

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
8 octobre 2009 (08.10.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2009/122090 A2**

- (51) Classification internationale des brevets :  
C03C 17/36 (2006.01) B32B 17/06 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2009/050444
- (22) Date de dépôt international :  
17 mars 2009 (17.03.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
0851731 18 mars 2008 (18.03.2008) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE [FR/FR]; 18 Avenue d'Alsace, F-92400 Courbevoie (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
REUTLER, Pascal [DE/FR]; 21 Allée des Eiders, F-75019 Paris (FR). GERARDIN, Hadia [FR/FR]; 4 rue d'Orsel, F-75018 Paris (FR).
- (74) Mandataire : SAINT-GOBAIN RECHERCHE; 39 Quai Lucien Lefranc, F-93300 Aubervilliers (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : SUBSTRATE COMPRISING A STACK WITH THERMAL PROPERTIES

(54) Titre : SUBSTRAT MUNI D'UN EMPILEMENT A PROPRIETES THERMIQUES

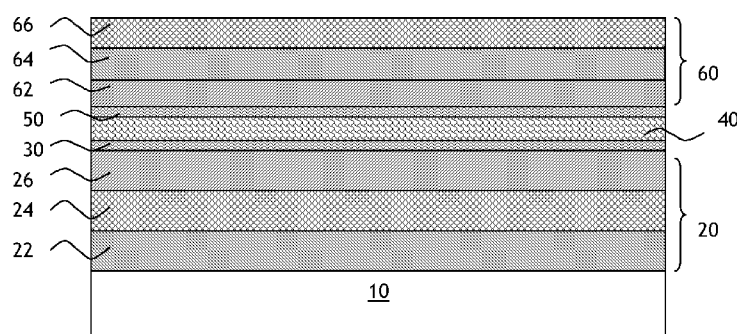


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a glass substrate (10) having, on a main side, a stack of thin layers comprising a functional metallic layer (40) with reflective properties in infrared and/or solar radiation, particularly silver-based or based on a metallic alloy containing silver, and two anti-reflective coatings (20, 60), said coatings each comprising at least one dielectric layer (22, 64) silicon-nitride based, possibly doped with at least one other element, such as aluminum, said functional layer (40) being placed between the two antireflective coatings (20, 60), characterized in that the optical thickness  $e_{60}$  in nm of the underlying antireflective coating (60) is:  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , where  $e_{40}$  is the geometric thickness in nm of the functional layer (40) such as  $13 < e_{40} < 25$ , and preferably  $14 < e_{40} < 18$ , and where  $\alpha$  is a number =  $25 \pm 15$ .

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/122090 A2



---

L'invention se rapporte à un substrat (10) verrier muni sur une face principale d'un empilement de couches minces comportant une couche fonctionnelle (40) métallique à propriétés de réflexion dans l'infrarouge et/ou dans le rayonnement solaire, notamment à base d'argent ou d'alliage métallique contenant de l'argent, et deux revêtements antireflet (20, 60), lesdits revêtements comportant chacun au moins une couche diélectrique (22, 64) à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium, ladite couche fonctionnelle (40) étant disposée entre les deux revêtements antireflet (20, 60), caractérisé en ce que l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent (60) est :  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle (40) telle que  $13 < e_{40} < 25$ , et de préférence  $14 < e_{40} < 18$ , et où  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 15$ .

## SUBSTRAT MUNI D'UN EMPILEMENT A PROPRIETES THERMIQUES

L'invention concerne un substrat transparent notamment en un matériau  
5 rigide minéral comme le verre, ledit substrat étant revêtu d'un empilement  
de couches minces comprenant une couche fonctionnelle de type métallique  
pouvant agir sur le rayonnement solaire et/ou le rayonnement infrarouge de  
grande longueur d'onde.

L'invention concerne plus particulièrement l'utilisation de tels substrats  
10 pour fabriquer des vitrages d'isolation thermique et/ou de protection solaire.  
Ces vitrages peuvent être destinés aussi bien à équiper les bâtiments que les  
véhicules, en vue notamment de diminuer l'effort de climatisation et/ou  
d'empêcher une surchauffe excessive (vitrages dits « de contrôle solaire »)  
et/ou diminuer la quantité d'énergie dissipée vers l'extérieur (vitrages dits  
15 « bas émissifs ») entraînée par l'importance toujours croissante des surfaces  
vitrées dans les bâtiments et les habitacles de véhicules.

Ces vitrages peuvent par ailleurs être intégrés dans des vitrages  
présentant des fonctionnalités particulières, comme par exemple des vitrages  
chauffants ou des vitrages électrochromes.

20 Un type d'empilement de couches connu pour conférer aux substrats de  
telles propriétés est constitué d'une couche métallique fonctionnelle à  
propriétés de réflexion dans l'infrarouge et/ou dans le rayonnement solaire,  
notamment une couche fonctionnelle métallique à base d'argent ou d'alliage  
métallique contenant de l'argent.

25 Dans ce type d'empilement, la couche fonctionnelle se trouve ainsi  
disposée entre deux revêtements antireflets comportant chacun en général  
plusieurs couches qui sont chacune en un matériau diélectrique du type  
nitrure et notamment nitrure de silicium ou d'aluminium ou oxyde. Du point  
de vue optique, le but de ces revêtements qui encadrent la couche  
30 fonctionnelle métallique est « d'antirefléter » cette couche fonctionnelle  
métallique.

Un revêtement de blocage est toutefois intercalé parfois entre un ou chaque revêtement antireflet et la couche métallique fonctionnelle, le revêtement de blocage disposé sous la couche fonctionnelle en direction du substrat favorise la croissance cristalline de cette couche et la protège lors d'un éventuel traitement thermique à haute température, du type bombage et/ou trempe et le revêtement de blocage disposé sur la couche fonctionnelle à l'opposé du substrat protège cette couche d'une éventuelle dégradation lors du dépôt du revêtement antireflet supérieur et lors d'un éventuel traitement thermique à haute température, du type bombage et/ou trempe.

10

Actuellement, il existe des empilements de couches minces bas-émissifs à une seule couche fonctionnelle (désignés par la suite sous l'expression « empilement monocouche fonctionnelle »), à base d'argent, présentant une émissivité normale  $\varepsilon_N$  de l'ordre de 3 %, une transmission lumineuse dans le visible  $T_L$  de l'ordre de 80 % et une sélectivité de l'ordre de 1,3 lorsqu'ils sont montés dans un double vitrage classique, comme par exemple en face 3 d'une configuration : 4-16(Ar-90%)-4, constituée de deux feuilles de verre de 4 mm séparée par une lame de gaz à 90 % d'argon et 10 % d'air d'une épaisseur de 16 mm, dont l'une des feuilles est revêtu de l'empilement monocouche fonctionnelle : la feuille la plus à l'intérieur du bâtiment lorsque l'on considère le sens incident de la lumière solaire entrant dans le bâtiment ; sur sa face tournée vers la lame de gaz.

Pour mémoire, la sélectivité correspond au rapport de la transmission lumineuse  $T_{Lvis}$  dans le visible du vitrage sur le facteur solaire FS du vitrage et est telle que :  $S = T_{Lvis} / FS$ .

Le facteur solaire d'un vitrage est le rapport de l'énergie totale entrant dans le local à travers ce vitrage sur l'énergie solaire incidente totale.

L'homme du métier sait que positionner l'empilement de couches minces en face 2 du double vitrage (sur la feuille la plus à l'extérieur du bâtiment lorsque l'on considère le sens incident de la lumière solaire entrant dans le

30

bâtiment et sur sa face tournée vers la lame de gaz) lui permettra de diminuer le facteur solaire et d'augmenter ainsi la sélectivité.

Dans le cadre de l'exemple ci-dessus, il est alors possible d'obtenir une sélectivité de l'ordre de 1,35.

5 Pour abaisser l'émissivité, l'homme du métier sait aussi que l'épaisseur de la couche d'argent peut être augmentée. Cela permet d'augmenter la sélectivité à une valeur de l'ordre de 1,5 lorsque l'empilement est positionné en face 2 du double vitrage, mais cela se traduit par une baisse de la transmission lumineuse dans le visible et surtout une augmentation de la  
10 réflexion lumineuse dans le visible jusqu'à des valeurs difficilement acceptables de l'ordre de 35 % à 45 %. En outre, cela peut se traduire par une coloration non acceptable, notamment en réflexion, en particulier dans le rouge.

La solution la plus performante consiste alors à employer un empilement  
15 à plusieurs couches fonctionnelles, positionné en face 2 du vitrage et notamment un empilement à deux couches fonctionnelles (désigné par la suite sous l'expression « empilement bicouches fonctionnelles »), afin de garder une transmission lumineuse dans le visible élevée, tout en maintenant une faible réflexion lumineuse dans le visible. Il est ainsi possible d'obtenir par exemple,  
20 une sélectivité  $> 1,4$ , voire  $> 1,5$  et même  $> 1,6$  et une réflexion lumineuse de l'ordre de 15 %, voire de l'ordre de 10 %.

Cette solution peut en outre permettre d'obtenir une coloration acceptable, notamment en réflexion, en particulier qui ne soit pas dans le rouge.

25 Toutefois, du fait de la complexité de l'empilement et de la quantité de matière déposée, ces empilements à plusieurs couches fonctionnelles coûtent plus cher à fabriquer que des empilements monocouche fonctionnelle.

Le but de l'invention est de parvenir à remédier aux inconvénients de  
30 l'art antérieur, en mettant au point un nouveau type d'empilement de couches monocouche fonctionnelle, empilement qui présente une faible

résistance par carré (et donc une faible émissivité), une transmission lumineuse élevée et une couleur relativement neutre, en particulier en réflexion côté couches (mai aussi côté opposé : « côté substrat »), et que ces propriétés soient de préférence conservées dans une plage restreinte que  
5 l'empilement subisse ou non, un (ou des) traitement(s) thermique(s) à haute température du type bombage et/ou trempe et/ou recuit.

Un autre but important est de proposer un empilement monocouche fonctionnelle qui présente une émissivité faible tout en présentant une faible réflexion lumineuse dans le visible, ainsi qu'une coloration acceptable,  
10 notamment en réflexion, en particulier qui ne soit pas dans le rouge.

L'invention a ainsi pour objet, dans son acception la plus large, un substrat verrier selon la revendication 1. Ce substrat est muni sur une face principale d'un empilement de couches minces comportant une couche  
15 fonctionnelle métallique à propriétés de réflexion dans l'infrarouge et/ou dans le rayonnement solaire, notamment à base d'argent ou d'alliage métallique contenant de l'argent, et deux revêtements antireflet, lesdits revêtements comportant chacun au moins une couche diélectrique à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme  
20 l'aluminium, ladite couche fonctionnelle étant disposée entre les deux revêtements antireflet, d'une part la couche fonctionnelle étant éventuellement déposée sur un revêtement de sous-blocage disposé entre le revêtement antireflet sous-jacent et la couche fonctionnelle et d'autre part la couche fonctionnelle étant éventuellement déposée directement sous un  
25 revêtement de sur-blocage disposé entre la couche fonctionnelle et le revêtement antireflet sus-jacent, caractérisé en ce que l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent est :  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle telle que  $13 \leq e_{40} \leq 25$ , et de préférence  $14 \leq e_{40} \leq 18$ , et où  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 15$ .

30  $\alpha$  est un nombre de préférence =  $25 \pm 10$ , voire  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 5$ , qui représente une variable de la définition de l'épaisseur optique, en nm.

Par « épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent » on entend au sens de l'invention l'épaisseur optique totale de la ou de toutes les couches diélectriques de ce revêtement qui est ou sont disposées au-dessus de la couche métallique fonctionnelle, à l'opposé du substrat, ou au-dessus du revêtement de sur-blocage s'il est présent.

De même, par « épaisseur optique  $e_{20}$  en nm du revêtement antireflet sous-jacent » on entend au sens de l'invention l'épaisseur optique totale de la ou de toutes les couches diélectriques de ce revêtement qui est ou sont disposées entre le substrat et la couche métallique fonctionnelle ou entre le substrat et le revêtement de sous-blocage s'il est présent.

La couche diélectrique à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium qui est au minimum comprise dans chaque revêtement antireflet, comme défini ci-avant, présente un indice optique mesuré à 550 nm compris entre 1,8 et 2,5 en incluant ces valeurs, ou, de préférence, entre 1,9 et 2,3, voire entre 1,9 et 2,1 en incluant ces valeurs.

Comme habituellement, les indices de réfraction, et par voie de conséquence les épaisseurs optiques obtenues à partir des indices de réfraction, sont considérés ici à la longueur d'onde de 550 nm.

L'empilement selon l'invention est un empilement bas-émisif de telle sorte que la résistance par carré  $R$  en ohms par carré de la couche fonctionnelle est, de préférence, telle que :  $R \times e_{40}^2 - A < 25 \times e_{40}$ , avec  $A$  un nombre = 580, voire = 500, voire = 450, voire = 420, voire = 200, voire = 120. De par cette formule, on définit que la couche fonctionnelle métallique est d'autant mieux cristallisée que  $A$  est petit et cette couche présente alors une absorption d'autant plus faible dans l'infrarouge et une réflexion dans l'infrarouge d'autant plus élevée.

En outre, pour obtenir un compromis acceptable entre une transmission lumineuse élevée, des couleurs neutres en réflexion et une sélectivité relativement élevée, le rapport  $E$  de l'épaisseur optique  $e_{20}$  en nm du

revêtement antireflet sous-jacent sur l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent est, de préférence, tel que :  $0,3 \leq E \leq 0,7$ , voire  $0,4 \leq E \leq 0,6$ .

Dans une variante particulière, lesdites couches diélectriques à base de  
5 nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre  
élément, comme l'aluminium présentent respectivement pour la couche  
diélectrique à base de nitrure de silicium du revêtement antireflet sous-jacent  
une épaisseur physique comprise entre 5 et 25 nm, voire entre 10 et 20 nm et  
pour la couche diélectrique à base de nitrure de silicium du revêtement  
10 antireflet sus-jacent une épaisseur physique comprise entre 15 et 60 nm, voire  
entre 25 et 55 nm.

Dans une variante particulière, la dernière couche du revêtement  
antireflet sous-jacent, celle la plus éloignée du substrat, est une couche de  
mouillage à base d'oxyde, notamment à base d'oxyde de zinc, éventuellement  
15 dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium.

Dans une variante toute particulière, le revêtement antireflet sous-  
jacent comprend au moins une couche diélectrique à base de nitrure,  
notamment de nitrure de silicium et/ou de nitrure d'aluminium et au moins  
une couche de lissage non cristallisée en un oxyde mixte, ladite couche de  
20 lissage étant en contact avec une couche de mouillage sus-jacente cristallisée.

De préférence, le revêtement de sous-blocage et/ou le revêtement de  
sur-blocage comprend une couche fine à base de nickel ou de titane  
présentant une épaisseur géométrique  $e$  telle que  $0,2 \text{ nm} \leq e \leq 1,8 \text{ nm}$ .

Dans une version particulière, au moins une couche fine à base de nickel,  
25 et notamment celle du revêtement de sur-blocage, comprend du chrome, de  
préférence dans des quantités massiques de 80 % de Ni et 20 % de Cr.

Dans une autre version particulière, au moins une couche fine à base de  
nickel, et notamment celle du revêtement de sur-blocage, comprend du  
titane, de préférence dans des quantités massique de 50 % de Ni et 50 % de Ti.

Par ailleurs, le revêtement de sous-blocage et/ou le revêtement de sur-blocage peut comprendre au moins une couche fine à base de nickel présent sous forme métallique si le substrat muni de l'empilement de couches minces n'a pas subi de traitement thermique de bombage et/ou trempe après le  
5 dépôt de l'empilement, cette couche étant au moins partiellement oxydée si le substrat muni de l'empilement de couches minces a subi au moins un traitement thermique de bombage et/ou trempe après le dépôt de l'empilement.

La couche fine à base de nickel du revêtement de sous-blocage et/ou la  
10 couche fine à base de nickel du revêtement de sur-blocage lorsqu'elle est présente est, de préférence, directement au contact de la couche fonctionnelle.

La dernière couche du revêtement antireflet sus-jacent, celle la plus éloignée du substrat, est, de préférence, à base d'oxyde, déposée de  
15 préférence sous stœchiométrique, et notamment est à base de titane ( $TiO_x$ ) ou à base d'oxyde mixte de zinc et d'étain ( $SnZnO_x$ ), éventuellement par un autre élément à raison de 10 % en masse au maximum.

L'empilement peut ainsi comporter une dernière couche (« overcoat » en anglais), c'est-à-dire une couche de protection, déposée de préférence sous  
20 stœchiométrique. Cette couche se retrouve oxydée pour l'essentiel stœchiométriquement dans l'empilement après le dépôt.

Cette couche de protection présente, de préférence, une épaisseur comprise entre 0,5 et 10 nm.

25 Le vitrage selon l'invention incorpore au moins le substrat porteur de l'empilement selon l'invention, éventuellement associé à au moins un autre substrat. Chaque substrat peut être clair ou coloré. Un des substrats au moins notamment peut être en verre coloré dans la masse. Le choix du type de coloration va dépendre du niveau de transmission lumineuse et/ou de l'aspect  
30 colorimétrique recherchés pour le vitrage une fois sa fabrication achevée.

Le vitrage selon l'invention peut présenter une structure feuilletée, associant notamment au moins deux substrats rigides du type verre par au moins une feuille de polymère thermoplastique, afin de présenter une structure de type verre/empilement de couches minces/feuille(s)/verre. Le polymère peut notamment être à base de polyvinylbutyral PVB, éthylène vinylacétate EVA, polyéthylène téréphtalate PET, polychlorure de vinyle PVC.

Le vitrage peut alors présenter une structure de type verre/empilement de couches minces/feuille(s) de polymère.

Les vitrages selon l'invention sont aptes à subir un traitement thermique sans dommage pour l'empilement de couches minces. Ils sont donc éventuellement bombés et/ou trempés.

Le vitrage peut être bombé et/ou trempé en étant constitué d'un seul substrat, celui muni de l'empilement. Il s'agit alors d'un vitrage dit « monolithique ». Dans le cas où ils sont bombés, notamment en vue de constituer des vitrages pour véhicules, l'empilement de couches minces se trouve de préférence sur une face au moins partiellement non plane.

Le vitrage peut aussi être un vitrage multiple, notamment un double-vitrage, au moins le substrat porteur de l'empilement pouvant être bombé et/ou trempé. Il est préférable dans une configuration de vitrage multiple que l'empilement soit disposé de manière à être tourné du côté de la lame de gaz intercalaire. Dans une structure feuilletée, le substrat porteur de l'empilement peut être en contact avec la feuille de polymère.

Le vitrage peut aussi être un triple vitrage constitué de trois feuilles de verre séparées deux par deux par une lame de gaz. Dans une structure en triple vitrage, le substrat porteur de l'empilement peut être en face 2 et/ou en face 5, lorsque l'on considère que le sens incident de la lumière solaire traverse les faces dans l'ordre croissant de leur numéro.

Lorsque le vitrage est monolithique ou multiple du type double-vitrage, triple vitrage ou vitrage feuilleté, au moins le substrat porteur de l'empilement peut être en verre bombé ou trempé, ce substrat pouvant être bombé ou trempé avant ou après le dépôt de l'empilement.

Lorsque ce vitrage est monté en double-vitrage il présente, de préférence une sélectivité  $S \geq 1,4$  voire  $S > 1,4$ , ou  $S \geq 1,5$  voire  $S > 1,5$ .

L'invention concerne également le procédé de fabrication des substrats  
5 selon l'invention, qui consiste à déposer l'empilement de couches minces sur son substrat par une technique sous vide du type pulvérisation cathodique éventuellement assistée par champ magnétique.

Il n'est toutefois pas exclu que la première (ou les premières) couche(s) de l'empilement puisse(nt) être déposée(s) par une autre technique, par  
10 exemple par une technique de décomposition thermique de type pyrolyse.

L'invention concerne en outre un procédé de fabrication d'un empilement selon l'invention dans lequel le revêtement antireflet sus-jacent est déposée selon une épaisseur optique  $e_{60}$ , en nm :  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle et où  $\alpha$  est un  
15 nombre =  $25 \pm 15$ .

L'invention concerne en outre l'utilisation du substrat selon l'invention, pour réaliser un double vitrage qui présente une sélectivité  $S \geq 1,4$ , voire  $S > 1,4$ , ou  $S \geq 1,5$  voire  $S > 1,5$ .

Le substrat selon l'invention peut-être en particulier utilisé pour réaliser  
20 une électrode transparente d'un vitrage chauffant ou d'un vitrage électrochrome ou d'un dispositif d'éclairage ou d'un dispositif de visualisation ou d'une cellule photovoltaïque.

Avantageusement, la présente invention permet ainsi de réaliser un  
25 empilement de couches minces monocouche fonctionnelle présentant dans une configuration vitrage multiple, et notamment double vitrage, une sélectivité importante ( $S \geq 1,40$ ), une faible émissivité ( $\epsilon_N \leq 3 \%$ ) et une esthétique favorable ( $T_{Lvis} \geq 60 \%$ ,  $R_{Lvis} \leq 30 \%$ , couleurs neutres en réflexion), alors que jusqu'ici, seuls des empilements bicouches fonctionnelles  
30 permettaient d'obtenir cette combinaison de critères.

L'empilement monocouche fonctionnelle selon l'invention coûte moins cher à produire qu'un empilement bicouches fonctionnelles présentant des caractéristiques similaires.

Il est même possible de réaliser dans le cadre de l'invention un empilement monocouche fonctionnelle qui présente une émissivité plus faible qu'un empilement bicouches fonctionnelles qui aurait pourtant une épaisseur totale de couche fonctionnelle supérieure à celle de cet empilement monocouche fonctionnelle.

Les détails et caractéristiques avantageuses de l'invention ressortent des exemples non limitatifs suivants, illustrés à l'aide de la figure 1 ci-jointe illustrant un empilement monocouche fonctionnelle selon l'invention, la couche fonctionnelle étant pourvue d'un revêtement de sous-blocage et d'un revêtement de sur-blocage et l'empilement étant en outre pourvu d'un revêtement de protection optionnel.

Dans cette figure, les proportions entre les épaisseurs des différentes couches ne sont pas rigoureusement respectées afin de faciliter leur lecture.

Par ailleurs, dans tous les exemples ci-après l'empilement de couches minces est déposé sur un substrat 10 en verre sodo-calcique d'une épaisseur de 4 mm.

En outre, pour ces exemples, dans tous les cas où un traitement thermique a été appliqué au substrat, il s'agissait d'un recuit pendant environ 8 minutes à une température d'environ 620°C suivi d'un refroidissement à l'air ambiant (environ 20°C), afin de simuler un traitement thermique de bombage ou de trempé.

Ainsi, pour chacun des exemples, lorsqu'une caractéristique a été mesurée avant ce traitement thermique elle est classée dans la colonne : BHT et lorsqu'elle a été mesurée après ce traitement thermique elle est classée dans la colonne : AHT.

Pour tous les exemples ci-après, pour le montage en double vitrage, l'empilement de couches minces a été déposé en face 3, c'est-à-dire sur la

feuille la plus à l'extérieur du bâtiment lorsque l'on considère le sens incident de la lumière solaire entrant dans le bâtiment ; sur sa face tournée vers la lame de gaz.

5           La figure 1 illustre une structure d'empilement monocouche fonctionnelle déposé sur un substrat 10 verrier, transparent, dans laquelle la couche fonctionnelle 40 unique est disposée entre deux revêtements antireflet, le revêtement antireflet sous-jacent 20 situé en dessous de la couche fonctionnelle 40 en direction du substrat 10 et le revêtement  
10 antireflet sus-jacent 60 disposé au-dessus de la couche fonctionnelle 40 à l'opposé du substrat 10.

Ces deux revêtements antireflet 20, 60, comportent chacun au moins une couche diélectrique 22, 24, 26 ; 62, 64, 66.

15           Eventuellement, d'une part la couche fonctionnelle 40 peut être déposée sur un revêtement de sous-blocage 30 disposé entre le revêtement antireflet sous-jacent 20 et la couche fonctionnelle 40 et d'autre part la couche fonctionnelle 40 peut être déposée directement sous un revêtement de sur-blocage 50 disposé entre la couche fonctionnelle 40 et le revêtement antireflet sus-jacent 60.

20           Sur la figure 1 on constate que le revêtement antireflet 20 inférieur comporte trois couches antireflet 22, 24 et 26 , que le revêtement antireflet 60 supérieur comporte deux couches antireflet 62, 64, et que ce revêtement antireflet 60 se termine par une couche de protection optionnelle 66, en particulier à base d'oxyde, notamment sous stœchiométrie en oxygène.

25

Selon l'invention, l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent 60 est :

$$e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha, \text{ (relation (1))}$$

30           où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle 40 telle que  $13 \leq e_{40} \leq 25$ , et de préférence  $14 \leq e_{40} \leq 18$ , et où  $\alpha$  est un nombre

- 12 -

(pas nécessairement entier) représentant une épaisseur en nm et étant compris entre  $25 + 15$  et  $25 - 15$ , c'est-à-dire compris entre 40 et 10.

Par ailleurs, de préférence, la résistance par carré R en ohms par carré  
5 de la couche fonctionnelle 40 en nm (mesurée sans traitement thermique du type bombage, trempe du substrat revêtu de l'empilement) est telle que :

$$R \times e_{40}^2 - A < 25 \times e_{40} \text{ (relation (2))}$$

Avec A un nombre (pas nécessairement entier) = 580, voire = 500, voire = 450, voire = 420, voire = 250, voire = 120.

10 En effet, la résistance par carré d'un film mince conducteur dépend de son épaisseur selon la loi de Fuchs-Sondheimer qui s'exprime :

$$R_c \times t^2 = \rho \times t + Y.$$

Dans cette formule,  $R_c$  désigne la résistance par carré, t désigne l'épaisseur du film mince en nm,  $\rho$  désigne la résistivité intrinsèque du  
15 matériau formant la couche mince et Y correspond à la réflexion spéculaire ou diffuse des porteurs de charges au niveau des interfaces. L'invention permet d'obtenir une résistivité intrinsèque  $\rho$  telle que  $\rho$  est de l'ordre de  $25 \Omega \cdot \text{nm}$  et une amélioration de la réflexion des porteurs telle que Y est égal ou inférieur à  $600 (\text{nm})^2 \text{Ohms}$ .

20 Des valeurs très faibles de Y peuvent être obtenues par exemple en mettant en œuvre la technologie divulguée dans la demande internationale de brevet publiée sous le numéro : WO 2005/070540.

En outre, de préférence, le rapport E de l'épaisseur optique  $e_{20}$  en nm du  
25 revêtement antireflet sous-jacent 20 sur l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent 60 est tel que :

$$0,3 \leq E \leq 0,7, \text{ voire } 0,4 \leq E \leq 0,6 \text{ (relation (3))}$$

Une simulation numérique a dans un premier temps été réalisée  
30 (exemples 1, 2 et 3 ci-après), puis un empilement de couches minces a effectivement été déposé : l'exemple 4.

Le tableau 1 ci-après illustre les épaisseurs en nanomètres de chacune des couches ou des revêtements des exemples 1 à 3 et les principales caractéristiques des ces exemples :

Couche	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3
Epaisseur optique $e_{20}$	60	60	60
Epaisseur géométrique $e_{40}$	12	16	16
Epaisseur optique $e_{60}$	88	88	105
$\alpha$	28	8	25
$T_{Lvis}$ (%)	80,6	77,4	73,9
FS (%)	57,3	50,1	49,6
S	1,39	1,53	1,48
$a_{Rg}^*$	-0,2	9,0	0,6
$b_{Rg}^*$	-7,0	0,3	-3,4

5

Tableau 1

Dans ce tableau, les caractéristiques optiques présentées consistent en :

- $T_{Lvis}$ , transmission lumineuse  $T_L$  dans le visible en %, mesurées selon l'illuminant D65,
- facteur solaire FS
- 10 - sélectivité S correspondant au rapport de la transmission lumineuse  $T_{Lvis}$  dans le visible sur le facteur solaire FS tel que :  $S = T_{Lvis} / FS$ , et
- couleurs en réflexion  $a_{Rg}^*$  et  $b_{Rg}^*$  dans le système LAB mesurées selon l'illuminant D65, côté du substrat opposé à la face principale sur laquelle est déposée l'empilement de couches minces,
- 15 la transmission lumineuse  $T_{Lvis}$ , le facteur solaire FS et la sélectivité S étant considérés dans la configuration double-vitrage 4-16 (Ar 90%)-4.

Pour l'exemple 1, un empilement monocouche argent a été modélisé afin que l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent 60

vérifie la relation (1) avec  $\alpha = 28$ . La sélectivité est faible pour cette épaisseur d'argent :  $S = 1,39$ .

En augmentant l'épaisseur d'argent de l'empilement à 16 nm, sans changer les épaisseurs de diélectriques, afin d'obtenir l'exemple 2, la valeur  
5 de  $\alpha$  trouvée est hors de la relation (1) :  $\alpha = 8$ . Si la sélectivité est très bonne du fait de l'abaissement du facteur solaire, le produit n'est pas acceptable en ce qu'il présente une couleur rouge en réflexion, comme le traduit la valeur élevée de  $a_{Rg}^*$ .

En adaptant l'épaisseur du revêtement antireflet sus-jacent 60 de façon  
10 à vérifier la relation (1) avec  $\alpha = 25$ , afin d'obtenir l'exemple 3, on retrouve une esthétique convenable, et la sélectivité reste bonne :  $S = 1,48$ .

L'exemple 4 a été réalisé sur la base de la structure d'empilement monocouche fonctionnelle illustrée figure 1 dans laquelle la couche  
15 fonctionnelle 40 est pourvue d'un revêtement de sous-blocage 30 et d'un revêtement de sur-blocage 50 respectivement immédiatement sous et immédiatement sur la couche fonctionnelle 40.

Toutefois, dans le cadre de l'exemple 4, il n'y a pas eu de revêtement de sous-blocage 30.

20 Dans la structure d'empilement par ailleurs, un revêtement antireflet 20 inférieur est déposé immédiatement sous le revêtement de sous-blocage 30 et au contact du substrat 10 et un revêtement antireflet 60 supérieur est déposé immédiatement sur le revêtement de sur-blocage 50.

Le tableau 2 ci-après illustre les épaisseurs géométriques (et non pas les  
25 épaisseurs optiques) en nanomètres de chacune des couches de l'exemple 4 :

Couche	Matériau	Ex. 4
66	SnZnO <sub>x</sub> :Sb	4
64	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> :Al	28
62	ZnO:Al	20
50	NiCr	1
40	Ag	15,6
26	ZnO:Al	4
24	SnZnO <sub>x</sub> :Sb	5
22	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> :Al	19

Tableau 2

Conformément à l'enseignement de la demande internationale de brevet  
 5 N° WO 2007/101964, le revêtement antireflet sous-jacent 20 comprend une  
 couche diélectrique 22 à base de nitrure de silicium et au moins une couche  
 de lissage 24 non cristallisée en un oxyde mixte, en l'occurrence un oxyde  
 mixte de zinc et d'étain qui est ici dopé à l'antimoine (déposé à partir d'une  
 10 cible métallique constitué des rapports massiques 65:34:1 respectivement  
 pour Zn:Sn:Sb), ladite couche de lissage 24 étant en contact avec ladite  
 couche de mouillage 26 sus-jacente.

Dans cet empilement, la couche de mouillage 26 en oxyde de zinc dopé à  
 l'aluminium ZnO:Al (déposé à partir d'une cible métallique constitué de zinc  
 dopé à 2 % en masse d'aluminium) permet d'améliorer la cristallisation de  
 15 l'argent, ce qui améliore sa conductivité ; cet effet est accentué par l'emploi  
 de la couche de lissage amorphe de SnZnO<sub>x</sub>:Sb, qui améliore la croissance de  
 ZnO et donc de l'argent.

Les couches en nitrure de silicium 22, 64 sont en Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dopé à 10 % en  
 masse d'aluminium.

20 Cet empilement présente de plus l'avantage d'être trempable.

L'épaisseur du revêtement antireflet sus-jacent 60 vérifie la relation (1).  
 En théorie, selon cette relation, l'épaisseur optique e<sub>60</sub> en nm devrait être de

103 pour une valeur  $\alpha = 25$ . En pratique, une épaisseur optique  $e_{60}$  en nm de 105 a été mesurée, ce qui donne une valeur  $\alpha = 27$ .

L'épaisseur optique  $e_{20}$  en nm du revêtement antireflet sous-jacent 20 est :  $e_{20} = 63$ .

- 5 Le rapport E des épaisseurs optiques  $E = e_{20} / e_{60}$  est de 0,6 ; il vérifie donc bien la relation (3).

Les caractéristiques de résistivité, optiques et énergétiques de cet exemple sont reportées dans le tableau 3 ci-après :

- 10 Dans ce tableau, les caractéristiques optiques présentées consistent en :
- $T_{Lvis}$ , transmission lumineuse  $T_L$  dans le visible en %, mesurées selon l'illuminant D65, qui est  $\geq 50$  % et même  $\geq 60$  %,
  - $R_{Lvis}$ , réflexion lumineuse  $R_L$  dans le visible en %, mesurée côté extérieur du double vitrage, selon l'illuminant D65, qui est  $\leq 35$  % et même  $\leq 30$  %,
  - couleurs en réflexion  $a_{Rg}^*$  et  $b_{Rg}^*$  dans le système LAB mesurées selon l'illuminant D65, côté du substrat opposé à la face principale sur laquelle est déposée l'empilement de couches minces, qui sont neutres, légèrement dans le bleu,
  - facteur solaire FS qui est  $\leq 50$  %, et même  $\leq 45$  %,
  - sélectivité  $S = T_{Lvis} / FS$  et qui est  $\geq 1,4$ , et même  $\geq 1,5$ ,
- la transmission lumineuse  $T_{Lvis}$ , la réflexion lumineuse  $R_{Lvis}$ , le facteur solaire FS et la sélectivité S étant considérés dans une configuration double-vitrage 4-16 (Ar 90%)-4.

Ex.	R (ohms/ )	$T_{Lvis}$ (%)	$R_{Lvis}(\%)$	$a_{Rg}^*$	$b_{Rg}^*$	FS (%)	S
4 BHT	2,4	64,5	26,4	-0,2	-11,1	43,4	1,5
4 AHT	1,9	66,7	25,7	1,9	-6,5	44,4	1,5

Ainsi, la résistance par carré de l'empilement tant avant qu'après traitement thermique de l'exemple 4 selon l'invention est toujours inférieure à 3 ohms par carré et elle se traduit par une émissivité normale  $\epsilon_N$  dans la plage de 1 à 2,5 % avant traitement thermique et dans la plage de 1 à 2 % après traitement thermique.

Par ailleurs,  $25 \times e_{40} = 390$ , et  $R \times e_{40}^2 - 580 = 4,064$  ; ce qui est bien inférieur à 390.

La résistance par carré  $R$  de la couche fonctionnelle 40 avant traitement thermique vérifie donc bien :  $R \times e_{40}^2 - A < 25 \times e_{40}$  (relation (2)) avec  $A = 580$  ou  $A = 500$  ou  $A = 400$  et même avec  $A = 200$ .

Cette relation (2) est en outre vérifiée avec la résistance par carrée mesurée après traitement thermique.

Cet exemple montre qu'il est possible de combiner forte sélectivité et faible émissivité, avec un empilement comportant une seule couche métallique fonctionnelle en argent, tout en conservant une esthétique convenable (la  $T_{Lvis}$  est supérieure à 60 %, la  $R_{Lvis}$  est inférieure à 30 % et les couleurs sont neutres en réflexion).

De plus, la réflexion lumineuse  $R_{Lvis}$ , la transmission lumineuse  $T_{Lvis}$  mesurées selon l'illuminant D65 et les couleurs en réflexion  $a^*$  et  $b^*$  dans le système LAB mesurées selon l'illuminant D65 côté substrat ne varient pas de manière vraiment significative lors du traitement thermique.

En comparant les caractéristiques optiques et énergétiques avant traitement thermique avec ces mêmes caractéristiques après traitement thermique, aucune dégradation majeure n'a été constatée.

L'empilement de l'exemple 4 est ainsi un empilement trempable au sens de l'invention puisque la variation de transmission lumineuse dans le visible est inférieure 5 et même inférieure à 3.

Il est donc difficile de distinguer des substrats selon l'exemple 4 ayant subi un traitement thermique de substrats respectivement de ce même exemple n'ayant pas subi de traitement thermique, lorsqu'ils sont disposés côte à côte.

En outre, la résistance mécanique de l'empilement selon l'invention est très bonne grâce à la présence de la couche de protection 66.

Par ailleurs, la tenue chimique générale de cet empilement de l'exemple 4 est globalement bonne.

5

Du fait de l'épaisseur important de la couche d'argent (et donc de la faible résistance par carré obtenue) ainsi que des bonnes propriétés optiques (en particulier la transmission lumineuse dans le visible), il est possible, par ailleurs d'utiliser le substrat revêtu de l'empilement selon l'invention pour  
10 réaliser un substrat électrode transparent.

Ce substrat électrode transparent peut convenir pour un dispositif électroluminescent organique, en particulier en remplaçant la couche 64 en nitrure de silicium de l'exemple 4 par une couche conductrice (avec en particulier une résistivité inférieure à  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ) et notamment une couche à  
15 base d'oxyde. Cette couche peut être par exemple en oxyde d'étain ou à base d'oxyde de zinc éventuellement dopé Al ou Ga, ou à base d'oxyde mixte et notamment d'oxyde d'Indium et d'étain ITO, d'oxyde d'Indium et de zinc IZO, d'oxyde d'étain et de zinc SnZn éventuellement dopé (par exemple avec Sb, F). Ce dispositif électroluminescent organique peut être utilisé pour réaliser  
20 un dispositif d'éclairage ou un dispositif de visualisation (écran).

D'une manière générale, le substrat électrode transparent peut convenir pour vitrage chauffant, pour tout vitrage électrochrome, tout écran de visualisation, ou encore pour une cellule photovoltaïque et notamment pour une face arrière de cellule photovoltaïque transparente.

25

La présente invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que l'homme du métier est à même de réaliser différentes variantes de l'invention sans pour autant sortir du cadre du brevet tel que défini par les revendications.

## REVENDEICATIONS

1. Substrat (10) transparent muni sur une face principale d'un empilement de couches minces comportant une couche fonctionnelle (40) 5 métallique à propriétés de réflexion dans l'infrarouge et/ou dans le rayonnement solaire, notamment à base d'argent ou d'alliage métallique contenant de l'argent, et deux revêtements antireflet (20, 60), lesdits revêtements comportant chacun au moins une couche diélectrique (22, 64) à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre 10 élément, comme l'aluminium, ladite couche fonctionnelle (40) étant disposée entre les deux revêtements antireflet (20, 60), d'une part la couche fonctionnelle (40) étant éventuellement déposée sur un revêtement de sous-blocage (30) disposé entre le revêtement antireflet sous-jacent (20) et la couche fonctionnelle (40) et d'autre part la couche fonctionnelle (40) étant 15 éventuellement déposée directement sous un revêtement de sur-blocage (50) disposé entre la couche fonctionnelle (40) et le revêtement antireflet sus-jacent (60), **caractérisé en ce que** l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du revêtement antireflet sus-jacent (60) est :  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle (40) telle que  $13 \leq$  20  $e_{40} \leq 25$ , et de préférence  $14 \leq e_{40} \leq 18$ , et où  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 15$ .

2. Substrat (10) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 10$ , voire  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 5$ .

3. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la résistance par carré R en ohms par carré de la 25 couche fonctionnelle (40) est telle que :  $R \times e_{40}^2 - A < 25 \times e_{40}$ , avec A un nombre = 580, voire = 500, voire = 450, voire = 420, voire = 200, voire = 120.

4. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le rapport E de l'épaisseur optique  $e_{20}$  en nm du revêtement antireflet sous-jacent (20) sur l'épaisseur optique  $e_{60}$  en nm du

revêtement antireflet sus-jacent (60) est tel que :  $0,3 \leq E \leq 0,7$ , voire  $0,4 \leq E \leq 0,6$ .

5 5. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** lesdites couches diélectriques (22, 64) à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium présentent respectivement pour la couche diélectrique (22) à base de nitrure de silicium du revêtement antireflet sous-jacent (20) une épaisseur physique comprise entre 5 et 25 nm, voire entre 10 et 20 nm et pour la couche diélectrique (64) à base de nitrure de silicium du revêtement antireflet sus-jacent (60) une épaisseur physique comprise entre 15 et 60 nm, voire entre 25 et 55 nm.

15 6. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la dernière couche du revêtement antireflet sous-jacent (20), celle la plus éloignée du substrat, est une couche de mouillage (26) à base d'oxyde, notamment à base d'oxyde de zinc, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium.

20 7. Substrat (10) selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le revêtement antireflet sous-jacent (20) comprend au moins une couche diélectrique (22) à base de nitrure, notamment de nitrure de silicium et/ou de nitrure d'aluminium et au moins une couche de lissage (24) non cristallisée en un oxyde mixte, ladite couche de lissage (24) étant en contact avec une couche de mouillage (26) sus-jacente cristallisée.

25 8. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le revêtement de sous-blocage (30) et/ou le revêtement de sur-blocage (50) comprend une couche fine à base de nickel ou de titane présentant une épaisseur géométrique  $e$  telle que  $0,4 \text{ nm} \leq e \leq 1,8 \text{ nm}$ .

9. Substrat (10) selon la revendication 8, *caractérisé en ce qu'*au moins une couche fine à base de nickel, et notamment celle du revêtement de sur-blocage (50), comprend du chrome, de préférence dans des quantités massique de 80 % de Ni et de 20 % de Cr.

5 10. Substrat (10) selon la revendication 8, *caractérisé en ce qu'*au moins une couche fine à base de nickel, et notamment celle du revêtement de sur-blocage (50), comprend du titane, de préférence dans des quantités massique de 50 % de Ni et 50 % de Ti.

10 11. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, *caractérisé en ce que* le revêtement de sous-blocage (30) et/ou le revêtement de sur-blocage (50) comprend au moins une couche fine à base de nickel présent sous forme métallique si le substrat muni de l'empilement de couches minces n'a pas subi de traitement thermique de bombage et/ou trempe après le dépôt de l'empilement, ledit alliage étant au moins  
15 partiellement oxydé si le substrat muni de l'empilement de couches minces a subi au moins un traitement thermique de bombage et/ou trempe après le dépôt de l'empilement.

20 12. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, *caractérisé en ce que* la couche fine à base de nickel du revêtement de sous-blocage (30) et/ou la couche fine à base de nickel du revêtement de sur-blocage (50) est directement au contact de la couche fonctionnelle (40).

25 13. Substrat (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, *caractérisé en ce que* la dernière couche du revêtement antireflet sus-jacent (60), celle la plus éloignée du substrat, est à base d'oxyde, déposée de préférence sous stœchiométrique, et notamment est à base de titane ( $TiO_x$ ) ou à base d'oxyde mixte de zinc et d'étain ( $SnZnO_x$ ).

14. Vitrage incorporant au moins un substrat (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, éventuellement associé à au moins un autre substrat, ledit

vitrage étant monté en monolithique ou en vitrage multiple du type double-vitrage ou triple vitrage ou vitrage feuilleté, et le substrat porteur de l'empilement est éventuellement bombé et/ou trempé.

15 15. Vitrage selon la revendication 13 ou 14, *caractérisé en ce qu'il* présente, monté en double-vitrage, une sélectivité  $S \geq 1,4$  voire  $S > 1,4$ , ou  $S \geq 1,5$  voire  $S > 1,5$ .

10 16. Procédé de fabrication d'un substrat (10) verrier muni sur une face principale d'un empilement de couches minces, notamment du substrat selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, l'empilement comportant une couche fonctionnelle (40) métallique à propriétés de réflexion dans l'infrarouge et/ou dans le rayonnement solaire, notamment à base d'argent ou d'alliage métallique contenant de l'argent, et deux revêtements antireflet (20, 60), lesdits revêtements comportant chacun au moins une couche diélectrique (22, 64) à base de nitrure de silicium, éventuellement dopé à l'aide d'au moins un autre élément, comme l'aluminium, ladite couche fonctionnelle (40) étant disposée entre les deux revêtements antireflet (20, 60), d'une part la couche fonctionnelle (40) étant éventuellement déposée sur un revêtement de sous-blocage (30) disposé entre le revêtement antireflet sous-jacent (20) et la couche fonctionnelle (40) et d'autre part la couche fonctionnelle (40) étant éventuellement déposée directement sous un revêtement de sur-blocage (50) disposé entre la couche fonctionnelle (40) et le revêtement antireflet sus-jacent (60), *caractérisé en ce que* le revêtement antireflet (60) sus-jacent est déposée selon une épaisseur optique  $e_{60}$ , en nm :  $e_{60} = 5 \times e_{40} + \alpha$ , où  $e_{40}$  est l'épaisseur géométrique en nm de la couche fonctionnelle (40) et où  $\alpha$  est un nombre =  $25 \pm 15$ .

30 17. Utilisation du substrat selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, pour réaliser un double vitrage qui présente une sélectivité  $S \geq 1,4$  voire  $S > 1,4$ , ou  $S \geq 1,5$  voire  $S > 1,5$  ou pour réaliser une électrode transparente d'un vitrage chauffant ou d'un vitrage électrochrome ou d'un dispositif d'éclairage ou d'un dispositif de visualisation ou d'une cellule photovoltaïque.

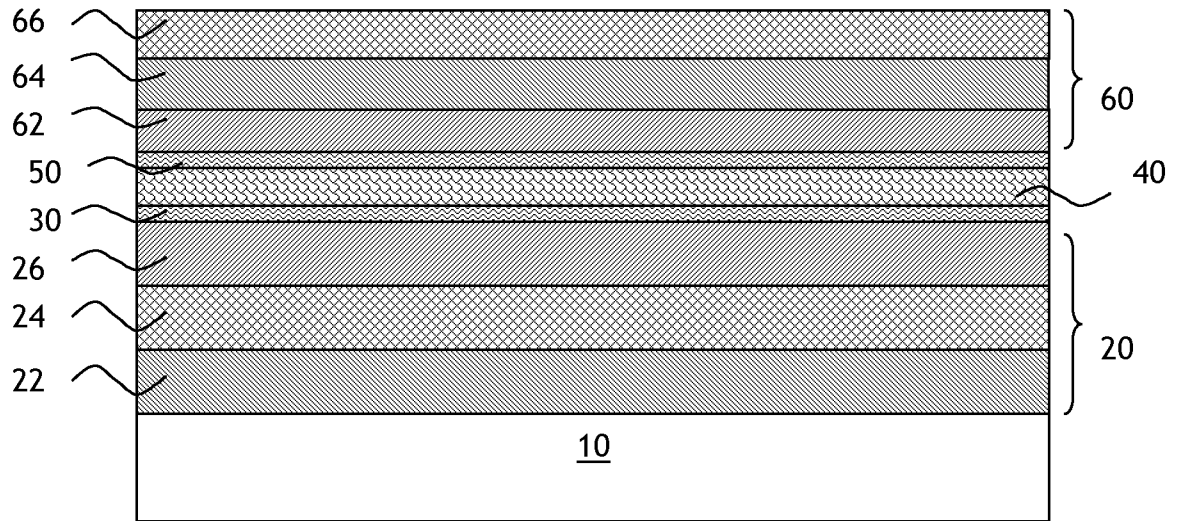


Fig. 1