

(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
9 février 2012 (09.02.2012)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/017162 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 31/0224 (2006.01) *H01L 51/44* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01) *C03C 17/34* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/051728

(22) Date de dépôt international :
19 juillet 2011 (19.07.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1003022 19 juillet 2010 (19.07.2010) 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) : **AGUIAR,**
Rosiana [BR/FR]; 33 rue Juge, F-75015 Paris (FR).
NGHIEM, Bernard [FR/FR]; 8 chemin du Tour de
Ville, F-60190 Arsy (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, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, 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 : TRANSPARENT ELECTRODE FOR A HIGH-YIELD PHOTOVOLTAIC CELL

(54) Titre : ELECTRODE TRANSPARENTE POUR CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE A HAUT RENDEMENT

(57) Abstract : The invention relates to a transparent electrode for a photovoltaic cell, characterised in that it comprises a growth layer of crystallised nanoparticles having a majority of lateral sizes at least equal to 30 nm of a semi-conductor material, in a percentage of surface coverage by the nanoparticles comprised between 5 and 40%, said growth layer being directly coated by an electroconductive layer. The invention also relates to a transparent substrate associated with said electrode, and to a method for producing said electrode.

(57) Abrégé : L'invention concerne une électrode transparente pour cellule photovoltaïque, caractérisée en ce qu'elle comprend une couche de croissance de nanoparticules cristallisées de tailles latérales majoritairement au moins égales à 30 nm d'un matériau semi-conducteur, en un pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules compris entre 5 et 40 %, directement revêtue d'une couche électroconductrice, un substrat transparent associé à cette électrode, et un procédé de fabrication de cette électrode.



WO 2012/017162 A2

ELECTRODE TRANSPARENTE POUR CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE A HAUT RENDEMENT

L'invention se rapporte à une électrode transparente pour cellule
5 photovoltaïque, ainsi qu'à un substrat de face avant de cellule
photovoltaïque dans lequel un substrat transparent, par exemple verrier,
est associé à une telle électrode transparente.

Dans une cellule photovoltaïque, un système photovoltaïque à
matériau photovoltaïque qui produit de l'énergie électrique sous l'effet d'un
10 rayonnement incident est positionné entre un substrat de face arrière et un
substrat de face avant, ce substrat de face avant étant le premier substrat
qui est traversé par le rayonnement incident avant qu'il n'atteigne le
matériau photovoltaïque.

On entend par matériaux photovoltaïques des agents absorbeurs
15 pouvant être composés par exemple de tellure de cadmium, le silicium
amorphe, le silicium microcristallin ou de ternaires chalcopyrites qui
contiennent généralement du cuivre, de l'indium et du sélénium. Il s'agit là
de ce que l'on appelle des couches d'agent absorbeur CISE_2 . On peut aussi
ajouter à la couche d'agent absorbeur du gallium (ex : Cu(In,Ga)Se_2 ou
20 CuGaSe_2), de l'aluminium (ex : Cu(In,Al)Se_2), ou du soufre (ex :
 CuIn(Se,S)). On les désigne en général par le terme de couches d'agent
absorbeur à chalcopyrite.

Dans la cellule photovoltaïque, le substrat de face avant comporte
d'une manière habituelle en dessous d'une surface principale tournée vers
25 le matériau photovoltaïque un revêtement électrode transparent en contact
électrique avec le matériau photovoltaïque disposé dessous lorsque l'on
considère que la direction principale d'arrivée du rayonnement incident est
par le dessus.

Au sens de la présente invention, il faut comprendre par « cellule
30 photovoltaïque » tout ensemble de constituants générant la production d'un
courant électrique entre ses électrodes par conversion de rayonnement
solaire, quelles que soient les dimensions de cet ensemble et quelles que
soient la tension et l'intensité du courant produit et en particulier que cet

ensemble de constituants présente, ou non, un ou plusieurs
raccordement(s) électrique(s) interne(s) (en série et/ou en parallèle). La
notion de « cellule photovoltaïque » au sens de la présente invention est
donc ici équivalente à celle de « module photovoltaïque » ou encore de
5 « panneau photovoltaïque ».

La présente invention a trait aux couches électroconductrices
transparentes, notamment à base d'oxydes, d'un grand intérêt sur substrat
verrier.

Des exemples en sont des couches ITO (indium tin oxide) d'oxyde
10 d'indium dopé à l'étain, des couches $\text{SnO}_2\text{:F}$ d'oxyde d'étain dopé au fluor.
De telles couches constituent des électrodes dans certaines applications :
lampes planes, vitrage électroluminescent, vitrage électrochrome, écran
d'affichage à cristaux liquides, écran plasma, cellule photovoltaïque, verres
chauffants. Dans d'autres applications pour des vitrages bas-émissifs, par
15 exemple, ces couches conductrices transparentes n'ont pas à être mises
sous tension électrique.

Dans l'art antérieur, ces couches transparentes conductrices sont en
général associées à une sous-couche pour améliorer les propriétés optiques
d'une couche ou d'un empilement de couches transparentes conductrices
20 sur un substrat verrier. Sans être exhaustifs, on peut notamment citer EP
611 733 de PPG qui propose une couche mixte à gradient d'oxyde de
silicium et d'oxyde d'étain pour éviter les effets d'irisation induits par la
couche transparente conductrice d'oxyde d'étain dopée au fluor. Le brevet
de Gordon Roy FR 2 419 335 propose également une variante de cette
25 sous-couche pour améliorer les propriétés de couleur d'une couche
transparente conductrice d'oxyde d'étain dopée au fluor. Les précurseurs
cités dans ce brevet sont en revanche inutilisables à l'échelle industrielle.
On peut aussi mentionner le brevet EP 0275662B1 de Pilkington qui propose
une sous couche composée d'oxycarbure de silicium en dessous d'une
30 couche électroconductrice à base d'oxyde d'étain dopé au fluor, la dite sous
couche apportant la double fonction de couche barrière contre la diffusion
des alcalins du verre ainsi que de couche anti-iridescence pour neutraliser la
couleur en réflexion. SAINT-GOBAIN possède également un savoir-faire
dans ce domaine : le brevet FR 2 736 632 propose ainsi une sous-couche

mixte à gradient d'indice inverse d'oxyde de silicium et d'oxyde d'étain comme sous-couche anti-couleur d'une couche transparente conductrice d'oxyde d'étain dopée au fluor.

5 Dans une cellule photovoltaïque, le substrat de face avant et en particulier l'électrode transparente ou la couche électroconductrice transparente qui en font partie doivent présenter à la fois une résistivité électrique appropriée permettant le transport des électrons produits, une absorption lumineuse basse ou transmission lumineuse élevée garantissant l'accès d'une proportion maximale du rayonnement lumineux au matériau photovoltaïque, et un certain
10 flou («haze » en anglais) pour obtenir une bonne diffusion de la lumière dans le matériau photovoltaïque.

Or cette valeur souhaitée de flou de la couche électroconductrice transparente d'au moins 6%, de préférence 8% et de manière particulièrement préférée 10%, tout en restant au plus égale à 35%, est obtenue

- 15 - pour des épaisseurs minimales de 1 μm environ dans le cas d'une couche obtenue par dépôt chimique en phase vapeur (Chemical Vapour Deposition – CVD), du type $\text{SnO}_2:\text{F}$, par conséquent au détriment de la transmission lumineuse, ou
- 20 - par un post-traitement acide (« acid etching ») dans le cas d'une couche obtenue par pulvérisation cathodique assistée par magnétron, du type $\text{ZnO}:\text{Al}$, ce qui est trop long et coûteux.

Il existe donc un besoin de couches présentant le flou souhaité mais avec une absorption diminuée du rayonnement solaire et un maintien de la résistivité ou conductivité électriques souhaitées, correspondant à une
25 résistance par carré de 8 à 15 $\Omega/\square$. En particulier, les inventeurs ont pu atteindre ce but en réussissant à élaborer des couches d'épaisseurs diminuées et présentant cette combinaison de propriétés.

A cet effet, l'invention a donc pour objet une électrode transparente pour cellule photovoltaïque, caractérisée en ce qu'elle comprend

- 30 - une couche de croissance de nanoparticules cristallisées de tailles latérales majoritairement au moins égales à 30 nm d'un matériau semi-conducteur, en un pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules (en anglais : surface coverage) compris entre 5 et 40 %,

- directement revêtue d'une couche électroconductrice.

Le pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules est la proportion de surface (du substrat notamment verrier) couverte par les nanoparticules. Par ailleurs, l'épaisseur de la couche de croissance est
5 essentiellement égale au diamètre (ou taille latérale) des nanoparticules.

Ainsi a-t-on pu atteindre les valeurs de flou désirées citées précédemment, l'absorption faible du rayonnement solaire et la résistivité électrique convenables. De plus, lorsque la couche électroconductrice est fabriquée par pulvérisation cathodique assistée par magnétron, le traitement
10 supplémentaire à l'acide qui était nécessaire, devient superflu ; le procédé de fabrication de l'électrode transparente s'en trouve simplifié, raccourci et moins coûteux.

Selon d'autres caractéristiques de l'électrode transparente pour cellule photovoltaïque de l'invention :

- 15 - les nanoparticules ont des tailles latérales majoritairement au plus égales à 300 nm ; on sait contrôler ces tailles latérales, en particulier les augmenter, dans un dépôt chimique en phase vapeur par combustion, en éloignant la source productrice des nanoparticules (flamme et buse projetant les précurseurs) du substrat ;
- 20 - le pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules est au plus égal à 25, notamment à 20% ;
- les nanoparticules sont majoritairement individualisées, non agglomérées ;
- l'épaisseur cumulée de ces deux couches est au plus égale à
25 1,5 μm , au moins égale à 300 nm ; d'autre part l'épaisseur de la seule couche électroconductrice est comprise de préférence entre 300 et 650 nm, en particulier au plus égale à 550 nm ; pour des tailles latérales des nanoparticules centrées sur 100, respectivement 200 nm, un pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules de
30 $20 \pm 10 \%$ dans les deux cas, on peut obtenir un flou maximal de l'ensemble des deux couches de 35 % pour une épaisseur cumulée de celles-ci de 1,2, respectivement 0,7 μm ; l'absorption lumineuse définie dans l'exemple 1 ci-dessous est de 7, respectivement 3 %, la résistance / $\square$ de l'électrode sur son substrat

est de 7, respectivement 10 $\Omega/\square$, c'est-à-dire que la cellule photovoltaïque comprenant chacune de ces deux électrodes est hautement fonctionnelle ;

- les nanoparticules sont choisies parmi SnO_2 , $\text{SnO}_2:\text{F}$, ZnO , $\text{ZnO}:\text{Al}$,
5 $\text{ZnO}:\text{Ga}$, $\text{ZnO}:\text{B}$, $\text{ZnO}:\text{In}$, $\text{InO}:\text{Sn}$, Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux ;
- la couche électroconductrice est choisie parmi $\text{SnO}_2:\text{F}$, $\text{ZnO}:\text{Al}$,
 $\text{ZnO}:\text{Ga}$, $\text{ZnO}:\text{B}$, $\text{ZnO}:\text{In}$, $\text{InO}:\text{Sn}$ seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux ;
- 10 - les nanoparticules et la couche électroconductrice ont la même structure cristalline ; des exemples en sont la structure cassitérite pour SnO_2 ou la structure wurzite pour ZnO ; les nanoparticules et la couche électroconductrice peuvent alors être essentiellement à base du même oxyde ; alors les nanoparticules cristallisées favorisent la
15 croissance de la couche électroconductrice.

Un autre objet de l'invention consiste en un substrat transparent notamment verrier associé à une électrode telle que décrite ci-dessus, avec interposition éventuelle d'une ou plusieurs couches, en vue de constituer, en particulier, un substrat de face avant de cellule photovoltaïque.

- 20 De manière optionnelle, le substrat transparent peut être directement revêtu d'une première couche d'au moins un nitrure ou oxynitrure ou oxyde ou oxycarbure de Si, Al ou Ti, notamment SiOC , SiO_2 , SiON , TiO_2 , TiN ou Al_2O_3 seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux, d'épaisseur comprise entre 5 et 80 nm. Dans le cas où le substrat transparent est en verre sodocalcique, cette
25 première couche a une fonction barrière vis-à-vis de la migration des alcalins du verre.

- Cette première couche peut être directement revêtue d'une seconde couche mixte d'un ou plusieurs composés de ladite première couche et d'au moins un nitrure ou oxynitrure ou oxyde ou oxycarbure de Sn, Zn ou In,
30 notamment SnO_2 , ZnO ou InO seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux, et d'épaisseur comprise entre 3 et 65 nm.

L'empilement desdites première et/ou seconde couches est directement revêtu de la couche de croissance de nanoparticules cristallisées et de la couche électroconductrice constituant l'électrode transparente de l'invention.

Un autre objet de l'invention consiste en un procédé de fabrication d'une électrode transparente pour cellule photovoltaïque telle que décrite ci-dessus, comprenant

- 5 - le dépôt, sur un substrat transparent, d'une couche de croissance de nanoparticules cristallisées, par voie liquide ou par dépôt chimique en phase vapeur par combustion (Combustion Chemical Vapour Deposition – CCVD),
- 10 - puis le dépôt d'une couche électroconductrice par dépôt chimique en phase vapeur (Chemical Vapour Deposition – CVD) ou par pulvérisation cathodique, notamment assistée par magnétron.

L'invention est maintenant illustrée par les exemples suivants.

Exemple 1

On effectue un dépôt chimique en phase vapeur par combustion avec un brûleur linéaire (15 cm) maintenu au dessus du ruban continu de verre sodocalcique dans la partie de son installation de fabrication comprenant l'exit et le début de l'étenderie.

La vitesse de défilement du verre est comprise entre 4 et 12 m/min, elle est ici précisément de 10 m/min ; l'épaisseur du verre est de 3 mm.

25 ml/min de 2-éthylhexanoate d'étain (II) 0,5 M en solution dans le toluène sont mélangés à 3 l/min d'oxygène et introduits dans une flamme produite par 1,5 l/min de méthane et 3,2 l/min d'oxygène. On ajoute 5 l/min d'oxygène pour obtenir SnO_2 totalement oxydé. La buse projetant les précurseurs dans la flamme est positionnée 60 cm au-dessus du ruban continu de verre.

25 Tout moyen de refroidissement peut être employé au-dessus ou en-dessous du ruban continu pour que la température du gaz devant le substrat soit de 200 °C.

Les particules primaires de SnO_2 ont un diamètre (taille latérale) d'environ 100 nm. Le pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules (en anglais : surface coverage) est consigné dans le tableau ci-dessous.

Sur cette couche de croissance, on dépose ensuite, toujours sur le ruban continu de verre dans la partie de sa fabrication comprenant l'exit et le début de l'étenderie, une couche électroconductrice de $\text{SnO}_2:\text{F}$ par dépôt chimique en

phase vapeur, à partir des proportions de précurseurs exprimées en % molaires et reportées dans le tableau ci-dessous.

Le substrat de face avant de cellule photovoltaïque ainsi obtenu est évalué par diverses mesures dont les résultats sont consignés dans le tableau
5 ci-dessous.

Est précisée l'épaisseur cumulée de la couche de croissance et de la couche électroconductrice.

Le flou (en %) (« haze » en anglais) est une grandeur représentative d'un élément à dévier un rayonnement. Dans cette demande, les valeurs de flou
10 sont mesurées au hazemeter selon la norme ASTM D 1003.

La transmission lumineuse totale TL (en %) comprend la transmission lumineuse directe et la transmission lumineuse diffuse, et est déterminée selon la norme ISO 9050 : 2003. On indique dans le tableau l'absorption (en %), qui est le complément à 100 % de la transmission lumineuse totale.

15 On indique également la résistance/□ ($\Omega/\square$) de l'électrode sur son substrat.

Exemple 2

Le substrat de face avant se différencie de celui de l'exemple précédent par la préparation de la couche de croissance. Pour celle-ci, on utilise SnCl_4
20 maintenu à 60°C comme précurseur, dans lequel on fait buller N_2 (300 ml/min) utilisé comme gaz vecteur et injecté dans la buse centrale d'un brûleur.

La flamme du brûleur est produite par mélange de 1,8 l/min de H_2 et 4 l/min de O_2 . On ajoute 5 l/min de O_2 pour obtenir du SnO_2 totalement oxydé.

La tête du brûleur est positionnée 40 cm au-dessus du substrat verrier et
25 les particules ont une taille moyenne de 75 nm.

Une couche électroconductrice de $\text{SnO}_2:\text{F}$ est formée comme à l'exemple 1, mais à partir des proportions de précurseurs exprimées en % molaires et reportées dans le tableau ci-dessous.

Exemple 3

30 Le substrat de face avant se différencie de ceux des exemples précédents par la préparation de la couche de croissance.

Pour celle-ci on mélange du tétraméthylétain $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$ à 1500 ppm avec He, on introduit ce mélange dans une flamme $\text{H}_2\text{-O}_2\text{-Ar}$. On ajoute 5 l/min de O_2 pour obtenir SnO_2 totalement oxydé.

La tête du brûleur est positionnée 20 cm au-dessus du substrat verrier, les particules ont un diamètre moyen de 50 nm. La couche électroconductrice est formée comme aux exemples précédents à partir des proportions de précurseurs exprimées en % molaires et reportées dans le tableau ci-dessous.

5 Exemple 4

En l'absence d'une couche de croissance, on forme de la même manière qu'aux exemples précédents, une couche électroconductrice sur le ruban continu de verre sodocalcique, mais en partant cette fois des proportions différentes suivantes de précurseurs, exprimées en % molaires et reportées
10 dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU

Exemple N°	Taille latérale moyenne des nanoparticules (nm)	Pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules (%)	Epaisseur cumulée des couches de croissance et électroconductrice (nm)	MBTCI (% molaire)	TFA (% molaire)	Eau (% molaire)	N ₂ (% molaire)	O ₂ (% molaire)	Flou (%)	Absorption (%)	R/ $\square$ ($\Omega/\square$)
1	≈ 100	20 +/- 10	450	1,35	0,13	15,90	78,18	4,44	16	2,4	12
2	≈ 75	25 +/- 10	550	1,82	0,17	21,44	70,60	5,98	13	2,6	11
3	≈ 50	30 +/- 10	650	2,30	0,22	27,10	62,82	7,56	11	2,9	10
4		0	950	3,65	0,35	43	41	12	10	6,5	10

5 MBTCI = trichlorure de monobutylétain

TFA = acide trifluoroacétique

On constate que la présence de la couche de croissance de densité de nanoparticules choisie permet d'obtenir le flou désiré pour une valeur sensiblement diminuée de l'absorption et pour une valeur préservée de la

5 conductivité électrique. Il en résulte un rendement amélioré de la cellule photovoltaïque.

REVENDICATIONS

1. Electrode transparente pour cellule photovoltaïque, caractérisée en ce qu'elle comprend
 - une couche de croissance de nanoparticules cristallisées de tailles latérales majoritairement au moins égales à 30 nm d'un matériau semi-conducteur, en un pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules compris entre 5 et 40 %,
 - directement revêtue d'une couche électroconductrice.
2. Electrode selon la revendication 1, caractérisée en ce que les nanoparticules ont des tailles latérales majoritairement au plus égales à 300 nm.
3. Electrode selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le pourcentage de la surface couverte par les nanoparticules est au plus égal à 25, notamment à 20%.
4. Electrode selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les nanoparticules sont majoritairement individualisées, non agglomérées.
5. Electrode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur cumulée de ces dites deux couches est au plus égale à 1,5 μm .
6. Electrode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'épaisseur cumulée de ces dites deux couches est au moins égale à 300 nm.
7. Electrode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les nanoparticules sont choisies parmi SnO_2 , $\text{SnO}_2:\text{F}$, ZnO , $\text{ZnO}:\text{Al}$, $\text{ZnO}:\text{Ga}$, $\text{ZnO}:\text{B}$, $\text{ZnO}:\text{In}$, $\text{InO}:\text{Sn}$, Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux.
8. Electrode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la couche électroconductrice est choisie parmi $\text{SnO}_2:\text{F}$, $\text{ZnO}:\text{Al}$, $\text{ZnO}:\text{Ga}$, $\text{ZnO}:\text{B}$, $\text{ZnO}:\text{In}$, $\text{InO}:\text{Sn}$ seuls ou en mélanges de plusieurs d'entre eux.
9. Electrode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les nanoparticules et la couche électroconductrice ont la même structure cristalline.

10. Electrode selon la revendication 9, caractérisée en ce que les nanoparticules et la couche électroconductrice sont essentiellement à base du même oxyde.
- 5 11. Substrat transparent notamment verrier associé à une électrode selon l'une des revendications précédentes, avec interposition éventuelle d'une ou plusieurs couches.
12. Procédé de fabrication d'une électrode selon l'une des revendications 1 à 10, comprenant
 - 10 - le dépôt, sur un substrat transparent, d'une couche de croissance de nanoparticules cristallisées, par voie liquide ou par dépôt chimique en phase vapeur par combustion,
 - puis le dépôt d'une couche électroconductrice par dépôt chimique en phase vapeur ou par pulvérisation cathodique, notamment assistée par magnétron.