

(11) Numéro du brevet d'invention: **88 402**

(12)

BREVET D'INVENTION

(45) Date de délivrance du brevet d'invention: **05.04.1995**

(51) Int. Cl.: **G01B11/06, H01L21/66**

(22) Date de dépôt: **08.09.1993**

(54) **Contrôle de l'épaisseur de couches minces.**

(30) Priorité: **15.09.1992 GB 92 19 450.5**

(73) Titulaire: **GLAVERBEL
Chaussée de la Hulpe 166
B-1170 Luxembourg (LU)**

(72) Inventeur: **Hannotiau Michel
rue des Chantraines, 11
B-5911 Jodoigne (BE)**
**Renard Guy
Try des Marais, 5e Avenue, 519
B-6284 Tarcienne (Walcourt) (BE)**

**Terneu Robert
6, rue des Manants
B-6218 Thiméon (BE)**

(74) Mandataire: **Freylinger, Ernest T. et/ou Armand Schmitt
c/o Office de Brevets Ernest T. Freylinger
321, route d'Arlon
Boîte Postale 48
L-8001 Strassen (LU)**

Brevet N° **88402**
 du 08 septembre 1993
 Titre délivré

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre
 de l'Économie et des Classes Moyennes
 Service de la Propriété Intellectuelle
 LUXEMBOURG

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

La Société dite: GLAVERBEL, Chaussée de la Hulpe 166, (2)
B-1170 Luxembourg

Représentée par: MM. Ernest T. FREYLINGER et/ou Armand SCHMITT,
OFFICE DE BREVETS ERNEST T. FREYLINGER, 321, route d'Arlon, (3)
B.P.48, L-8001 Strassen/Luxembourg

dépose(nt) ce huit septembre mil neuf cent quatre-vingt-treize (4)
à 15.00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg:

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:

"Contrôle de l'épaisseur de couches minces"

2. la description en langue française de l'invention en trois exemplaires;
 3. 5 (cinq) planches de dessin, en trois exemplaires;
 4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 25.08.93 et 08.09.
 5. la délégation de pouvoir, datée de Bruxelles le 03 septembre 1993;
 6. le document d'ayant cause (autorisation);

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont): (6)

Michel HANNOTIAU, rue des Chantraines, 11, B-5911 Jodoigne
(Piétrain)/Belgique

Guy RENARD, Try des Marais, 5e Avenue, 519, B-6284 Tarcienne
(Walcourt)/Belgique

Robert TERNEU, rue des Manants, 6, B-6218 Thiméon/Belgique

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de (7)

brevet d'invention déposée(s) en (8) Grande-Bretagne

le (9) 15 septembre 1992

sous le N° (10) 92 19 450.5

au nom de (11) GLAVERBEL

élit(é lisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
321, route d'Arlon, B.P.48, L-8001 Strassen/Luxembourg (12)

sollicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées,
avec ajournement de cette délivrance à 6 (six) mois mois. (13)

Le déposant/mandataire: (14)

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes,
 Service de la Propriété Intellectuelle de Luxembourg, en date du: 08 septembre 1993

à 15.00 heures

Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,

Le chef du service de la Propriété Intellectuelle,

A 68007

EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE
 (1) s'il y a lieu "Demande de certificat d'addition au brevet principal" à la demande de brevet principal No. du - (2) inscrire les nom, prénom, profession, adresse du demandeur, lorsque celui-ci est un particulier ou la dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire les nom, prénom, adresse du mandataire agréé, conseil en propriété industrielle, muni d'un pouvoir spécial, s'il y a lieu: "représenté par agissant en qualité de mandataire" - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(à voir) désignation séparée (suivra)", lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner", lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation séparée présente ou future - (7) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité, brevet européen (CBE), protection internationale (PCT) - (8) Etat dans lequel le premier dépôt a été effectué ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt completé, le cas échéant, par l'indication de l'office receveur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du domicile effectif ou élu au Grand-Duché de Luxembourg - (13) 2, 6, 12 ou 18 mois - (14)

REVENDEICATION DE LA PRIORITEde la demande de brevet / d~~XXXXXXXXXX~~En Grande-BretagneDu 15 septembre 1992No 92 19 450.5

Mémoire Descriptif

déposé à l'appui d'une demande de

BREVET D'INVENTION

au

Luxembourg

au nom de :

GLAVERBEL
Chaussée de la Hulpe
B-1170 Luxembourg

pour : Contrôle de l'épaisseur de couches minces

Contrôle de l'épaisseur de couches minces

La présente invention se rapporte à un procédé pour le contrôle de couches minces sur un substrat, particulièrement pour le contrôle d'une couche transparente appliquée sur un substrat, par exemple des couches sur du verre.

5 Le contrôle de l'épaisseur, et aussi de l'indice de réfraction, de couches appliquées sur des feuilles de verre, principalement sur des rubans de verre fraîchement formés, est important. Comme on le sait dans la technique, une ou plusieurs couche(s) est/sont appliquée(s) sur des feuilles de verre à
10 différentes fins. Ces couches sont souvent minces, par exemple moins de 100 nm, et la mesure de couches de cette épaisseur présente des difficultés, principalement lorsqu'on désire effectuer des mesures rapides et continues sur de grandes surfaces de verre et détecter les variations d'épaisseur aussi bien le long qu'au travers du ruban ou de feuilles de verre.

L'épaisseur de ces couches est un élément très important dans le
15 contrôle de la qualité du vitrage formé à partir de feuilles de verre portant ces couches. Les propriétés physiques et optiques du vitrage dépendent fortement de l'épaisseur de la couche. L'épaisseur géométrique et l'indice de réfraction de la couche jouent un rôle prédominant dans les propriétés interférentielles de la feuille revêtue.

20 Si on établit que la valeur mesurée de l'épaisseur d'un échantillon est hors des tolérances permises, les feuilles de verre qui ont été revêtues simultanément seront perdues. Ceci constitue un problème particulièrement important si en même temps les feuilles revêtues ont déjà été soumises à un autre dépôt de couche ou ont été montées en vitrages.

25 Il est dès lors souhaitable de contrôler l'épaisseur de la couche aussi tôt que possible après le dépôt de la couche dans la ligne de production industrielle.

30 La demande de brevet britannique GB 2 069 130 (RCA) décrit un procédé pour contrôler l'épaisseur optique d'une couche en dirigeant de la lumière polychromatique sur l'échantillon et successivement sur un échantillon de contrôle ayant une couche d'épaisseur connue et en variant l'épaisseur de la couche de comparaison jusqu'à ce que les spectres réfléchis correspondent.

Cette méthode convient pour des couche d'épaisseur optique de 150 nm à 3000 nm. Le procédé requiert également un calibrage précis de la couche de comparaison.

Le procédé décrit dans la demande GB 2 069 130 ne permet pas le contrôle d'épaisseurs géométriques inférieures à environ 75 nm (pour une couche d'indice de réfraction proche de 2). De plus, le procédé décrit ne concerne pas le contrôle continu d'épaisseurs de couches lorsque les valeurs mesurées tombent au-delà de valeurs-seuil. Il n'est pas possible non plus, avec le dispositif décrit, de contrôler l'uniformité de l'épaisseur de la couche. En outre, la mise en place du dispositif décrit dans la demande GB 2 069 130 immédiatement après le poste de dépôt de couche est difficile

La présente invention se rapporte à un procédé pour contrôler l'épaisseur et l'uniformité d'épaisseur d'une couche transparente appliquée sur un substrat sous forme de feuille, qui comprend la projection de lumière polychromatique sur plusieurs endroits du substrat et la mesure de l'intensité de la lumière qui est réfléchiée par ces endroits, caractérisé en ce que, en chaque endroit, l'intensité de la lumière réfléchiée est mesurée à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes et les dites mesures sont traitées pour générer un signal électrique qui peut être comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et avec les signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que l'épaisseur de la couche est comprise entre des tolérances prédéterminées.

L'invention se rapporte également à un dispositif pour contrôler l'épaisseur et l'uniformité d'épaisseur d'une couche transparente appliquée sur un substrat, caractérisé en ce qu'il comprend:

- (i) une source de lumière polychromatique orientée vers plusieurs endroits du substrat;
- (ii) des moyens pour mesurer l'intensité de la lumière qui est réfléchiée par la couche en chacun de ces endroits à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes; et
- (iii) des moyens pour traiter les mesures de manière à générer un signal électrique qui peut être comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et avec les signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que l'épaisseur de la couche est comprise entre des tolérances prédéterminées.

Le procédé et le dispositif selon l'invention permettent un contrôle aisé de l'épaisseur, de l'uniformité de l'épaisseur et, facultativement, de l'indice de réfraction d'une couche entre des valeurs de tolérances prédéterminées.

L'invention permet également, d'une manière simple, que ce contrôle ait lieu rapidement après la formation de la couche.

Par longueurs d'onde de contrôle "discrètes", on entend des longueurs d'onde qui sont séparées l'une de l'autre d'au moins 50 nm. Les deux
5 longueurs d'onde discrètes se situent de préférence dans le spectre visible, c'est-à-dire celui compris entre 380 nm et 780 nm. Les longueurs d'onde discrètes de contrôle se situent de préférence dans la gamme 400 à 480 nm (bleu) et dans la gamme 580 à 750 nm (rouge). Ceci en raison de la découverte que, pour de
10 nombreuses couches du commerce, la différence entre les mesures prises à ces deux longueurs d'onde discrètes de contrôle varie de manière significative avec l'épaisseur de la couche.

La réflexion de la lumière par un substrat revêtu est connue pour dépendre entre autres de la longueur d'onde de la lumière réfléchie, de l'épaisseur de la couche et de l'indice de réfraction du substrat, de la couche et
15 de l'air. Il est compliqué d'obtenir tous les paramètres nécessaires pour permettre de calculer directement l'épaisseur de la couche à partir de la mesure de la réflexion à deux longueurs d'onde de contrôle discrètes. En pratique, il est plus approprié de déterminer des valeurs de tolérances, par exemple à partir de la mesure de la réflexion par des échantillons portant des couches d'épaisseur
20 connue.

Les mesures de la lumière réfléchie alimentent de préférence un microprocesseur, où les signaux sont traités, ainsi qu'on l'explique ci-dessous, pour produire une indication de l'épaisseur de la couche. A certaines longueurs d'onde dépendant de l'épaisseur optique de la couche, de l'interférence se
25 produit donnant lieu à une caractéristique spectrale en réflexion de cette épaisseur optique. Pour une couche donnée avec une épaisseur donnée, une longueur d'onde dominante existe habituellement dans le spectre visible, à laquelle de l'interférence constructive se produit, et c'est cette longueur d'onde dominante qui détermine l'aspect visuel du substrat revêtu.

On a trouvé que pour de faibles épaisseurs et des longueurs d'onde
30 de contrôle discrètes proches de cette longueur d'onde dominante, la différence entre la réflexion à deux longueurs d'onde est proportionnelle à l'épaisseur optique de la couche et dès lors, lorsque l'indice de réfraction de la couche est constant, à l'épaisseur géométrique de la couche.

Cependant, la relation exacte entre les réflexions à différentes
35 longueurs d'onde est compliquée. De ce fait, plutôt que de mesurer l'épaisseur en termes absolus, la présente invention inclut l'établissement de limites de tolérances pour chaque type de couche. Ces limites de tolérances sont

déterminées par des essais.

Lorsque la mesure à deux longueurs d'onde de contrôle discrètes est insuffisante pour fournir une indication précise de l'épaisseur de la couche, par exemple lorsque les longueurs d'onde de contrôle discrètes ne se situent pas
5 près de la longueur d'onde dominante, les mesures sont prises de préférence à au moins trois longueurs d'onde, la troisième longueur d'onde de contrôle discrète se situant avantageusement entre 480 et 580 nm (vert). Des trois mesures prises, la paire de mesures la plus appropriée peut alors être choisie pour générer une indication de l'épaisseur de la couche. La moyenne des trois
10 mesures fournit une indication plus précise sur la réflexion lumineuse, qui peut être utilisée dans certaines formes préférées de réalisation en tant qu'indication de l'indice de réfraction.

Lorsque la variation de la réflexion avec l'épaisseur se situe près d'un maximum, la réflexion varie très peu avec l'épaisseur de la couche, de sorte
15 que la réflexion dépend alors plus directement de l'indice de réfraction, ainsi que le prédisent les équations de Fresnel. Au moyen d'un calibrage approprié, on peut de cette manière déterminer facilement l'indice de réfraction de la couche.

L'uniformité de l'épaisseur de la couche sur le substrat est indiquée par comparaison entre le signal électrique généré à un endroit de la couche et
20 les signaux générés à d'autres endroits. L'espacement relatif de ces endroits détermine la précision de la donnée d'uniformité qui est ainsi générée. En fonction de la qualité souhaitée du substrat revêtu et de l'utilisation prévue, on préfère contrôler l'épaisseur de la couche en plusieurs endroits qui sont espacés l'un de l'autre de moins de 200 mm, de préférence de moins de 100 mm,
25 comme par exemple des endroits espacés l'un de l'autre de moins de 50 mm, idéalement de moins de 10 mm et, avantageusement, de moins de 5 mm.

Un équipement approprié pour effectuer le contrôle opère de manière telle que l'intensité de la lumière réfléchie est mesurée par différents éléments sensibles à la lumière pour chaque longueur d'onde de contrôle
30 discrète. Les éléments photosensibles peuvent être des diodes photosensibles, par exemple disposées dans un réseau de photo-diodes. On utilise de préférence un équipement à réseaux à transfert de charge (CCD), de préférence une caméra couleur linéaire CCD. En variante, on peut utiliser au moins deux caméras linéaires monochromes CCD, chacune étant pourvue d'un filtre
35 approprié. L'emploi d'une caméra couleur qui est sensible à trois longueurs d'onde présente cependant l'avantage que les trois signaux sont plus facilement comparables parce qu'ils sont obtenus dans les mêmes conditions avec le même équipement. De plus, lorsqu'une telle caméra est sensible aux couleurs

"primaires" bleu, vert et rouge, les signaux de sortie donnés par la caméra sont plus sûrement une représentation exacte de la manière dont le substrat revêtu apparaît à l'oeil humain. La caméra peut être pourvue d'un filtre infra-rouge pour éviter la surchauffe si elle est exposée à un environnement qui est à 5 température élevée et, en fonction de la nature de la source lumineuse, d'un filtre à large bande pour corriger la balance en lumière blanche.

Le substrat est habituellement sous forme d'une feuille rigide transparente. L'indice de réfraction du substrat peut être plus petit ou plus grand que celui de la couche. Le substrat est habituellement une matière vitreuse telle 10 que du verre, ayant spécifiquement un indice de réfraction de 1,52 (verre sodique), mais le procédé de la présente invention est également applicable au contrôle d'épaisseurs de couches sur d'autres matières de substrat, comme de la matière plastique.

La couche peut être appliquée sur le substrat par différents 15 procédés comprenant la pulvérisation cathodique sous vide (effectuée à la température ambiante), la pyrolyse (effectuée à des températures élevées) et le dépôt chimique en phase vapeur (CVD). Différentes matières de couches sont utilisées dans la technique pour différentes utilisations. Les matières pour couches sont habituellement choisies parmi les métaux, les oxydes métalliques, 20 les nitrures de métaux et les mélanges de ceux-ci. Des exemples de matières pour couches comprennent des métaux tels que l'argent et le silicium, des oxydes tels que de l'alumine (indice de réfraction d'environ 1,7) de l'oxyde d'étain (indice de réfraction d'environ 1,9 lorsqu'il est déposé par pyrolyse), de l'oxyde de zirconium (indice de réfraction d'environ 2,0 lorsqu'il est déposé par CVD) et 25 la silice (indice de réfraction d'environ 1,4 lorsqu'elle est déposée par CVD) et des nitrures tels que le nitrure de titane, le nitrure de silicium et le nitrure d'aluminium. La transmission lumineuse doit être non diffuse et est de préférence d'au moins 10%, avantageusement d'au moins 20%.

La source de lumière polychromatique peut être simplement une 30 source de deux ou plusieurs longueurs d'onde pour lesquelles les mesures doivent être effectuées, mais il convient mieux d'utiliser simplement une source de lumière blanche. De préférence, les mesures sont prises substantiellement sur la totalité de la largeur du substrat. Pour cette raison, la source lumineuse est idéalement une source lumineuse allongée ayant une longueur égale à au moins 35 la largeur de la couche.

L'emplacement peut être positionné au-dessus d'un ruban de verre revêtu en mouvement, et comprendre une fente pour diriger la lumière à partir d'une source lumineuse allongée disposée en travers de la largeur du ruban de

verre revêtu lorsque celui-ci défile. La source lumineuse peut comprendre des tubes fluorescents TL. De préférence, l'illumination par la source lumineuse, c'est-à-dire l'intensité de la lumière polychromatique dirigée sur la couche, est contrôlée et les moyens pour obtenir un tel contrôle peuvent inclure au moins un photodétecteur. Avec l'aide de photodétecteurs, la source lumineuse peut être calibrée en mesurant l'illumination d'un nombre de points sélectionnés distribués sur la largeur du substrat (par exemple une douzaine de points distribués sur la largeur d'un ruban de verre qui a spécifiquement 3,2 m de large). Les niveaux d'illumination mesurés sont stockés. Pendant l'opération de contrôle de la couche, l'illumination aux points sélectionnés est mesurée. Si une variation à partir des valeurs stockées se produit, une correction proportionnelle à la variation peut automatiquement être appliquée pour y apporter remède.

Une variante de source lumineuse moins sensible à la température peut être utilisée à la place des tubes fluorescents, telle que des projecteurs lumineux, par exemple des lampes-spot.

Par exemple, avec une source lumineuse consistant en trois projecteurs lumineux, trois photodétecteurs seraient suffisants pour ce contrôle.

Pour obtenir une illumination plus uniforme, un filtre en verre dépoli peut être interposé entre la source lumineuse et la couche.

Pour une installation de dépôt de couche sur un convoyeur, les mesures de l'intensité de la lumière réfléchie devraient être prises immédiatement après l'étape du dépôt, près de l'extrémité aval du poste de dépôt de couche.

Le calibrage de la caméra peut être effectué en mesurant la réflexion par un substrat non revêtu et en fixant l'indication de l'épaisseur de la couche à zéro.

Avec un calibrage approprié et des valeurs-seuil prédéterminées on a trouvé que l'invention permet de contrôler facilement l'épaisseur et l'uniformité de la couche en cours de fabrication. Le procédé peut informer en temps réel, immédiatement après le dépôt de la couche. Si on définit préalablement les limites, une alarme peut fonctionner lorsque ces limites ont été dépassées et/ou une boucle de réaction peut être déclenchée pour ajuster les conditions de dépôt de la couche et corriger l'erreur.

Les valeurs-seuil peuvent utilement être obtenues en mesurant l'intensité de la lumière réfléchie par des échantillons ayant des couches d'épaisseur connue, aux limites des tolérances de fabrication souhaitées.

Dès lors, une forme préférée de réalisation de l'invention fournit un procédé pour appliquer une couche transparente sur un substrat sous forme

de feuille, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes:

(a) l'application de la couche sur le substrat;

(b) le contrôle de l'épaisseur et de l'uniformité d'épaisseur de la couche en dirigeant de la lumière polychromatique sur plusieurs endroits du substrat, en mesurant l'intensité de la lumière qui est réfléchiée en chacun de ces endroits à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes et en traitant les dites mesures pour générer un signal électrique qui est comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et avec les dits signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que l'épaisseur de la couche est comprise entre des tolérances prédéterminées; et

(c) en ajustant les paramètres de l'opération de dépôt de la couche en réponse au dit signal électrique, si nécessaire.

Etant donné qu'il est difficile de mesurer l'épaisseur de couches minces, il est surprenant qu'on puisse contrôler l'épaisseur en cours de fabrication, sans perturber la fabrication par la simple analyse de deux signaux électriques dérivés à des longueurs d'onde différentes, et particulièrement dans l'environnement chaud qui suit immédiatement l'opération de dépôt de la couche.

Lorsqu'un substrat est pourvu de deux ou plusieurs couches minces, déposées séquentiellement, il est possible de mettre en oeuvre le procédé de la présente invention immédiatement après chaque dépôt et/ou après que toutes les couches aient été déposées.

Il est également possible d'effectuer l'échantillonnage d'un substrat revêtu à intervalles réguliers pendant sa fabrication et d'inspecter ces échantillons par le procédé selon l'invention en dehors de la ligne de production, par exemple dans un laboratoire.

L'invention est particulièrement utile lorsque des mesures sont effectuées sur un substrat en mouvement, par exemple lorsque le substrat est du verre et que les mesures sont effectuées sur un ruban de verre en mouvement ou sur des feuilles de verre en mouvement à un endroit le long de la ligne de production en continu de feuilles de verre revêtues, comme par exemple dans une installation de pulvérisation cathodique sous vide ou dans une galerie de recuisson sur un ruban de verre obtenu par le procédé de flottage. Ce procédé est spécialement applicable pour des couches fabriquées par pyrolyse; les mesures peuvent être prises lorsque le verre est à environ 150°C. Ces mesures sont de préférence prises dans les 20 m en aval de la sortie du poste de dépôt de couche. Par exemple, les mesures peuvent être prises lorsque le verre est à environ 500°C à 600°C. La source lumineuse et la caméra sont de préférence

montées au-dessus de la voûte de la galerie de recuisson, une fente dans la voûte permettant d'exposer le ruban à la source lumineuse et à la caméra. Pour protéger davantage la source lumineuse et la caméra de la chaleur s'échappant de la galerie de recuisson, notamment par la fente dans la voûte, la source lumineuse et/ou la caméra peuvent être enfermées dans un espace réfrigéré, refroidi par exemple par de l'air froid statique, par un courant d'air ou par de l'eau.

L'ajustement de l'application de la matière de revêtement sur le substrat en réponse au signal électrique peut être obtenu par différentes méthodes selon le procédé de revêtement que l'on utilise, par exemple en changeant le débit de distribution de la matière au poste de revêtement, en changeant la vitesse de déplacement de la tête de pulvérisation et/ou en changeant les conditions d'environnement, comme la température, au poste de revêtement de manière à influencer de manière voulue le procédé de dépôt.

Quoiqu'on ait dit ci-dessus que le procédé selon l'invention peut inclure l'étape supplémentaire d'ajustement des paramètres de dépôt en réponse au dit signal, cela n'est pas essentiel. Il est également possible d'utiliser le signal électrique pour trier les échantillons de substrat revêtu en lots de différentes qualité, destinés par exemple à différents usages. En outre, le signal électrique peut être utilisé pour déterminer la nature d'un traitement ultérieur du verre revêtu.

L'invention sera maintenant décrite plus en détails, simplement à titre d'exemple, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels:

La figure 1A représente schématiquement un arrangement, vu de côté, d'un dispositif apte à la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention;

La figure 1B est en vue prise dans la direction "T" dans la figure 1A;

La figure 1C représente schématiquement une disposition de circuit apte à être utilisé dans le dispositif représenté aux figures 1A et 1B;

La figure 2 représente la relation entre la longueur d'onde réfléchie prédominante et l'épaisseur de la couche entre 65 et 105 nm, pour des couches d'alumine de différents indices de réfraction; et

La figure 3 représente la relation entre la réflexion et l'épaisseur de la couche entre 65 et 105 nm, pour des couches d'alumine de différents indices de réfraction.

En se référant aux figures 1A, 1B et 1C, dans une galerie de recuisson immédiatement en aval de l'application de la couche sur un ruban de verre 10, se trouve une boîte à lumière 12 s'étendant au travers de la galerie. La

boîte à lumière est espacée par exemple de 50 cm au-dessus de la voûte 14, c'est-à-dire qu'elle se trouve à 1 m au-dessus du ruban de verre 10. Le ruban de verre 10 est supporté par un transporteur à rouleaux 13. Un faisceau de lumière provenant de la boîte à lumière frappe la surface supérieure revêtue 11 du ruban de verre 10 sous un angle proche de la normale à cette surface (exagéré dans la figure 1A pour des raisons de clarté) et le faisceau réfléchi atteint une caméra couleur linéaire CCD 20 positionnée au centre de la largeur du ruban, à environ 3 à 4 m au-dessus du ruban de verre 10. La boîte à lumière 12 contient des tubes TL (fluorescents) 16 alimentés sous 20 000 Hz. Il est important de s'assurer que la luminosité de la source lumineuse est aussi uniforme que possible sur la longueur de la boîte à lumière. Pour y contribuer, une fenêtre en verre dépoli 18 couvre la sortie de lumière de la boîte à lumière 12. En variante, les tubes fluorescents TL 16 peuvent être remplacés par trois projecteurs de lumière pour éclairer la fenêtre en verre dépoli 18.

L'illumination par la boîte à lumière 12 peut être contrôlée au moyen de 14 photodétecteurs 19 positionnés en plusieurs points choisis répartis sur la largeur du substrat au travers du ruban de verre 10. La source lumineuse 12 peut être calibrée en mesurant l'illumination à chacun des photodétecteurs 19. Les niveaux d'illumination mesurés sont entreposés dans la mémoire d'un microprocesseur 24. Pendant le processus de contrôle, on mesure l'illumination aux points sélectionnés. Si une variation par rapport aux valeurs entreposées se produit, une correction proportionnelle à la variation est automatiquement générée par le microprocesseur 24 pour être appliquée aux signaux électriques fournis par les pixels de la caméra CCD 20 surveillant la zone adjacente au photodétecteur 19 qui a détecté la variation. Lorsque des projecteurs lumineux sont utilisés à la place des tubes fluorescents 16, la correction générée par le microprocesseur peut être appliquée directement à la source lumineuse 12.

Le ruban de verre 10 se déplace dans la direction de la flèche A et défile devant une tête de pulvérisation 22 animée d'un mouvement de va-et-vient du poste de revêtement. Des moyens de contrôle 28 ajustent le débit de matière à la tête de pulvérisation 22 et/ou la vitesse du va-et-vient de la tête de pulvérisation. Les mesures prises par la caméra 20 passent au microprocesseur où les calculs nécessaires sont effectués, comme on l'explique plus en détail en se référant à la figure 1C. Un écran d'affichage 26 affiche une indication de l'épaisseur de la couche ou tous autres paramètres dont la programmation du microprocesseur 24 permet le calcul. Une connexion entre le microprocesseur 24 et les moyens de contrôle 28 permet un contrôle automatique de l'épaisseur de la couche.

Une caméra appropriée est la caméra Colour Line Scan TL-2600 RGB de PULNIX. La caméra est équipée d'un objectif de 50 mm de longueur focale et d'un filtre infrarouge pour réduire le risque d'endommagement de la caméra par la chaleur. La largeur du faisceau lumineux provenant de la boîte à lumière 12 est plus grande que la largeur du ruban de verre 10 pour s'assurer que la caméra reçoit de la lumière réfléchie en provenance de la totalité de la largeur du ruban de verre revêtu, compte tenu de l'espace entre la boîte à lumière et le verre et entre le verre et l'objectif de la caméra.

La caméra 20 Colour Line Scan TL-2600 RGB est constituée de 3 lignes de 864 pixels actifs, ce qui, pour une largeur de ruban d'environ 3,2 m, donne une résolution d'environ 4 mm, ce qui est une résolution suffisamment haute pour le but poursuivi. Chaque pixel est un photodétecteur microscopique de $14 \times 14 \mu\text{m}$. Un filtre optique passe-bande est positionné devant chacune des trois lignes de pixels, correspondant respectivement aux longueurs d'onde rouge, vert et bleu. Un filtre coupant l'infrarouge et 2 filtres optiques passe-bande sont placés devant l'objectif de la caméra 20, dont les courbes de réponse permettent l'ajustement de l'équilibre du niveau d'illumination aux longueurs d'onde rouge, vert et bleu.

En se référant en particulier à la figure 1C, le temps d'intégration des charges électriques qui s'accumulent sur chaque pixel est ajustable. La sensibilité de détection pour chaque type de couche peut dès lors être ajustée, pour tenir compte du fait qu'il y a une différence significative du niveau de lumière tombant sur la caméra 20 entre une couche qui réfléchit 10% de la lumière et une couche qui réfléchit 50% de la lumière. Cet ajustement détermine le niveau des signaux qui sont émis par la caméra 20 sur la ligne 30. La caméra 20 est alimentée par une impulsion de synchronisation provenant d'un générateur à signal d'horloge 29 le long de la ligne 31, laquelle impulsion déclenche le transfert de la charge de chaque pixel au pixel voisin. Le temps d'intégration doit être plus grand que le nombre de pixels de la caméra 20 multiplié par le temps T séparant deux impulsions de synchronisation. Dans le cas présent, afin de tenir compte des pixels "noirs", le temps d'intégration est plus grand que $2700 \times T$.

Les signaux électriques produits par la caméra représentent la réflexion par la surface revêtue des trois couleurs rouge, vert et bleu (respectivement approximativement 580 - 700 nm, 515 nm et 420 - 450 nm). Ces signaux, désignés ici comme "[R]", "[G]" et "[B]", passent au microprocesseur 24, où ils sont utilisés pour déduire l'épaisseur et, facultativement, l'indice de réfraction de la couche.

Les signaux électriques analogues [R], [G] et [B], résultant des trois lignes de pixels, ayant des amplitudes proportionnelles à la quantité de lumière capturée par chaque pixel, sont multiplexés par pixel: d'abord les signaux [R], [G] et [B] pour le premier pixel de chacune des trois lignes, ensuite de même pour le
 5 second des pixels de chacune des trois lignes, et ainsi de suite. Ces signaux multiplexés sont envoyés à un convertisseur analogique-digital 32 de 8 bit, qui est également alimenté par une impulsion de synchronisation provenant du générateur de signal d'horloge 29 le long de la ligne 33. L'impulsion de synchronisation provenant du générateur de signal d'horloge 29 alimente
 10 également un générateur de signal indicateur de couleur 42. Les signaux de sortie digitaux provenant du convertisseur analogique-digital 32 sont alors envoyés via la ligne 34, simultanément avec un signal indicateur de couleur de 3 bit depuis le générateur de signal 42 via la ligne 43, à un microprocesseur 24 pour le traitement des données.

15 Le microprocesseur 24 effectue un traitement du signal et gère les paramètres du système. Les calculs sont effectués pixel par pixel pour chaque couleur. Les valeurs résultantes permettent d'établir des graphiques.

Le microprocesseur 24 calcule la moyenne des signaux [R], [G] et [B], à savoir $([R]+[G]+[B])/3$, pour indiquer la réflexion de la couche. Le
 20 microprocesseur 24 calcule également la différence entre deux signaux pour indiquer l'épaisseur de la couche à indice de réfraction constant, par exemple $[R]-[B]$, $[R]-[G]$ ou $[G]-[B]$.

Il est également possible que le microprocesseur 24 lisse les courbes [R], [G] et [B], par exemple pour établir, si on le désire, des courbes
 25 "lissées" de réflexion à chacune des longueurs d'onde [R], [G] et [B] en calculant la moyenne d'un certain nombre (ajustable) de pixels de la même couleur, tel que 3 ou 5 pixels adjacents. Ceci réduit, si on le désire, les différences de valeurs de signaux locaux entre un pixel et son voisin, dues par exemple à des mouvements de l'air chaud dans la galerie qui modifient les conditions d'illumination de la
 30 couche, ou dues à de la poussière, etc...

Si on le désire, le microprocesseur 24 peut être programmé pour générer un signal de commande en boucle de réaction, alimentant la ligne 36, vers les moyens de contrôle 28 pour ajuster les paramètres du processus de dépôt de la couche.

35 Il est également possible de calculer et d'appliquer des coefficients de correction à chaque signal [R], [G] et [B], afin qu'ils correspondent aux valeurs colorimétriques standardisées (coordonnées trichromatiques CIE ou coordonnées de Hunter L, a, b). Dans ce cas, il faudra tenir compte du substrat (verre clair,

verre bronze, verre gris, etc...) et de son épaisseur. Dans ce cas, la mesure ne sera plus relative, mais absolue.

Pour afficher les signaux de données traitées sous forme graphique, les signaux traités par le microprocesseur 24 peuvent alimenter via
 5 une ligne 37 un moniteur vidéo 26a et/ou via une ligne 39 une imprimante ou une table traçante 26b.

Des limites supérieure et inférieure correspondant à des tolérances de fabrication acceptables sont déterminées en prenant des mesures sur des échantillons de référence contrôlés par un dispositif de laboratoire. Ces limites
 10 peuvent être affichées sur le moniteur vidéo 26a et/ou sur le graphique imprimé par l'imprimante ou la table traçante 26b, par exemple sous forme de deux lignes pointillées horizontales. Ceci permet à l'opérateur de voir facilement si l'épaisseur (et l'indice de réfraction si cette donnée est incluse) dépasse les limites de tolérances et à quelle région de la largeur du substrat de verre ces
 15 dépassements se produisent.

La calibration du dispositif est obtenu en mesurant la réflexion par un ruban de verre non revêtu, ce qui permet de mettre à zéro l'indication de l'épaisseur de la couche. Toute non-uniformité de l'éclairement sur la largeur du ruban de verre, toutes erreurs dues à des imperfections dans l'optique de la
 20 caméra et toutes différences dans la sensibilité des pixels de la caméra 20, sont compensées en se référant au verre avant l'application de la couche. Ce calibrage conduit à l'application de coefficients de correction aux valeurs des signaux de chaque pixel afin d'obtenir 3 courbes de réponse plates. Ce calibrage est de préférence effectué immédiatement avant que le dépôt de la
 25 couche soit effectué, et peut doit être effectué avant chaque cycle de dépôt de couche.

Les coefficients de calibrage sont, par exemple, déterminés de manière telle que les signaux de sortie avec un verre non revêtu, après amplification, sont tous situés au centre de la gamme de sortie possible pour la
 30 caméra choisie 20, c'est-à-dire à 50% de l'amplitude maximum. Ce choix de 50% pour un verre non revêtu peut cependant varier en fonction du type de couche, par exemple selon le niveau de la réflexion lumineuse.

Pour chacun des pixels de chacune des trois couleurs, on peut stocker le coefficient pour l'appliquer à la valeur du signal que ce pixel procure,
 35 de manière que cette valeur corresponde aux 50% choisis. Ce coefficient est alors appliqué à tous les signaux ultérieurs provenant de ce pixel.

Dans le but de minimiser les erreurs survenant suite à une ondulation du ruban sur le transporteur (des réflexions de la source lumineuse

par différents points qui ne sont pas nécessairement uniformes) ou à une turbulence dans l'air chaud à l'intérieur de la galerie de recuisson (fluctuations dans l'indice de réfraction de l'air à l'intérieur de la galerie), on considère un certain nombre, ajustable, d'acquisitions de lots entiers de valeurs [R], [G] et [B], et les valeurs moyennes correspondant à une avance du ruban sont calculées.

De préférence une moyenne de 90 lectures sont prises pour environ 6 m de longueur de ruban de verre. Cette moyenne est comparée avec des limites supérieure et inférieure prédéterminées permettant à l'opérateur de voir si les tolérances sont dépassées en tout point au travers de la largeur du substrat.

L'introduction des paramètres fonctionnels (temps d'intégration, nombre d'acquisitions pour une série déterminée de données avant d'effectuer une moyenne, coefficients de calibrage, etc...) et le choix des fonctions et des signaux voulus, peut être fait à l'aide d'un clavier 41 associé au microprocesseur 24.

Le microprocesseur 24 envoie les signaux requis de commande de la caméra via la ligne 44 au générateur de signaux d'horloge 29, d'où ils passent à la caméra via la ligne 31.

EXEMPLE 1

Une solution contenant un composé d'aluminium est pulvérisée par une tête de pulvérisation animée d'un mouvement de va-et-vient sur un ruban de verre chaud en mouvement, qui est à une température de plus de 550°C. Le but de cette sous-couche d'alumine est que, lorsqu'on applique une couche supérieure d'oxyde d'étain, l'épaisseur optique de la sous-couche est suffisante pour réduire les effets d'interférence de la lumière visible réfléchiée à la couche supérieure. Pour atteindre cet objectif, les limites de l'épaisseur de la couche d'alumine sont très étroites. En fonction de l'épaisseur de la couche de SnO₂ appliquée ultérieurement la couche d'alumine doit avoir une épaisseur comprise entre 75 et 100 nm avec une tolérance de, par exemple, ± 3 nm et un indice de réfraction compris entre 1,68 et $1,73 \pm 0,01$

Pour des couches d'épaisseur et d'indice de réfraction voulus, la longueur d'onde réfléchiée dominante est comprise entre 480 et 575 nm, c'est-à-dire dans la gamme bleu à jaune. Si l'épaisseur augmente, la couleur réfléchiée glisse du bleu sous une épaisseur de 75-80 nm au jaunâtre sous une épaisseur de 100 nm. Ceci est représenté dans la figure 2 où la longueur d'onde réfléchiée dominante λ_D est mise en graphique en fonction de l'épaisseur t de la couche, pour des couches ayant des indices de réfraction variant de 1,60 à 1,72. On a découvert qu'à l'épaisseur-cible, la différence entre le signal de réflexion du pixel

rouge de la caméra (sensible principalement à 580-700 nm) et le signal de réflexion du pixel bleu de la caméra (sensible principalement à 420-450 nm) est indicative de l'épaisseur de la couche, c'est-à-dire:

$$t = f([R] - [B]).$$

5 L'indice de réfraction de la couche dépend légèrement de la composition, de la température du verre et de la température ambiante. A une épaisseur de couche de 75-80 nm la variation de la réflexion avec l'épaisseur est proche d'un maximum et dès lors des changements d'épaisseur ont seulement pour résultat des changements minimes de la réflexion. Cependant, la réflexion
10 change de manière significative avec l'indice de réfraction η_c de la couche et on peut de ce fait établir une relation entre la réflexion et l'indice de réfraction. La relation est représentée dans la figure 3 où la réflexion moyenne R, mesurée à trois longueurs d'onde de contrôle discrètes est mise en graphique en fonction de l'épaisseur t pour des couches d'indice de réfraction variant de 1,60 à 1,71.

15 Dès lors,

$$\eta_c = f([R] + [G] + [B]) / 3$$

Dès lors, en résumé, la moyenne des signaux générés aux trois longueurs d'onde de contrôle discrètes fournit une information qui est proportionnelle à l'indice de réfraction de la couche tandis que la différence
20 entre les signaux générés aux longueurs d'onde bleu et rouge donne une information proportionnelle à l'épaisseur de la couche.

Le microprocesseur peut également être programmé de manière à générer une alarme lorsque le signal électrique, généré par l'information indicatrice de l'épaisseur de la couche, tombe hors de valeurs-seuil
25 prédéterminées et/ou dans ces conditions de manière à ajuster automatiquement le processus de dépôt, par exemple en changeant la vitesse de va-et-vient de la tête de pulvérisation. De même, le microprocesseur peut être programmé de manière à générer une alarme lorsque le signal électrique, généré par l'information indicatrice de l'indice de réfraction de la couche, tombe hors de
30 valeurs-seuil prédéterminées et/ou dans ces conditions de manière à ajuster automatiquement le processus de dépôt, par exemple en changeant la température au poste de revêtement.

EXEMPLE 2

Dans le cas d'une couche absorbante anti-solaire produite par
35 pyrolyse à partir d'acétylacétonate et comprenant 62% CoO, 26% Fe₂O₃ et 12% Cr₂O₃ avec une épaisseur comprise entre 40 et 50 nm, La couleur réfléchie prédominante est le jaune. Une indication de l'épaisseur optique de la couche est obtenue de la différence entre les signaux électriques produits aux

longueurs d'onde bleu et rouge. Cependant, dans ce cas, on a trouvé que l'indice de réfraction varie à peine une fois que la composition de la matière de la couche est fixée, de sorte que l'épaisseur géométrique est facilement contrôlée.

EXEMPLE 3

5 Dans le cas d'une couche anti-solaire légèrement absorbante produite par pyrolyse et comprenant TiO_2 avec une épaisseur d'environ $50 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$, la couleur réfléchie prédominante est le gris-bleu. La différence entre les signaux aux longueurs d'onde rouge et bleu permet de contrôler l'épaisseur optique de cette couche.

10 EXEMPLE 4

Dans le cas d'une sous-couche comprenant SiO_2 ou SiO_x avec une épaisseur d'environ 90 nm , la couleur réfléchie dominante est le gris. Une telle couche peut être produite par dépôt chimique en phase vapeur ou, en variante, par pulvérisation cathodique, spécialement par pulvérisation cathodique radio-
15 fréquence. La couleur réfléchie tend vers le bleu clair ou vers le jaune clair avec les changements de l'épaisseur de la couche, mais ces changements sont difficiles à détecter à l'oeil nu. Dans cet exemple, il est préférable de comparer les signaux produits aux longueurs d'onde vert et bleu pour contrôler l'aspect de la couche.

20 EXEMPLE 5

Dans le cas d'une couche supérieure comprenant SnO_2 avec une épaisseur d'environ 300 nm , déposée sur une sous-couche d'alumine de 75 nm d'épaisseur et appliquée comme dans l'exemple 1, il n'y a pas de couleur réfléchie prédominante. Si la couche est trop mince, on obtient une couleur
25 réfléchie rose-violet. Si la couche est trop épaisse, on obtient une couleur vert terne. La différence entre les signaux aux longueurs d'onde vert et rouge permet de contrôler cette couche. Les différences entre les signaux aux longueurs d'onde vert et bleu (ou entre les signaux aux longueurs d'onde rouge et bleu) permettent la différenciation entre deux ordres d'interférence verts (ou respectivement entre
30 deux rouges), par exemple entre le 3e et le 4e ordres d'interférence, lors de changements substantiels de l'épaisseur de la couche.

EXEMPLE 6

Un substrat en verre porte une couche de silicium métallique de 25 nm déposée par dépôt chimique en phase vapeur. La couleur normale est
35 gris métallique. Lorsque l'épaisseur de la couche est trop grande, la couleur devient jaune (et tend alors vers le rouge). La réflexion lumineuse est de l'ordre de 50% et la transmission lumineuse est d'environ 33% .

L'épaisseur de la couche peut être contrôlée par calcul de la

différence entre les signaux [R] et [B].

EXEMPLE 7

Un substrat à revêtement multi-couches verre/TiN/SnO₂ (Transmission lumineuse $T_L = 35\%$) est produit par dépôt au magnétron. Le produit est examiné, en réflexion depuis le côté verre, au moyen d'un dispositif selon l'invention. La couleur réfléchie est bleue. Pour une couche de TiN d'épaisseur constante, la différence entre les signaux aux longueurs d'onde bleu et vert permet de contrôler l'épaisseur et l'uniformité d'épaisseur de la couche supérieure de SnO₂ afin de s'assurer d'un aspect visuel uniforme du produit lorsqu'il est regardé depuis le côté verre. L'épaisseur de la couche de TiN peut être contrôlée antérieurement, selon l'invention, par une caméra positionnée dans l'appareil de dépôt, après le dépôt du TiN et avant le dépôt de SnO₂.

EXEMPLE 8

Un substrat multi-couches à forte réflexion verre/acier inoxydable/TiN (transmission lumineuse $T_L = 8\%$) est produit par dépôt magnétron. Le produit est examiné, par réflexion depuis la face verre, au moyen d'un dispositif selon l'invention. La couleur réfléchie est argent métallique et brillante. A une épaisseur constante de la couche d'acier inoxydable, la différence entre les signaux aux longueurs d'onde bleu et rouge permet le contrôle de l'épaisseur, et de l'uniformité de l'épaisseur, de la couche supérieure de TiN afin de s'assurer d'un aspect visuel uniforme du produit lorsqu'il est regardé depuis la face verre. L'épaisseur de la couche d'acier inoxydable peut être contrôlée antérieurement, par une caméra positionnée dans l'appareil de dépôt, après le dépôt de l'acier inoxydable et avant le dépôt du TiN.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour contrôler l'épaisseur et l'uniformité d'épaisseur d'une couche transparente appliquée sur un substrat sous forme de feuille, qui comprend la projection de lumière polychromatique sur plusieurs endroits du substrat et la mesure de l'intensité de la lumière qui est réfléchiée par ces endroits,
5 caractérisé en ce que, en chaque endroit, l'intensité de la lumière réfléchiée est mesurée à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes et les dites mesures sont traitées pour générer un signal électrique qui peut être comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et avec les signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que
10 l'épaisseur de la couche est comprise entre des tolérances prédéterminées.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les dites longueurs d'onde de contrôle sont comprises dans la gamme de 400 nm à 750 nm et sont séparées d'au moins 50 nm

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la
15 première longueur d'onde de contrôle est comprise entre 400 et 480 nm (bleu) et la seconde longueur d'onde de contrôle est comprise entre 580 et 750 nm (rouge).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les mesures sont prises à deux longueurs d'onde.

20 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les mesures sont prises à trois longueurs d'onde.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les dites trois mesures sont traitées pour générer un signal électrique indicatif de l'indice de réfraction de la couche.

25 7. Procédé selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la première longueur d'onde de contrôle est comprise entre 400 et 480 nm (bleu), la seconde longueur d'onde de contrôle est comprise 580 et 750 nm (rouge), et la troisième longueur d'onde est comprise entre 480 et 580 nm (vert).

30 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'intensité de la lumière réfléchiée est mesurée par différents éléments sensibles pour chaque longueur d'onde de contrôle.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la mesure de la lumière réfléchiée est obtenue au moyen d'un équipement à
35 réseaux à transfert de charge (CCD).

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'équipement à réseau à transfert de charge est une caméra couleur linéaire CCD.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les dits endroits sont espacés l'un de l'autre de moins de 50 mm.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que les dits endroits sont espacés l'un de l'autre de moins de 10 mm.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les dits endroits sont espacés l'un de l'autre de moins de 5 mm.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les mesures sont prises substantiellement sur la totalité de la largeur du substrat.

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que l'intensité de la lumière polychromatique dirigée vers le substrat est contrôlée.

16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que les mesures sont traitées pour calculer la différence entre l'intensité de la lumière réfléchie à deux des dites longueurs d'onde de contrôle.

17. Procédé pour appliquer une couche transparente sur un substrat sous forme de feuille, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes:

(a) l'application de la couche sur le substrat;

(b) le contrôle de l'épaisseur et de l'uniformité d'épaisseur de la couche en dirigeant de la lumière polychromatique sur plusieurs endroits du substrat, en mesurant l'intensité de la lumière qui est réfléchie en chacun de ces endroits à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes et en traitant les dites mesures pour générer un signal électrique qui est comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et les dits signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que l'épaisseur de la couche est comprise entre des tolérances prédéterminées; et

(c) en ajustant les paramètres de l'opération de dépôt de la couche en réponse au dit signal électrique, si nécessaire.

18. Procédé selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que les mesures sont effectuées sur un substrat en mouvement.

19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que le substrat est en verre et les mesures sont effectuées sur un ruban de verre ou des feuilles en mouvement, en un endroit le long de la ligne de production continue d'un ruban ou de feuilles de verre portant une couche.

20. Procédé selon l'une des revendications 18 ou 19, caractérisé en ce que les mesures sont effectuées à l'intérieur d'une galerie de recuisson sur un ruban de verre obtenu par le procédé de flottage.

5 21. Procédé selon l'une des revendications 18 à 20, caractérisé en ce que la couche est formée par pyrolyse, et les mesures sont effectuées à moins de 20 m, et de préférence à moins de 10 m, de l'extrémité aval du poste de dépôt de couche.

10 22. Dispositif pour contrôler l'épaisseur et l'uniformité d'épaisseur d'une couche transparente appliquée sur un substrat, caractérisé en ce qu'il comprend:

(i) une source de lumière polychromatique orientée vers plusieurs endroits du substrat;

(ii) des moyens pour mesurer l'intensité de la lumière qui est réfléchiée par la couche en chacun de ces endroits à au moins deux longueurs d'onde de contrôle discrètes; et

15 (iii) des moyens pour traiter les mesures de manière à générer un signal électrique qui peut être comparé avec une ou plusieurs valeur(s)-seuil prédéterminées et avec les signaux électriques générés aux autres endroits pour fournir des indications sur le fait que l'épaisseur de la couche est comprise entre

20 des tolérances prédéterminées.

23. Dispositif selon la revendication 22, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer l'intensité de la lumière réfléchiée par la dite couche comprennent une caméra couleur linéaire CCD.

25 24. Dispositif selon l'une des revendications 22 ou 23, caractérisé en ce que les dits moyens pour traiter les mesures comprennent un microprocesseur.

25. Dispositif selon l'une des revendications 22 à 24, caractérisé en ce que la source lumineuse est une source lumineuse allongée ayant une longueur égale à au moins la largeur de la couche.

30 26. Dispositif selon l'une des revendications 22 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour contrôler l'intensité de la lumière polychromatique dirige sur la couche, les dits moyens comprenant au moins un photodétecteur.

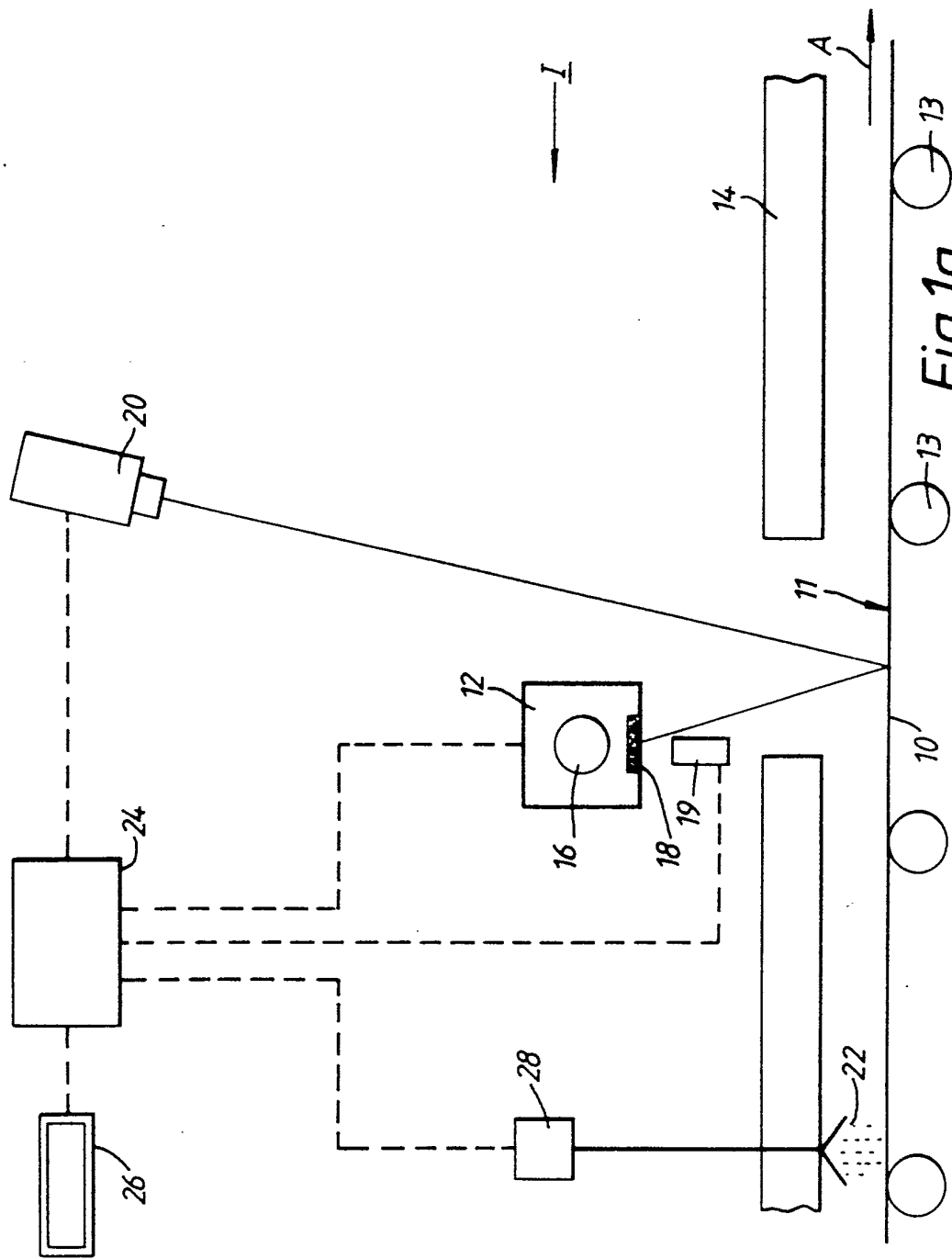


Fig. 1a

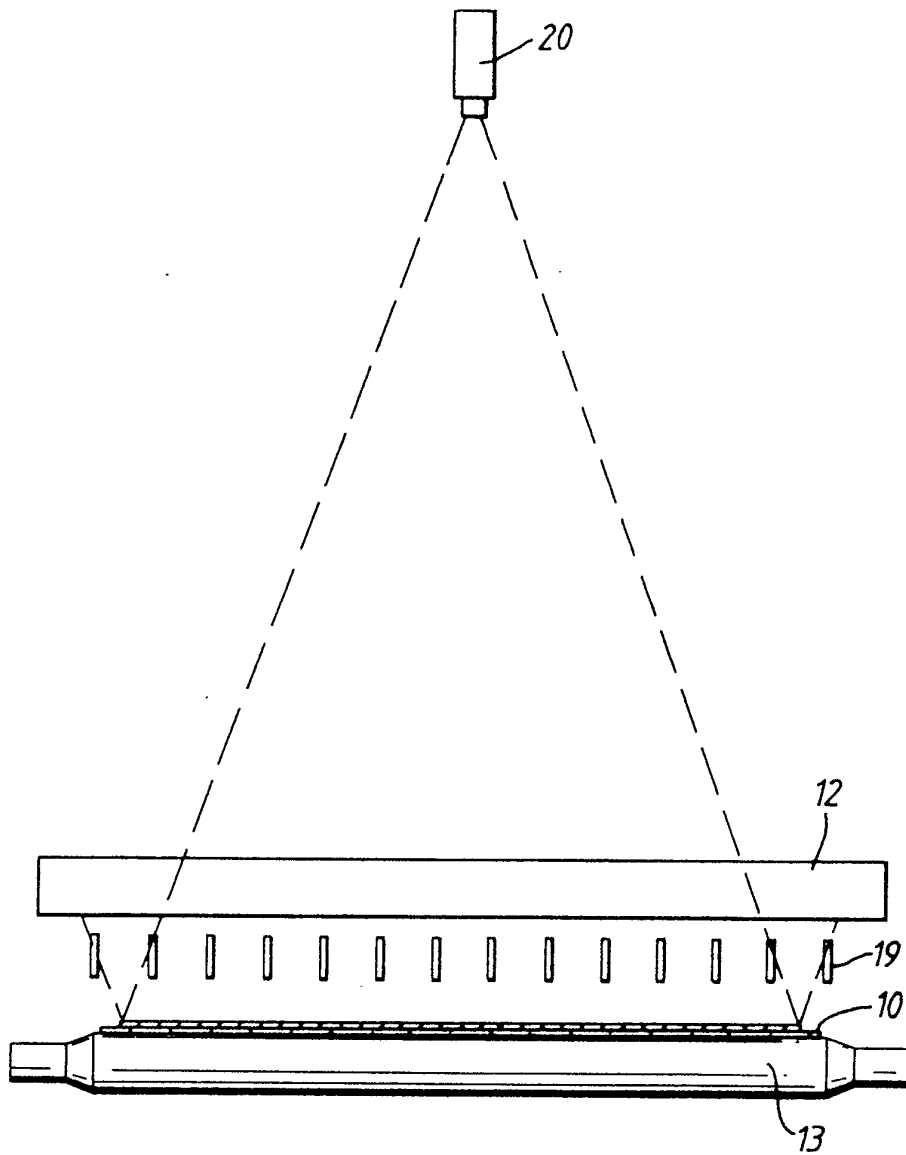


Fig. 1b

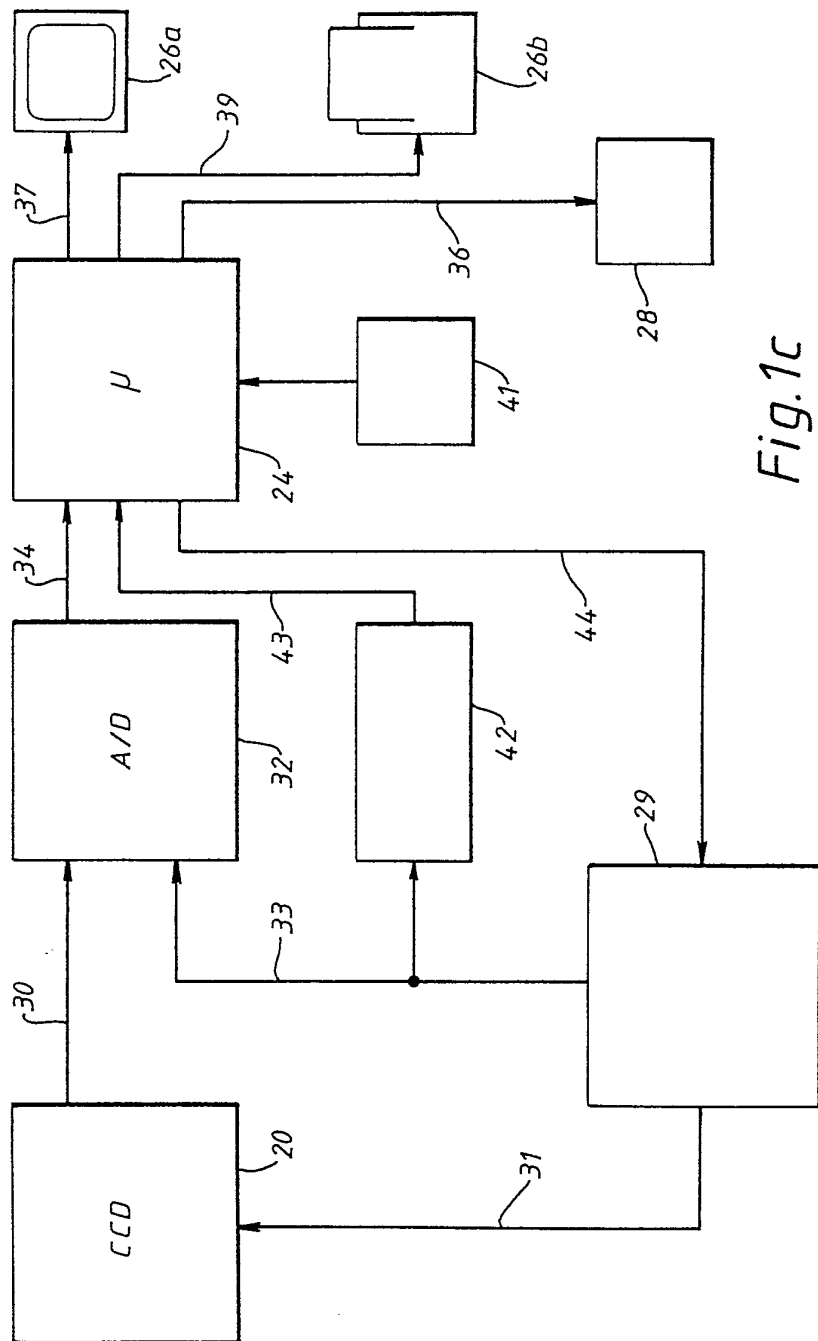


Fig. 1c

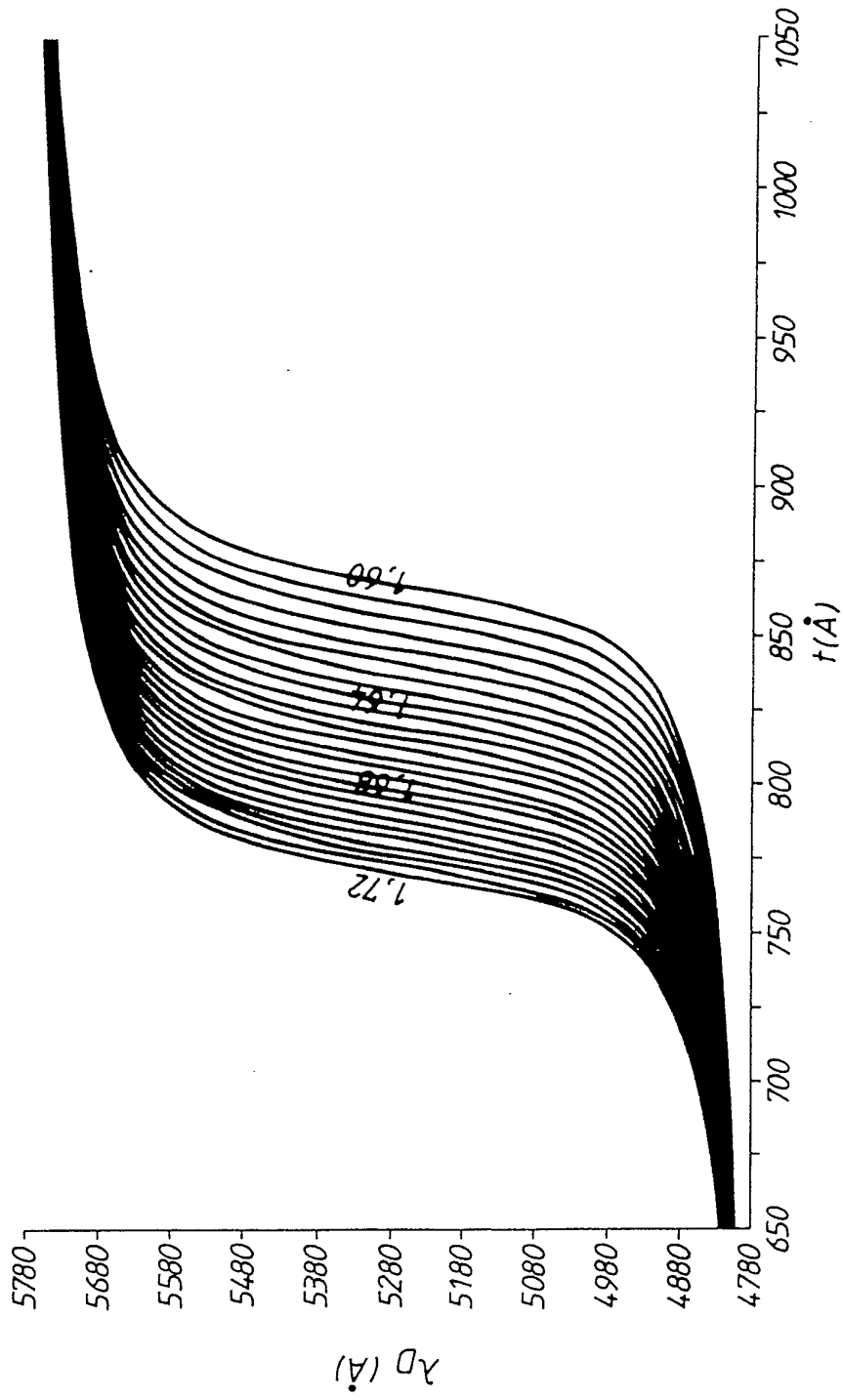


Fig.2

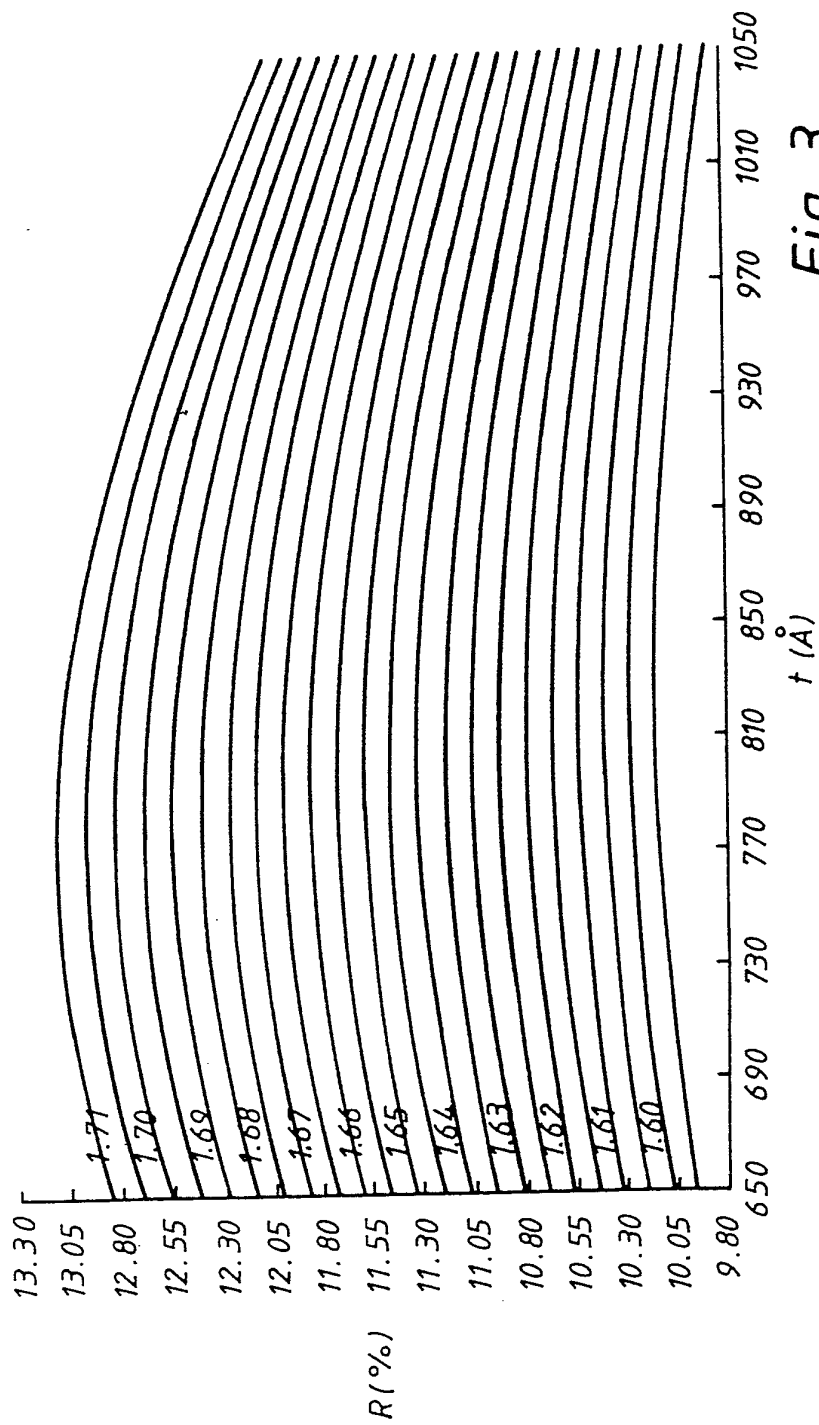


Fig. 3