partielles pour reconstituer l'image complète de la mire vue au travers ou réfléchi par le substrat.

15

Le traitement numérique de l'image est ensuite effectué de manière connue. Il s'agit par exemple d'extraire des phases locales de l'image et d'en déduire des variations de phases qui permettent de déduire la position du défaut mais également de les quantifier grâce à des coefficients d'étalonnage ou de déformation avec lesquels on peut fournir une grandeur dimensionnée de la déformation ou une puissance optique représentative du défaut.

25

A noter que le traitement numérique d'extraction des phases peut être réalisé de différentes manières, grâce à la méthode par transformée de Fourier, ou la méthode par recherche de contour, ou encore de manière originale la méthode par transformée en ondelettes.

30

Il apparaît que le procédé selon l'invention conduit à des résultats satisfaisants sur lignes industrielles sans modification de celles-ci, pour des coûts réduits et autorise un contrôle beaucoup plus rapide que dans
5 l'art antérieur.

Le dispositif de l'invention et le procédé de mise en œuvre peuvent être appliqués à des substrats transparents tels que des vitrages monolithiques ou feuilletés, plans ou bombés, de toutes dimensions pour
10 diverses utilisations (bâtiment, automobile, aéronautique, ferroviaire) ou tels que des miroirs ou écrans de visualisations. En particulier le dispositif et le procédé peuvent être appliqués en transmission à des pare-brise automobiles, des vitres latérales, des lunettes chauffantes, des vitrages plans destinés aux applications bâtiment ou aux vitrages spéciaux
15 destinés aux applications électronique (écrans plasma ou LCD, ...) et à tout autre substrat transparent. En réflexion le dispositif peut être utilisé pour qualifier la qualité optique de verre plan, par exemple en temps réel en sortie de bain float, ou de verre bombé en sortie de four de trempe par exemple, de miroirs solaires, etc...

20

La présente invention est maintenant décrite à l'aide d'exemples uniquement illustratifs et nullement limitatifs de la portée de l'invention, et à partir des illustrations ci-jointes, dans lesquelles :

- 25 - La figure 1 représente une vue schématique en coupe d'un dispositif d'analyse selon l'invention pour une mesure en transmission ;
- La figure 2 représente une vue schématique en coupe d'un dispositif d'analyse selon l'invention pour une mesure en réflexion ;
- La figure 3 illustre un exemple de mire selon l'invention ;
- 30 - La figure 4 illustre une image de la mire enregistrée par la caméra.

Les figures ne sont pas à l'échelle pour en faciliter la lecture.

5 Le dispositif 1 illustré sur les figures 1 et 2 permet d'analyser par transmission et respectivement par réflexion les défauts d'un substrat 2 transparent, tel qu'un vitrage. Le dispositif comporte une mire 10, des moyens de prise de vue 3 que sont une caméra matricielle, un système d'éclairage 4 de la mire, et des moyens adaptés de traitement et de calcul 5.

10

La mire 10 est formée sur une face d'un panneau support 11, en regard du substrat à mesurer. Elle sera mieux décrite ultérieurement.

15 En transmission, le substrat 2 transparent est agencé entre la mire 10 et la caméra 3, l'objectif de la caméra étant dirigé vers le substrat.

20 En réflexion, le substrat 2 à surface spéculaire est agencé devant la mire 10 et la caméra 3, l'objectif de la caméra étant dans le même plan que celui de la mire et étant pointé en direction de la surface du substrat. Si un angle d'observation doit être imposé afin de se placer dans les conditions d'utilisation finale du produit à mesurer, par exemple un vitrage utilisé de manière inclinée en tant que pare-brise de véhicule, l'angle de la caméra par rapport au plan de translation du substrat correspond à l'angle imposé de la mire par rapport à ce plan de translation du vitrage.

25

30 Le système d'éclairage 4 peut être un système de rétro-éclairage lorsque le panneau support 11 est translucide, tel qu'une plaque de plastique blanc. De préférence, le système d'éclairage 4 est alors constitué d'une multitude de diodes électroluminescentes qui sont disposées à l'arrière du panneau translucide.

En variante, lorsque le panneau support 11 est opaque, le système d'éclairage 4 est formé d'une lumière agencée sur le devant de la mire, par exemple un spot orienté pour éclairer la face avant du panneau portant la mire (non illustré).

La caméra 3 est matricielle ; elle génère des trames de prises de vue qui, par traitement numérique, sont concaténées pour former une image globale du substrat. La mire étant de petites dimensions par rapport au substrat comme nous le verrons, le substrat 2 ou la mire est apte à défiler en translation l'un par rapport à l'autre pour assurer le nombre nécessaire de prises de vue sur l'ensemble du substrat. La fréquence de déclenchement de la caméra pour chaque prise de vue est asservie à la vitesse de défilement.

La caméra est positionnée à une distance d adaptée de manière à visualiser l'ensemble de l'extension du substrat qui est transversale à la direction de défilement du substrat ou de la mire. Ainsi, si le défilement se fait dans un plan horizontal, la caméra est agencée afin de photographier toute la verticale du substrat.

La caméra 3 pourrait faire un angle par rapport à la verticale qui serait adapté aux conditions d'utilisation finale du substrat, par exemple si le substrat est utilisé ensuite en tant que pare-brise de véhicule et présentant donc une inclinaison par rapport au plan vertical de vision de l'automobiliste-observateur.

La mire 10, telle qu'illustrée sur la figure 3, est agencée sur un support 11 de forme oblongue. Elle est bidirectionnelle et constituée d'un premier

motif 10a et d'un second motif 10b agencé à proximité immédiate mais sans recouvrement.

La mire selon l'invention est de petites dimensions par rapport au substrat
5 à mesurer. Par exemple pour mesurer un vitrage de 1,5 m par 1,5 m, la mire s'étend sur 15 cm par 1,8 m pour une inclinaison nulle du vitrage. Pour une mesure sous une inclinaison de 45° du vitrage (position de conduite pour un pare-brise), la hauteur sera de 1,3 m

10 Le premier motif 10a de la mire s'étend selon une première direction et selon la plus petite extension du support, en étant périodique transversalement à la petite extension, c'est-à-dire selon la grande extension du support. Le second motif 10b s'étend selon une seconde
15 extension de la mire.

Le premier motif 10a se compose d'une succession alternative de lignes claires et foncées.

20 Le second motif 10b est préférentiellement formé d'une unique ligne oblongue, par exemple de 1 mm de large sur la hauteur de la mire, cette ligne étant contrastée par rapport au fond de la mire.

En variante, le second motif peut comprendre un nombre très limité de
25 lignes contrastées qui s'alternent mais dont l'ensemble reste de largeur réduite.

Les moyens de traitement et de calcul 5 sont connectés à la caméra pour élaborer les traitements et analyses mathématiques qui suivent les prises
30 de vue successives.

La figure 4 illustre une image enregistrée par la caméra, l'image de la mire étant déformée par la présence de défauts dans deux directions. La mise en œuvre du dispositif consiste à :

- 5 - prendre à l'aide de la caméra matricielle 3 présentant une multitude de pixels 30, une multitude d'images en transmission ou en réflexion de la mire éclairée, le substrat ou la mire étant en déplacement l'un par rapport à l'autre selon un seul sens de défilement ;
- extraire spatialement de manière périodique, d'une part, une colonne
10 31 de pixels associée au premier motif périodique, et d'autre part, une pluralité de colonnes 32 de pixels associées au second motif;
- empiler en mémoire les colonnes de pixels pour chacun des motifs afin de reconstituer l'image de l'ensemble du substrat ;
- analyser par traitement numérique l'image reconstituée pour en
15 déduire la position des défauts et évaluer leur amplitude.

L'acquisition d'une série de n images de la ligne formant par exemple le second motif vertical, lors du déplacement horizontal du substrat devant la mire permet de reconstituer, par simple concaténation d'images, une
20 image unique équivalente à celle que l'on obtiendrait en observant en une seule fois l'image d'une mire de n lignes placées derrière le substrat. La demanderesse met en évidence que ce type de mire est particulièrement intéressante de par son encombrement limité.

25 Une mire est un signal spatialement périodique. L'analyse mathématique consiste de manière connue à caractériser ce signal par sa phase locale modulo 2π , au niveau d'un pixel de la caméra, et on définit ainsi une cartographie en une dimension des phases (correspondant à l'ensemble des pixels) de chacune des images vues par transmission ou par
30 réflexion, appelée carte des phases.

Cette extraction de la carte de phases modulo 2π peut être obtenue de différentes manières.

- 5 L'une des méthodes bien connue est la méthode par transformée de Fourier. Cette méthode est couramment décrite dans la littérature. Elle se décompose ainsi :
- acquisition d'une image de la mire déformée par l'échantillon;
 - calcul de la transformée de Fourier de l'image, colonne par colonne
 - 10 de pixels (transformée en une dimension) ;
 - recherche automatique du pic caractéristique de la fréquence fondamentale f_0 de la mire ;
 - filtrage passe-bande à l'aide d'un filtre passe-bande gaussien ou autre, de cette fréquence fondamentale f_0 . Ce filtrage a pour effet
 - 15 d'éliminer le fond continu de l'image de la mire et les harmoniques du signal de la mire;
 - décalage du spectre filtré de f_0 afin de ramener le pic caractéristique de la mire image à la fréquence 0. Ce décalage fait disparaître la trame de la mire et ne fait subsister que les déformations de la mire ;
 - 20 - calcul de la transformée de Fourier inverse de l'image, colonne par colonne de pixels. L'image obtenue fait apparaître les déformations seules. Cette image est une image complexe comprenant une partie réelle R_r et une partie imaginaire I ;
 - calcul de la phase locale au niveau d'un pixel, modulo 2π , de l'image.
 - 25 Cette phase est obtenue en calculant, pixel par pixel, la valeur de $\arctg(I / R_r)$.

Par ailleurs, la demanderesse a mis en évidence l'utilisation avantageuse d'une autre méthode de calcul des phases locales, une méthode dite de calcul « par transformée en ondelettes ». Ce type de calcul utilisé de manière connue dans le traitement du signal pour d'autres applications s'est avéré particulièrement intéressant dans l'application de l'invention. En effet, contrairement à la transformée de Fourier qui n'est pas une méthode d'analyse locale des fréquences contenues dans l'image de la mire, la transformée en ondelettes permet d'analyser simultanément la position et la fréquence des signaux. Cela se traduit par une réduction des perturbations aux bords des images (aux bords du substrat) et par une meilleure détection des défauts de faibles dimensions qui sont souvent « écrasés » lors de la phase de filtrage mise en œuvre avec la transformée de Fourier.

La technique par transformée en ondelettes consiste en plusieurs étapes :

- acquisition d'une image de la mire déformée par le substrat ;
- calcul des coefficients d'ondelette $W(a,b)$ à partir de l'image et pour différentes valeurs du paramètre d'échelle a et du paramètre de translation b , colonne par colonne des pixels (transformée en une dimension). Ces valeurs sont judicieusement choisies en fonction du pas de la mire et de la résolution souhaitée. On obtient un scalogramme ;
- pour chaque valeur b , recherche de l'échelle a_0 qui maximise le module $|W(a,b)|$;
- calcul de l'argument de $W(a_0,b)$ qui donne au niveau d'un pixel la phase locale recherchée modulo 2π ;
- intégration ou dépliement de la carte des phases modulo 2π pour obtenir la carte des phases absolue.

Une fois l'étape de calcul de la phase modulo 2π de l'image effectuée pour chaque pixel par l'une ou l'autre méthode, on en déduit aisément la carte des dérivées de la phase, appelée encore carte des gradients. Ce calcul du gradient de phase de l'image est obtenu par simple différence de la phase pixel à pixel, les sauts de phase de 2π étant facilement éliminés.

Après déduction de la carte des phases de l'image complète reconstituée à partir de la série d'images prises par la caméra, il est alors possible de relier la valeur de la dérivée de la phase en chaque point de l'image à la puissance optique P_i des défauts du vitrage à l'origine de ces variations de phase locale par une calibration préalable du système à l'aide de lentilles cylindriques étalons (en transmission) ou de miroirs cylindriques étalons (en réflexion), ou bien à l'aide d'un modèle de calcul optique qui permet de calculer la puissance optique P_i à partir de la dérivée de cette phase. L'évaluation de la puissance optique et sa comparaison à une valeur de seuil permet de quantifier le défaut.

En variante, la dérivée des phases pourra plutôt être comparée à une largeur locale d'étalonnage qui fournira une largeur de déformation représentative également de l'ampleur du défaut.

La quantification du défaut permet ainsi d'établir la qualité optique d'un vitrage dans des conditions réelles d'utilisation directement sur ligne de fabrication.

Par conséquent, le procédé selon l'invention d'analyse du substrat consiste :

- à prendre à l'aide d'une caméra matricielle une série d'images en transmission ou en réflexion d'une double mire étroite sur ledit substrat, sans la nécessité, comme dans l'art antérieur, d'un couplage étudié de la

mire par rapport à la caméra ou de l'utilisation d'un projecteur et d'un écran de grandes dimensions.

- à extraire de cette image matricielle les quelques colonnes de pixels (par exemple une pour la mire horizontale et cinq pour la mire verticale)
5 associées à la double mire,
- à empiler dans deux mémoires distinctes (l'une dédiée à la mire horizontale et l'autre à la mire verticale) d'une unité de traitement ces colonnes de pixels afin de reconstituer après défilement complet du vitrage devant la mire (ou inversement) une image complète de chacune
10 des mires vue au travers du vitrage,
- à extraire par traitement numérique des phases locales, à calculer la dérivée de ces phases, et déduire par calcul mathématique la présence d'un défaut (de préférence selon un calcul de la puissance optique et sa
15 comparaison à une valeur de seuil.

Enfin, le dispositif de mesure proposé autorise un contrôle exhaustif des vitrages présents sur une ligne industrielle, sans prélèvement du vitrage, sans arrêt ni ralentissement du vitrage, sans modification de sa position sur le système de convoyage, sans utilisation d'un système de projection
20 de deux mires. Il engendre une aire d'utilisation réduite par rapport à des dimensions de la mire qui sont bien inférieure à celles existantes ; typiquement le panneau support de la mire de l'invention est de 1,8 mètres de haut par 15 cm de large. En outre, l'invention permet de limiter le nombre d'acquisitions pour une analyse bi-directionnelle des défauts.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif d'analyse (1) d'une surface transparente ou spéculaire d'un
5 substrat (2) comportant une mire (10) disposée en regard de la surface
du substrat à mesurer et agencée sur un support (11) de petite et
grande extensions, une caméra (3) pour prendre au moins une image
de la mire déformée par le substrat mesuré, un système d'éclairage (4)
de la mire, et des moyens de traitement (5) de l'image et d'analyse
10 numérique qui sont reliés à la caméra (3), caractérisé en ce que le
support (11) est de forme oblongue, la mire est bidirectionnelle en
étant constituée d'un premier motif (10a) qui s'étend selon une
première direction et selon la plus petite extension du support, ce
premier motif étant périodique transversalement à la petite extension,
15 et d'un second motif (10b) qui s'étend selon une seconde direction,
perpendiculairement au premier motif et selon la plus grande extension
du support, et en ce que la caméra est matricielle.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le second
motif est formé d'une unique ligne oblongue dont la plus grande
20 dimension s'étend selon la grande extension du support, cette ligne
présentant une couleur contrastée par rapport au fond de la mire.
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'un motif
comprend au moins une ligne qui présente, selon sa petite extension,
une largeur de l'ordre de 1 mm à 1 cm.
- 25 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisé en ce que le premier motif se compose d'une succession
alternative de lignes claires et foncées.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le support (11) de la mire est constitué d'un panneau rétro-éclairé par le système d'éclairage (4).
6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le support est, au niveau de sa face en regard du vitrage à mesurer, translucide et diffusant tel qu'une plaque de plastique blanc.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le système d'éclairage (4) est formé d'une multitude de diodes électroluminescentes.
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le substrat (2) est disposé entre la mire (10) et la caméra (3) pour une mesure en transmission, tandis que le substrat (2) est agencé en regard de la mire (10) et de la caméra (3) pour une mesure en réflexion, la caméra étant dans le même plan que la mire.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la mire (10) ou le substrat (2) est apte à se déplacer lors de la mesure.
10. Procédé d'analyse d'une surface transparente ou spéculaire d'un substrat (2) à l'aide d'un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes et tel que le substrat (2) ou la mire (10) est en déplacement l'un par rapport à l'autre selon un seul sens de défilement, caractérisé en ce qu'il consiste à :
 - prendre à l'aide de la caméra matricielle (3) une multitude d'images en transmission ou en réflexion de la mire (10) éclairée;
 - extraire spatialement de manière périodique au moyen de la caméra, d'une part, une colonne de pixels associée au premier motif

périodique, et d'autre part, une pluralité de colonnes de pixels associées au second motif;

- empiler en mémoire les colonnes de pixels pour chacun des motifs afin de reconstituer l'image de l'ensemble du substrat ;
- 5 - analyser par traitement numérique l'image reconstituée pour en déduire la position des défauts et les quantifier.

1/1

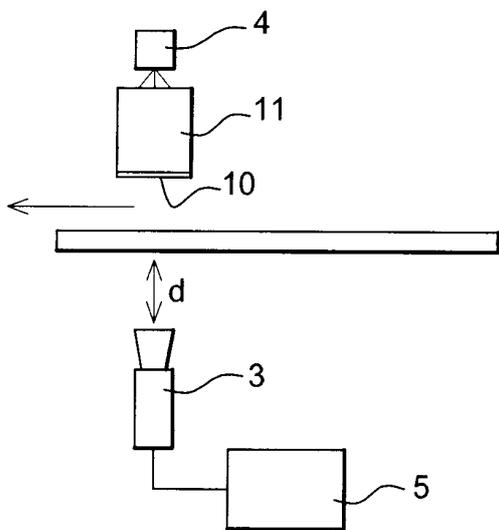


Fig. 1

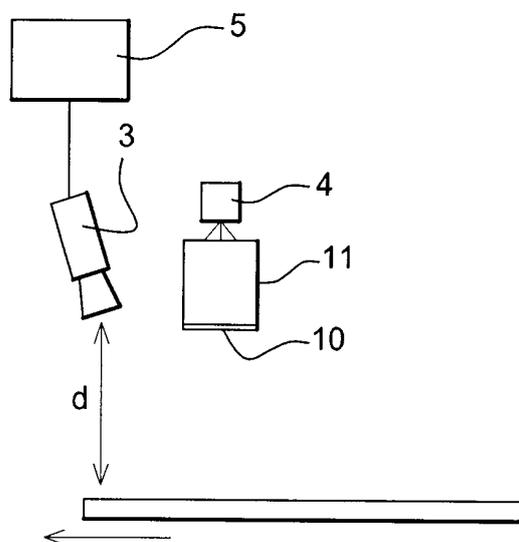


Fig. 2

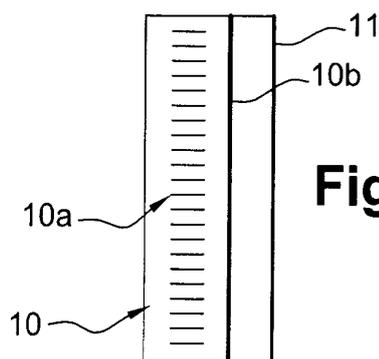


Fig. 3

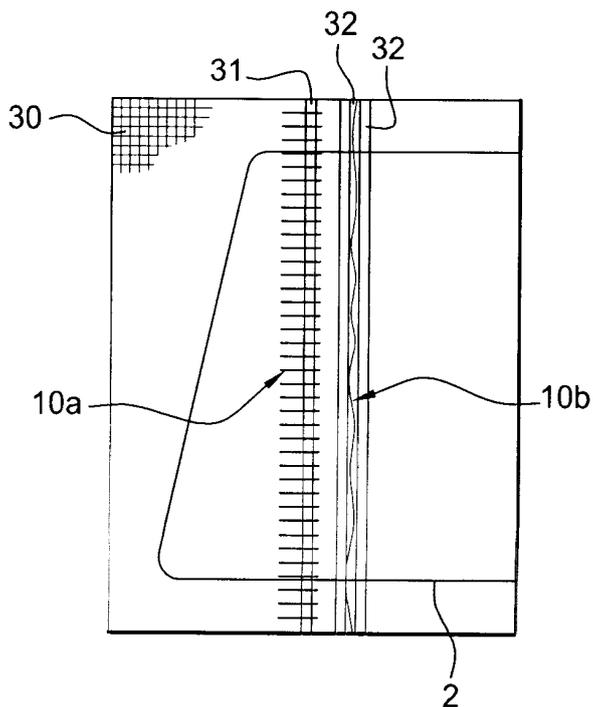


Fig. 4



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 714888
FR 0856628

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
X	US 6 392 754 B1 (PINGEL ULRICH [DE] ET AL) 21 mai 2002 (2002-05-21) * colonne 5, ligne 27 - colonne 7, ligne 60 * * colonne 10, ligne 39 - colonne 15, ligne 24; figures 1-8 *	1-10	G01N21/958	
X	EP 0 726 457 A (CENTRAL GLASS CO LTD [JP]) 14 août 1996 (1996-08-14) * colonne 4, ligne 40 - colonne 9, ligne 18; figures 1,2,6A-9 *	1-10		
X	US 5 471 307 A (KOLIOPOULOS CHRIS L [US] ET AL) 28 novembre 1995 (1995-11-28) * abrégé * * figures 1,4,6-9 * * colonne 4, ligne 58 - colonne 7, ligne 1 * * colonne 8, ligne 13 - ligne 50 * * revendications 1-6,19 *	1-10		
X	EP 1 065 498 A (FORD MOTOR CO [US]) 3 janvier 2001 (2001-01-03) * alinéa [0010] - alinéa [0035]; figures 1-4 *	1-10		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	US 6 100 990 A (LADEWSKI THEODORE B [US]) 8 août 2000 (2000-08-08) * revendications 13-16 *	1-10		G01N G01B
X	US 5 471 297 A (TANI HIDEHITO [JP]) 28 novembre 1995 (1995-11-28) * colonne 2, ligne 26 - colonne 9, ligne 7 * * figures 3-7b *	1-10		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur		
30 avril 2009		Consalvo, Daniela		
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention		
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date		
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.		
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande		
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons		
P : document intercalaire			
		& : membre de la même famille, document correspondant		

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0856628 FA 714888**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-04-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6392754	B1	21-05-2002	AT 243314 T	15-07-2003
			DE 19643018 A1	30-04-1998
			WO 9817971 A1	30-04-1998
			EP 0932816 A1	04-08-1999
			ES 2202595 T3	01-04-2004
			JP 2001502800 T	27-02-2001

EP 0726457	A	14-08-1996	JP 3178644 B2	25-06-2001
			JP 8220021 A	30-08-1996
			US 5691811 A	25-11-1997

US 5471307	A	28-11-1995	AUCUN	

EP 1065498	A	03-01-2001	CA 2353300 A1	18-01-2003
			JP 2001021487 A	26-01-2001
			US 6208412 B1	27-03-2001

US 6100990	A	08-08-2000	CA 2353301 A1	18-01-2003
			EP 1061357 A2	20-12-2000
			JP 2001066223 A	16-03-2001

US 5471297	A	28-11-1995	BE 1008014 A3	12-12-1995
