

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



PCT

(43) Date de la publication internationale
8 mars 2007 (08.03.2007)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/026086 A2

- (51) Classification internationale des brevets : Non classée
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/050490
- (22) Date de dépôt international : 29 mai 2006 (29.05.2006)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0551412 30 mai 2005 (30.05.2005) FR
- (71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : COM-MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 25, rue Leblanc, Immeuble "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : MEYER, Robert [FR/FR]; 306, chemin de la Limite, F-38330 Saint-Nazaire-les-Eymes (FR). MONTMAYEUL, Brigitte [FR/FR]; 17, lotissement le Château Cidex 19A, F-38190 BERNIN (FR).
- (74) Mandataire : POULIN, Gérard; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, 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

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR MAKING AN EMISSIVE CATHODE

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE CATHODE EMISSIVE

(57) **Abstract:** The invention concerns a method for producing a triode-type cathode structure including steps for depositing and steps for etching a cathode layer to transform it to cathode conductors; a grid layer to transform it into grid conductors; an electrically insulating layer and the grid conductors until a resistive layer is achieved to provide cavities; cathode conductors to provide them with an open-work structure at the intersection of the cathode conductors and the grid conductors. The invention is characterized in that the steps for etching the grid conductors and the electrically insulating layer consist in: a) depositing a resin layer on the grid layer; b) patterning the resin layer by means of lithography to obtain emissive pads; c) etching the structured grid layer into grid conductors, based on the pattern; d) etching the insulating layer underlying the grid layer by enlarging the etching beyond the emissive pads; e) etching the grid layer at the zones exposed by etching the insulating layer until the resin layer is reached; f) depositing a catalyst layer into the openings of the resin layer so as to form the emissive pads at the base of the cavity; g) removing the resin layer.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé de réalisation d'une structure de cathode de type triode comprenant des étapes de dépôt et des étapes de gravure d'une couche de cathode pour la structurer en conducteurs de cathode ; d'une couche de grille pour la structurer en conducteurs de grille ; d'une couche d'isolant électrique et des conducteurs de grille jusqu'à atteindre une couche résistive pour fournir des cavités ; des conducteurs de cathode pour leur donner une structure ajourée au niveau de l'intersection des conducteurs de cathode et des conducteurs de grille. L'invention réside dans les étapes de gravure des conducteurs de grille et de la couche d'isolant électrique, qui s'effectuent par : a) dépôt d'une couche de résine sur la couche de grille, b) lithographie et développement de la couche de résine selon un motif pour obtenir des plots émissifs, c) gravure de la couche de grille, structurée en conducteurs de grille, selon le motif, d) gravure de la couche d'isolant sous-jacente à la couche de grille en élargissant la gravure au-delà des motifs de plots émissifs, e) gravure de la couche de grille au niveau des zones exposées par la gravure de la couche d'isolant jusqu'à atteindre la couche de résine, f) dépôt d'une couche de catalyseur dans les ouvertures de la couche de résine de manière à former les plots émissifs au fond des cavités, g) élimination de la couche de résine.

WO 2007/026086 A2

**PROCEDE DE FABRICATION
D'UNE CATHODE EMISSIVE**

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une cathode émissive comprenant une couche de cathode structurée en colonnes, une couche de grille structurée en lignes et des plots émissifs, les plots émissifs étant auto alignés avec les lignes de la couche de grille. Selon un mode de réalisation particulier, les plots émissifs sont également auto alignés avec les colonnes de la couche de cathode.

15 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Les structures cathodiques sont principalement utilisées dans les dispositifs de visualisation par cathodo-luminescence excités par émission de champ et en particulier dans les écrans plats à émission de champ. Ces dispositifs de visualisation à émission de champ comprennent une cathode, qui émet des électrons, et une anode, en regard de la cathode, recouverte d'une ou de plusieurs couches luminescentes. L'anode et la cathode sont séparées par un espace maintenu sous vide.

La cathode est soit une source à base de micropointes, soit une source à base d'une couche émissive à faible champ seuil. S'il s'agit d'une couche émissive à faible champ seuil, cette couche peut être constituée de nanostructures telles que des nanotubes,

des nanofils ou des nanofilaments ; ces nanostructures sont réalisées en matériau électriquement conducteur, comme par exemple en carbone ; elles peuvent également être constituées de multicoches (par exemple, des 5 multicoches d'AlN ou de BN).

La structure de la cathode peut être du type diode ou triode. Les structures triodes possèdent une électrode supplémentaire appelée grille qui contrôle l'extraction des électrons.

10 Pour l'application aux écrans plats, on utilise une cathode ayant une structure triode, car cette structure particulière permet de séparer la tension de commande (tension de grille) de la tension d'anode. En effet, la tension de commande doit être 15 faible afin de minimiser le coût des transistors d'adressage (« drivers »), tandis que la tension d'anode doit être la plus élevée possible afin d'améliorer le rendement lumineux de la cathode et de minimiser la consommation d'énergie.

20 Les cathodes de type triode sont constituées de lignes et de colonnes, l'intersection d'une ligne et d'une colonne définissant un pixel. Lors du fonctionnement de la cathode, les données à afficher sont amenées sur les colonnes, tandis que les lignes 25 sont séquentiellement balayées afin d'adresser tout l'écran, c'est-à-dire tous les pixels de l'écran.

Une cathode de type triode est décrite dans la demande FR 2 836 279, déposée le 19 février 2002, et est illustrée dans les figures 1A et 1B. Cette cathode 30 comprend les éléments suivants :

- un premier niveau conducteur constitué d'une couche de cathode structurée sous forme de colonnes 7,

5 - une couche résistive 2 (par exemple une couche en silicium amorphe) permettant d'améliorer l'uniformité de l'émission des électrons,

- une couche de matériau isolant 6 (par exemple une couche en silice) placée entre la couche résistive 2 et un deuxième niveau conducteur 10,

10 - un second niveau conducteur 10 constitué d'une couche de grille 8 structurée sous forme de lignes 9, le potentiel de ce second niveau permettant de contrôler l'extraction des électrons,

15 - des moyens émetteurs d'électrons, par exemple des nanotubes de carbone localisés sur des plots 14 déposés sur la couche résistive 2 dans une cavité 16. Cette cavité 16 est réalisée en gravant la couche de grille 8 et la couche de matériau isolant 6. Typiquement, une cavité 16 a une largeur de 10 à 15 µm 20 et les grilles sont disposées avec un pas de 20 à 25 µm entre les lignes.

Dans la figure 1A, on peut voir que les lignes 9 sont gravées de cavités 16 au niveau de l'intersection des lignes 9 et des colonnes 7, et que 25 les lignes sont également gravées en dehors de ces intersections pour former des lignes plus minces 11.

Comme on peut le voir sur la figure 1A, les colonnes 7 de la couche cathodique ont une structure particulière ajourée 13, formant des sous-colonnes 4, 30 sur lesquelles est déposée la couche résistive 2. Les plots 14 doivent être positionnés dans les cavités

entre les sous-colonnes de façon à ce que la connexion électrique des sous-colonnes 4 aux plots 14 se fasse par l'intermédiaire de la couche résistive 2.

Un procédé de fabrication connu pour
5 réaliser cette structure cathodique de type triode est
décrit dans la demande FR 2 836 279 mentionnée ci-
dessus et est illustré dans les figures 2A à 2F. Le
procédé comporte les étapes suivantes :

- dépôt d'une couche de matériau conducteur
10 sur un support 1 et gravure de cette couche de manière
à former des colonnes et des sous-colonnes 4, à
l'intérieur de ces colonnes au niveau de zones
destinées à être l'intersection des lignes et des
colonnes (sur la figure 2A, seules deux sous-colonnes 4
15 ont été représentées),

- dépôt pleine couche d'une couche
résistive 2, d'une couche isolante 6, puis d'une couche
conductrice 10 (figure 2B)

- gravure de la couche conductrice 10 et de
20 la couche isolante 6 jusqu'à exposer la couche
résistive 2 pour former une cavité 16 (figure 2C),

- dépôt d'une couche sacrificielle 17 en
résine et formation dans la couche sacrificielle 17
d'ouvertures 18 exposant la couche résistive 2 (figure
25 2D),

- dépôt d'une couche catalytique 19 sur la
structure (figure 2E),

- élimination de la couche sacrificielle
17,

30 - croissance d'une couche émissive 12 (par
exemple des nanotubes de carbone) sur la couche

catalytique 19 restante, présente sur la couche résistive 2, pour former des plots émissifs 14 (figure 2F).

L'inconvénient de ce procédé est qu'il nécessite de réaliser deux alignements précis, un premier alignement des cavités 16 par rapport aux sous-colonnes 4, avec une précision de l'ordre de 1 à 2 μm (figure 2C), et un second alignement des plots émissifs 14, par rapport aux grilles 10, avec une précision d'au moins 0,5 μm (figure 2D). Un décentrage des cavités 16 par rapport aux sous-colonnes 4 conduit à une variation de la résistance d'accès des sous-colonnes aux plots émissifs par la couche résistive. Cette variation reste du deuxième ordre tant que le décentrage n'excède pas 2 μm . Un décentrage des plots 14 par rapport aux grilles 10 conduit à un champ dissymétrique sur les nanotubes (présents sur les plots 14), qui défocalise le faisceau d'électrons et dégrade la résolution des pixels de l'écran.

Dans le procédé tel que décrit dans la demande FR 2 836 279, cette précision d'alignement est obtenue grâce à une étape de lithographie (figure 2D). Or la lithographie doit être réalisée sur de grandes surfaces (de l'ordre de 1 m^2), ce qui pose un problème technique difficile à maîtriser avec un bon rendement et en utilisant des équipements de lithographie compatibles avec un procédé bas coût.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Le but de l'invention est d'améliorer le procédé connu de manière à diminuer le nombre d'alignements nécessaires.

5 Ce but et d'autres encore sont atteints, conformément à l'invention par un procédé de réalisation d'une structure de cathode de type triode comprenant :

10 - des étapes de dépôt, sur une face d'un substrat, d'une couche de cathode en matériau électriquement conducteur, d'une couche résistive, d'une couche d'isolant électrique, d'une couche de grille en matériau électriquement conducteur, de manière à former un empilement, la couche de grille 15 formant la couche de surface de l'empilement et étant adjacente à la couche d'isolant,

- des étapes de structuration :

20 - de la couche de cathode pour la structurer en conducteurs de cathode disposés sous une forme choisie parmi l'une d'entre la forme en lignes et la forme en colonnes,

25 - de la couche de grille pour la structurer en conducteurs de grille disposés sous une forme choisie parmi l'autre d'entre la forme en lignes et la forme en colonnes,

- des étapes de gravure :

30 - de la couche d'isolant électrique et de la couche de grille structurée en conducteurs de grille jusqu'à atteindre la couche résistive de manière à fournir des cavités au niveau de l'intersection des conducteurs de grille et des conducteurs de cathode,

- de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode pour lui donner une structure ajourée au niveau de l'intersection des conducteurs de cathode et des conducteurs de grille,

5 le procédé étant caractérisé en ce que les étapes de gravure de la couche de grille structurée en conducteurs de grille et de la couche d'isolant électrique s'effectuent par :

10 a) dépôt d'une couche de résine sur la couche de grille structurée en conducteurs de grille,

b) lithographie et développement de la couche de résine pour obtenir des ouvertures dans la couche de résine organisées selon un motif destiné à former des plots émissifs au fond des cavités,

15 c) gravure de la couche de grille structurée en conducteurs de grille, selon le motif,

d) gravure de la couche d'isolant sous-jacente à la couche de grille structurée en conducteurs de grille en élargissant la gravure au-delà des motifs
20 de plots émissifs jusqu'à obtenir une largeur L de cavité supérieure à la largeur des plots,

e) gravure de la couche de grille structurée en conducteurs de grille, comprise entre la couche de résine et la couche résistive au niveau des
25 zones exposées par la gravure de la couche d'isolant jusqu'à atteindre la couche de résine,

f) dépôt d'une couche de catalyseur dans les ouvertures de la couche de résine de manière à former les plots émissifs au fond des cavités,

30 g) élimination de la couche de résine.

Selon un premier mode de réalisation, la structuration de la couche de cathode, pour la structurer en conducteurs de cathode, et la gravure de ladite couche de cathode structurée en conducteurs de cathode, pour lui donner une structure ajourée, sont réalisées avant le dépôt de la couche résistive.

Selon un deuxième mode de réalisation, la structuration de la couche de cathode, pour la structurer en conducteurs de cathode, est réalisée avant le dépôt de la couche d'isolant et, la couche d'isolant et la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode étant situées entre la couche de grille structurée en conducteurs de grille et la couche résistive, l'étape e) est complétée par une gravure de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode, au niveau des zones exposées par la gravure de la couche d'isolant jusqu'à atteindre la couche résistive, de manière à donner une structure ajourée à la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode.

Selon un autre mode de réalisation, préalablement au dépôt d'une couche de catalyseur dans l'étape f), on dépose une couche barrière à la diffusion du catalyseur dans les ouvertures de la couche de résine.

Selon une première variante, la structuration de la couche de cathode en conducteurs de cathode ou/et la structuration de la couche de grille en conducteurs de grille est(sont) réalisée(s) par gravure à travers un masque obtenu par photolithographie.

Avantageusement, selon le deuxième mode de réalisation, la structuration de la couche de cathode pour la structurer en conducteurs de cathode est complétée par la gravure d'au moins une partie de 5 l'épaisseur de la couche résistive au niveau des zones exposées par la structuration de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode. La couche résistive peut ainsi être gravée, par exemple, au cours de la même étape de lithographie que celle servant à 10 graver la couche de cathode en conducteurs de cathode, ce qui permet d'isoler parfaitement les conducteurs de cathode entre eux et d'éviter les courants de fuite entre les conducteurs de cathode pendant le fonctionnement de l'écran. Ce mode de réalisation est 15 particulièrement intéressant quand on souhaite minimiser la consommation électrique. On précise que la couche résistive est gravée entre les colonnes, mais pas à l'intérieur d'une colonne.

Selon une deuxième variante, la 20 structuration de la couche de cathode en conducteurs de cathode ou/et la structuration de la couche de grille en conducteurs de grille est(sont) réalisée(s) par dépôt à travers un masque métallique.

Avantageusement, l'étape g) d'élimination 25 de la couche de résine est réalisée par « lift-off » ou par dissolution de la couche de résine.

Avantageusement, le procédé de réalisation comprend en outre une étape de croissance de nanostructures du type nanotubes, nanofils ou 30 nanofilaments sur la couche de catalyseur pour former les plots émissifs.

Avantageusement, l'étape d) de gravure de la couche d'isolant est une gravure humide isotrope. Une gravure isotrope permet d'obtenir une cavité centrée dans la couche d'isolant par rapport au motif 5 des plots définis dans la couche de résine.

Le procédé selon l'invention permet de réaliser des structures de cathode utilisables notamment dans les écrans plats à émission de champ 10 et/ou dans les éclairages arrières (« *backlight* ») pour des écrans à cristaux liquides LCD (LCD pour « *liquid crystal display* » en anglais).

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

15 L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

20 - la figure 1A, déjà décrite, est une vue de dessus d'une structure de cathode de type triode selon l'art antérieur,

25 - la figure 1B, déjà décrite, est une vue en coupe d'une partie grossie de la structure de cathode représentée dans la figure 1A suivant les pointillés,

- les figures 2A à 2F, déjà décrites, illustrent un procédé de réalisation d'une structure de cathode de type triode selon l'art antérieur,

30 - les figures 3A à 3F illustrent un premier mode de réalisation du procédé selon l'invention,

- les figures 4A à 4F illustrent un second mode de réalisation du procédé selon l'invention.

Il est à noter que les différents éléments représentés dans ces figures ne sont pas dessinés à 5 l'échelle.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'originalité du procédé de réalisation selon l'invention repose sur l'utilisation d'une seule 10 et même couche de résine pour graver la couche de grille, structurée en conducteurs de grille, à travers des ouvertures réalisées dans la couche de résine, graver la couche d'isolant en étendant la gravure latéralement sous la couche de grille pour obtenir des 15 cavités, graver la couche de grille mise à nu sous la couche de résine et déposer une couche de catalyseur sur la couche résistive au fond des cavités, dans les ouvertures réalisées dans la couche de résine.

Le procédé de réalisation selon l'invention 20 permet, selon une première variante, d'auto-aligner les plots émissifs par rapport aux conducteurs de grille, c'est-à-dire de positionner les plots émissifs par rapport aux conducteurs de grille sans avoir à aligner les plots sur les cavités réalisées dans la couche de 25 grille, ce qui élimine une des contraintes de l'art antérieur. Le procédé permet également, selon une seconde variante, d'auto-aligner les plots émissifs par rapport aux conducteurs de grille et par rapport aux conducteurs de cathode ; les deux contraintes 30 d'alignement de l'art antérieur sont ainsi supprimées.

Les différentes étapes de la première variante sont illustrées dans les figures 3A à 3F.

Sur une des faces d'un substrat support 21, par exemple un substrat en verre borosilicate de 1,1 mm 5 d'épaisseur, on dépose une couche de matériau conducteur, par exemple une couche en molybdène d'une épaisseur de 0,2 µm par évaporation au canon à électrons. Avant de déposer la couche conductrice, on peut éventuellement réaliser un nettoyage du substrat 10 support par des moyens connus de type lessive basique.

On procède ensuite à la lithographie et à la gravure de cette couche conductrice de manière à structurer cette couche en colonnes et en sous-colonnes : on obtient alors une couche de cathode 15 structurée 24 (dans la figure 3A, seules deux sous-colonnes sont visibles). Dans cet exemple, on dispose les colonnes selon un pas de 350 µm, avec un espace de 50 µm entre les colonnes et les sous-colonnes ont des largeurs comprises entre 5 à 10 µm et sont espacées de 20 10 à 15 µm. Les sous-colonnes sont gravées de manière à obtenir des structures ajourées aux endroits qui correspondent à la superposition des conducteurs de cathode (colonnes) et des conducteurs de grille (lignes). Les sous-colonnes sont réalisées par exemple 25 parallèles aux colonnes. Elles pourraient en variante être réalisées différemment comme décrit dans le document FR 2 873 852. On obtient ainsi une structure ajourée telle qu'illustrée dans la figure 1A de l'art antérieur. Pour réaliser ces colonnes et ces sous-colonnes dans la couche de cathode, on suit les étapes 30 suivantes, bien connues de l'homme de l'art :

- dépôt à la tournette d'une couche de résine, par exemple une couche de 1,2 µm d'épaisseur,

5 - insolation de la résine avec un équipement de lithographie de proximité à travers un masque,

- développement de la résine,

10 - gravure de la couche de cathode ; comme il s'agit d'une couche de molybdène, on effectue la gravure par gravure ionique réactive (RIE) avec un gaz de type SF₆,

- dissolution de la résine et nettoyage.

Sur la face du substrat support 21 comportant la couche de cathode structurée 24, on dépose ensuite une couche résistive 22 (par exemple une 15 couche en silicium amorphe dopé au phosphore, déposée par pulvérisation cathodique et ayant une épaisseur de 1 µm), une couche d'isolant 26 (par exemple une couche de 1 µm d'épaisseur en silice déposée par dépôt chimique en phase vapeur (CVD)) et une couche de grille 20 30 (par exemple une couche en molybdène de 0,2 µm d'épaisseur déposée par évaporation au canon à électrons) (figure 3B).

La couche de grille 30 est ensuite lithographiée et gravée de manière à former des lignes 25 selon un pas de 350 µm et espacées de 50 µm, selon le même principe explicité ci-dessus pour la gravure des colonnes dans la couche de cathode : on obtient ainsi une couche de grille structurée 300.

Puis, on dépose, à la tournette, une couche 30 de résine 27 de 1,2 µm d'épaisseur sur la couche de grille structurée 300 et on lithographie cette couche

de résine 27 selon un motif ayant la forme des plots émissifs 34 que l'on désire former sur la couche résistive 22. Les motifs peuvent par exemple être des rectangles de 3 à 10 μm de largeur. Les motifs des plots doivent être centrés avec une précision de l'ordre de 1 à 2 μm dans l'espace de 10 à 15 μm qui sépare les conducteurs colonnes 300. Dans cet exemple, on réalise une lithographie pour obtenir des plots 34 de 4,5 x 4,5 μm de côté. L'insolation de la couche de résine 27 est réalisée avec un équipement de lithographie de proximité, puis la résine est développée.

La couche de grille structurée 300 est ensuite gravée suivant le motif. La couche de grille structurée 300 peut être gravée par gravure humide ou par gravure sèche ; dans cet exemple, la couche de molybdène est gravée au RIE. Puis la couche d'isolant 26 subit une gravure humide. Cette gravure se fait jusqu'à ce que la couche d'isolant soit gravée sur une largeur L supérieure à la largeur des motifs destinés à former les plots émissifs 34, mais inférieure ou égale à la distance séparant deux sous-colonnes adjacentes 24 (figure 3C). Le temps de gravure de la couche d'isolant 26 détermine la largeur L de la cavité 36 dans l'isolant. La nature de l'isolant est choisie de façon à ce qu'on obtienne une gravure isotrope par voie chimique. De cette façon, la cavité 36 de largeur L est centrée par rapport au motif des plots 34 définis dans la couche de résine 27. Dans cet exemple, la couche d'isolant 26 en silice subit une gravure chimique avec le mélange $\text{NH}_4\text{F}, \text{HF}$. Le temps de gravure est de 8

minutes 30 secondes, ce qui permet d'obtenir une cavité 36 dans la couche de silice d'une largeur $L = 11 \mu\text{m}$.

On procède ensuite à la gravure humide de la couche de grille structurée 300 exposée par la 5 gravure de la couche d'isolant 26 et présente sous la couche de résine 27 (figure 3D). La couche de grille structurée 300 en molybdène est gravée chimiquement à l'aide d'un bain de type « Cr Etch » : le temps d'attaque est de 2 minutes. Enfin, on effectue le 10 rinçage à l'eau désionisée et le séchage de l'empilement.

Puis, on dépose une couche barrière 25 et une couche de catalyseur 29 à travers le masque de résine, c'est-à-dire sur la couche de résine 27 et dans 15 les ouvertures présentes dans cette couche de résine 27 (figure 3E). La couche barrière 25, déposée entre la couche résistive 22 et la couche de catalyseur 29, n'est pas essentielle, mais elle permet de mieux contrôler la croissance des nanotubes (en évitant, 20 entre autres, la diffusion du catalyseur) et/ou d'améliorer les contacts électriques entre les nanotubes et la couche résistive. On obtient ainsi des plots émissifs 34 sur la couche résistive 22 situés à égales distances des conducteurs de grille de la couche 25 de grille structurée 300. Dans cet exemple, on dépose une couche barrière 25 en TiN de 80 nm d'épaisseur par pulvérisation cathodique à travers le masque de résine et on dépose, par évaporation au canon à électrons, une couche de catalyseur 29 en nickel de 10 nm.

30 Enfin, on élimine la couche de résine 27, par exemple par la technique du lift-off.

Comme on peut le voir sur la figure 3F, on obtient alors une structure de cathode de type triode comportant un substrat support 21, sur lequel est disposée une couche de cathode structurée 24 en 5 colonnes et en sous-colonnes, une couche résistive 22 recouvrant cette couche de cathode structurée 24, une couche d'isolant 26 présentant des cavités 36 entre deux sous-colonnes adjacentes, cette couche d'isolant étant recouverte d'une couche de grille structurée 300, 10 structurée en lignes, des plots émissifs 34 étant situés dans les cavités 36 sur la couche résistive 22. Une fois la structure terminée, on peut faire croître des nanostructures sur la couche de catalyseur 29. Le choix du catalyseur se fait en fonction du matériau 15 émetteur d'électrons que l'on souhaite faire croître sur la couche de catalyseur. Pour faire croître des nanotubes de carbone, on déposera par exemple une couche de catalyseur en nickel.

20 Dans la seconde variante, on dépose d'abord une couche résistive 22 sur la face du substrat support 21, puis on dépose une couche de cathode et on la grave pour la structurer selon des colonnes 40. Contrairement à la première variante, la structure ajourée des 25 colonnes (formation des sous-colonnes) est obtenue par gravure à travers les ouvertures réalisées dans la couche de résine 27, une fois que la couche d'isolant 26 a été gravée. Cette deuxième variante permet ainsi d'obtenir un procédé totalement auto aligné : les plots 30 émissifs 34 sont centrés à la fois par rapport aux lignes de la couche de grille structurée 300 et par

rapport aux sous-colonnes de la couche de cathode structurée 400. Ce procédé permet de supprimer la contrainte liée à l'obligation de réaliser un alignement de l'ordre du micromètre. Avec cette 5 variante du procédé, il suffit de positionner les plots émissifs 34 sur les lignes et les colonnes, ce qui nécessite des précisions de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, ce qui est très facile à réaliser en lithographie bas coût sur de très grandes 10 surfaces, de l'ordre de 1 m².

Les étapes de cette variante du procédé de réalisation sont illustrées dans les figures 4A à 4F.

Comme dans l'exemple précédent, on utilise un substrat support 21 en verre borosilicate de 1,1 mm 15 d'épaisseur. Le substrat support 21 peut éventuellement être nettoyé par des moyens connus de type lessive basique. Sur une des faces du substrat support, on dépose une couche résistive 22 en silicium amorphe dopé au phosphore de 1 µm d'épaisseur, par exemple par 20 pulvérisation cathodique. Puis, on dépose une couche en matériau électriquement conducteur destinée à former la couche de cathode, par exemple une couche de 0,2 µm en molybdène par évaporation au canon à électrons. La couche de cathode est ensuite lithographiée et gravée, 25 par exemple par gravure RIE, de manière à former des colonnes disposées selon un pas de 350 µm et espacées de 50 µm, selon le même principe explicité ci-dessus (dépôt de la résine, isolation et développement de la résine, gravure de la couche de cathode, dissolution de 30 la résine) : on obtient ainsi une couche de cathode structurée en conducteurs de cathode 40 (colonnes).

Dans ce mode de réalisation, les colonnes sont pleines, c'est-à-dire sans la structure ajourée caractéristique de la première variante : la structure ajourée des colonnes sera obtenue plus tard au cours du procédé.

5 Avantageusement, on peut poursuivre la gravure et graver, en plus de la couche de cathode, la couche résistive 22 présente entre les conducteurs de cathode (colonnes). Comme nous l'avons vu précédemment, la gravure de la couche résistive 22 est intéressante
10 quand le problème de la consommation électrique est critique.

Selon la figure 4B, on dépose ensuite une couche d'isolant 26 sur la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode 40 (par exemple une couche de silice de 1 µm déposée par CVD), puis une couche en matériau électriquement conducteur pour former la couche de grille (par exemple une couche de molybdène déposée par évaporation au canon à électrons et ayant une épaisseur de 0,2 µm). La couche de grille est
15 lithographiée et gravée afin de former des conducteurs de grille (lignes) disposés selon un pas de 350 µm et espacées de 50 µm selon le même principe explicité pour la gravure des conducteurs de cathode (colonnes) dans la couche de cathode : on obtient ainsi une couche de grille structurée 300.
20
25

Puis on dépose une couche de résine 27 de 1,2 µm d'épaisseur sur la couche de grille structurée 300, et on lithographie et on grave cette couche de résine 27 selon un motif destiné à former des plots émissifs 34, par exemple des plots de 4,5 x 4,5 µm de coté sur la couche résistive. Pour cela, la couche de
30

grille structurée 300 est gravée, par gravure sèche ou humide, suivant le motif de la couche de résine 27. Dans cet exemple, la couche de grille structurée 300 en molybdène est gravée par RIE. Puis, on procède à la 5 gravure humide de la couche d'isolant 26 pendant un temps de gravure qui détermine, comme dans la première variante, la largeur L de la cavité 36 (figure 4C). La gravure de la couche d'isolant 26 se fait à l'aide d'un mélange NH₄F, HF dans le cas où l'isolant est du SiO₂, et 10 le temps de gravure est de 8 minutes 30 secondes, ce qui permet d'obtenir une cavité 36 dans la couche de silice d'une largeur L= 11 µm.

La couche de grille structurée 300, exposée sous la couche de résine, et la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode 40, présente au fond de la cavité 36, subissent une gravure humide (figure 4D). On forme ainsi les sous-colonnes et la structure ajourée des conducteurs de cathode : on obtient une couche de cathode structurée 400 en 15 colonnes et en sous-colonnes. Ces couches sont en molybdène et sont gravées avec un bain de type « Cr Etch » pendant 2 minutes, puis la structure est rincée 20 à l'eau désionisée et séchée.

Puis, on dépose une couche de catalyseur, 25 ou une couche barrière 25 et une couche de catalyseur 29, à travers le masque de résine, c'est-à-dire sur la couche de résine 27 et dans les ouvertures formées dans cette couche de résine. Dans cet exemple, on dépose tout d'abord une couche barrière 25 en TiN de 80 nm 30 d'épaisseur par pulvérisation cathodique à travers le masque de résine, puis on dépose une couche de

catalyseur 29 en nickel de 10 nm par évaporation au canon à électrons (figure 4E). Comme dans la variante précédente, on obtient des plots émissifs 34 sur la couche résistive 22 situés à égales distances de la 5 couche de grille structurée en conducteurs de grille 300.

Enfin, on élimine la couche de résine 27, par exemple par dissolution de la résine (figure 4F).

Sur les plots de la structure ainsi 10 obtenue, on peut ensuite faire croître des nanotubes.

Cette variante du procédé présente l'avantage que les cavités 36 dans la couche de grille structurée en conducteurs de grille 300 et dans la couche d'isolant 26, la formation de la structure 15 ajourée des conducteurs de cathode (formation de la couche structurée 400 à partir de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode 40), ainsi que le dépôt des plots émissifs 34 à travers le masque de résine se font avec le même niveau de lithographie, 20 c'est-à-dire avec le même masque obtenu par lithographie de la couche de résine 27 pour former les motifs des plots émissifs (figure 4C à 4E). La distance entre les plots 34 et les conducteurs de grille (lignes) de la couche de grille structurée 300, d'une 25 part, et entre les plots 34 et les sous-colonnes de la couche de cathode structurée 400, d'autre part, est déterminée par le temps de gravure de la couche d'isolant 26. Ainsi, les plots émissifs 34 se trouvent automatiquement centrés par rapport aux conducteurs de 30 grille (lignes) et aux sous-colonnes des conducteurs de

cathode (colonnes). On supprime donc ainsi les deux contraintes d'alignement de l'art antérieur.

Dans le cas d'applications telles que
5 l'éclairage arrière des écrans LCD, où les pas séparant les conducteurs de cathode (colonnes) et les conducteurs de grille (lignes) sont de l'ordre du millimètre, il est possible de déposer les conducteurs de cathode (colonnes) et les conducteurs de grille
10 (lignes) directement par dépôt sous vide à travers un masque rigide posé sur le substrat, ce qui permet d'éviter deux étapes de lithographie et donc de réduire notoirement le coût de production des structures de cathode.

15 Par exemple, pour réaliser les conducteurs de cathode (colonnes) selon la première variante telle que décrite précédemment, on pourra suivre les étapes suivantes :

- réalisation d'un masque métallique avec
20 des ouvertures de 0,5 mm au pas de 1 mm.

- positionnement grossier (à 100 µm près)
et fixation du masque sur le substrat support,
- dépôt des conducteurs de cathode
(colonnes) à travers le masque par évaporation de
25 molybdène au canon à électrons pour obtenir une épaisseur de 0,2 µm.

Il est bien entendu qu'on peut procéder de manière similaire pour réaliser les conducteurs de cathode (colonnes) et/ou les conducteurs de grille
30 (lignes) dans les autres variantes.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'une structure de cathode de type triode comprenant :

5 - des étapes de dépôt, sur une face d'un substrat (21), d'une couche de cathode en matériau électriquement conducteur, d'une couche résistive, d'une couche d'isolant électrique (26), d'une couche de grille (30) en matériau électriquement conducteur, de
10 manière à former un empilement, la couche de grille formant la couche de surface de l'empilement et étant adjacente à la couche d'isolant (26),

- des étapes de structuration :

15 - de la couche de cathode pour la structurer en conducteurs de cathode (40) disposés sous une forme choisie parmi l'une d'entre la forme en lignes et la forme en colonnes,

20 - de la couche de grille pour la structurer en conducteurs de grille (300) disposés sous une forme choisie parmi l'autre d'entre la forme en lignes et la forme en colonnes,

- des étapes de gravure :

25 - de la couche d'isolant électrique (26) et de la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300) jusqu'à atteindre la couche résistive (22) de manière à fournir des cavités (36) au niveau de l'intersection des conducteurs de grille et des conducteurs de cathode,

30 - de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode (40) pour lui donner une structure ajourée (24, 400) au niveau de l'intersection

des conducteurs de cathode et des conducteurs de grille,

le procédé étant caractérisé en ce que les étapes de gravure de la couche de grille structurée en 5 conducteurs de grille (300) et de la couche d'isolant électrique (26) s'effectuent par :

a) dépôt d'une couche de résine (27) sur la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300),

10 b) lithographie et développement de la couche de résine (27) pour obtenir des ouvertures dans la couche de résine organisées selon un motif destiné à former des plots émissifs (34) au fond des cavités (36),

15 c) gravure de la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300), selon le motif,

20 d) gravure de la couche d'isolant (26) sous-jacente à la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300) en élargissant la gravure au-delà des motifs de plots émissifs jusqu'à obtenir une largeur L de cavité (36) supérieure à la largeur des plots (34),

25 e) gravure de la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300), comprise entre la couche de résine (27) et la couche résistive (22) au niveau des zones exposées par la gravure de la couche d'isolant (26) jusqu'à atteindre la couche de résine (27),

30 f) dépôt d'une couche de catalyseur (29) dans les ouvertures de la couche de résine de manière à

former les plots émissifs (34) au fond des cavités (36),

g) élimination de la couche de résine (27).

5 2. Procédé de réalisation selon la revendication 1, dans lequel la structuration de la couche de cathode pour la structurer en conducteurs de cathode (40), et la gravure de ladite couche de cathode structurée en conducteurs de cathode (40), pour lui
10 donner une structure ajourée, sont réalisées avant le dépôt de la couche résistive (22).

15 3. Procédé de réalisation selon la revendication 1, dans lequel la structuration de la couche de cathode, pour la structurer en conducteurs de cathode (40), est réalisée avant le dépôt de la couche d'isolant (26) et dans lequel, la couche d'isolant (26) et la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode (40) étant situées entre la couche de grille structurée en conducteurs de grille (300) et la couche résistive (22), l'étape e) est complétée par une gravure de la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode (40), au niveau des zones exposées par la gravure de la couche d'isolant (26)
20 jusqu'à atteindre la couche résistive (22), de manière à donner une structure ajourée à la couche de cathode structurée en conducteurs de cathode (40).

25 4. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, préalablement au dépôt d'une couche de catalyseur (29)

dans l'étape f), on dépose une couche barrière (25) à la diffusion du catalyseur dans les ouvertures de la couche de résine (27).

5 **5.** Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la structuration de la couche de cathode en conducteurs de cathode ou/et la structuration de la couche de grille en conducteurs de grille est(sont) réalisée(s)
10 par gravure à travers un masque obtenu par photolithographie.

15 **6.** Procédé de réalisation selon la revendication précédente, dans lequel la gravure de la couche de cathode en conducteurs de cathode est complétée par la gravure d'au moins une partie de l'épaisseur de la couche résistive (22) au niveau des zones exposées par la gravure de la couche de cathode en conducteurs de cathode (40).

20 **7.** Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la structuration de la couche de cathode en conducteurs de cathode ou/et la structuration de la couche de grille en conducteurs de grille est(sont) réalisée(s) par dépôt à travers un masque métallique.

25 **8.** Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
30 l'étape g) d'élimination de la couche de résine (27)

est réalisée par « lift-off » ou par dissolution de la couche de résine.

5 **9.** Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape de croissance de nanostructures du type nanotubes, nanofils ou nanofilaments sur la couche de catalyseur (29) pour former les plots émissifs (34).

10 **10.** Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape d) de gravure de la couche d'isolant (26) est une gravure humide isotrope.

1 / 7

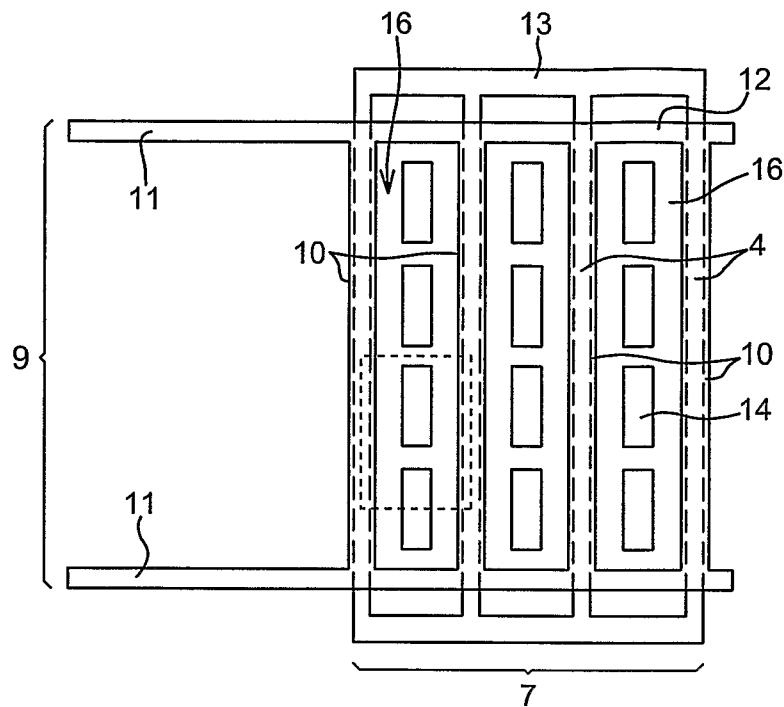


FIG. 1A

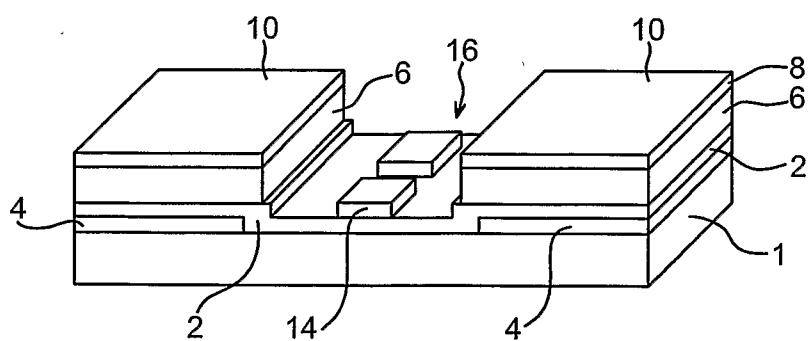


FIG. 1B

2 / 7



FIG. 2A

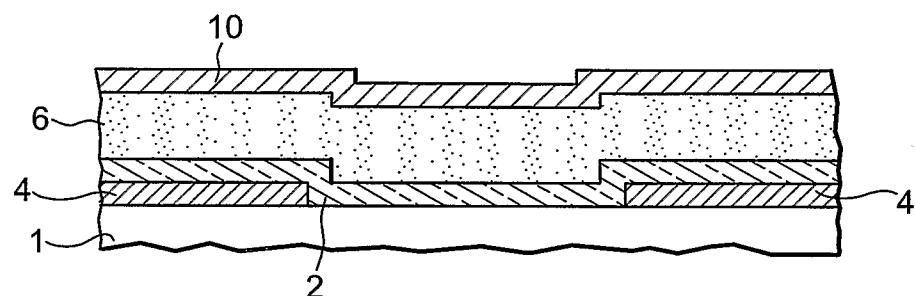


FIG. 2B

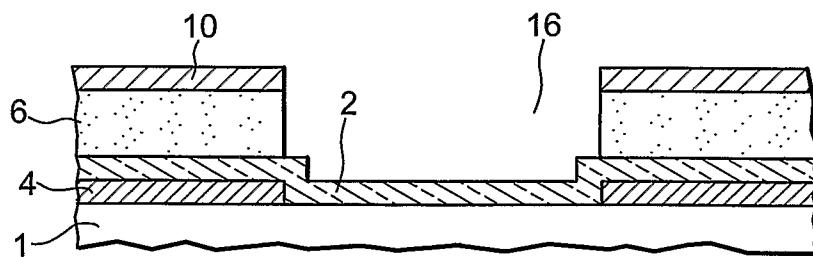


FIG. 2C

3 / 7

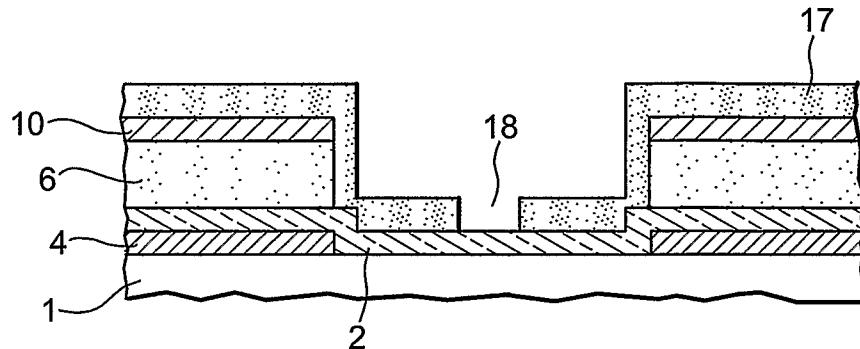


FIG. 2D

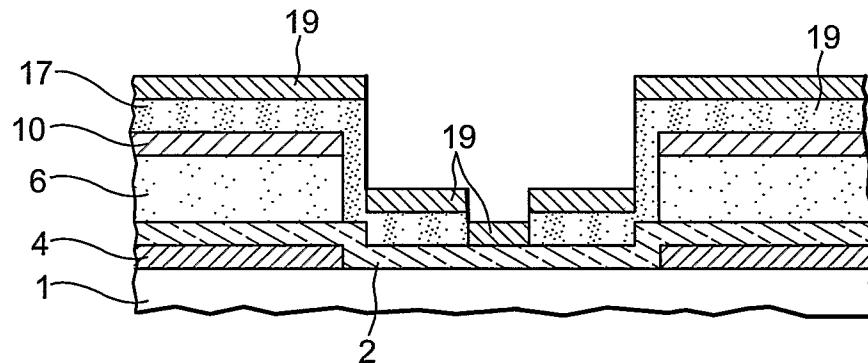


FIG. 2E

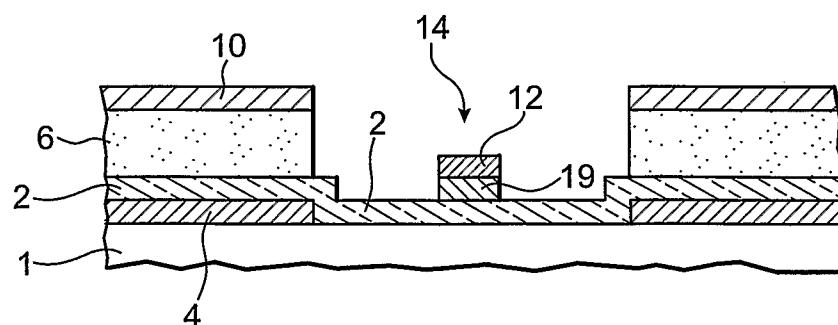


FIG. 2F

4 / 7



FIG. 3A

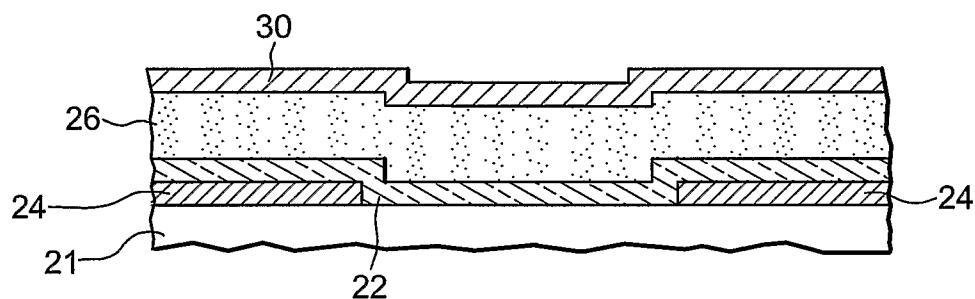


FIG. 3B

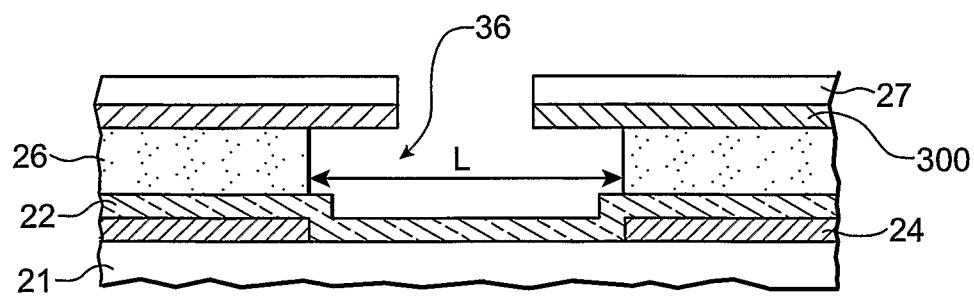


FIG. 3C

5 / 7

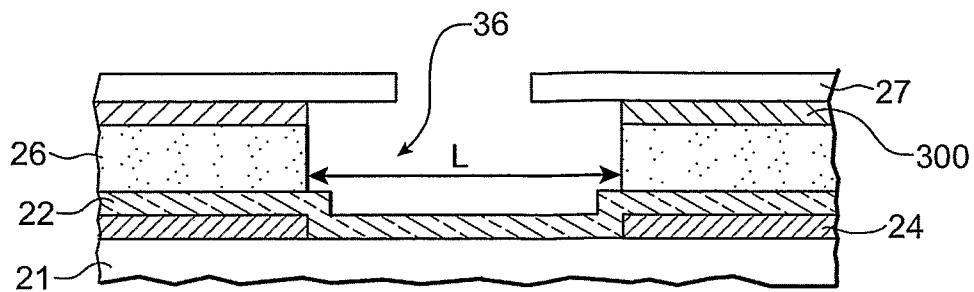


FIG. 3D

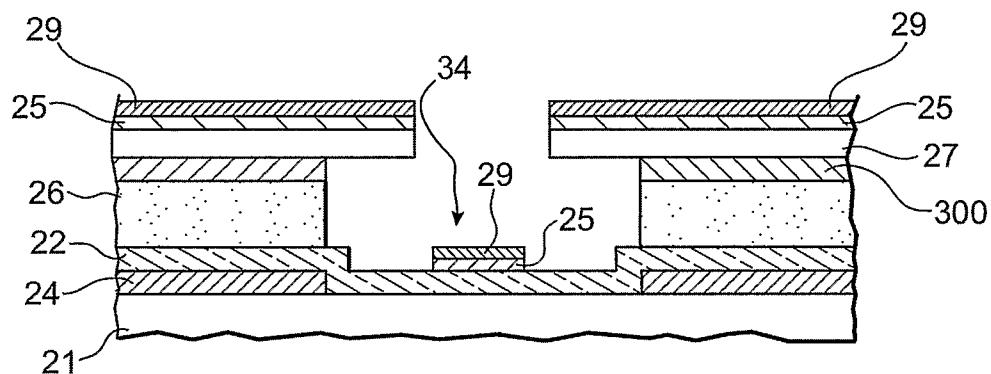


FIG. 3E

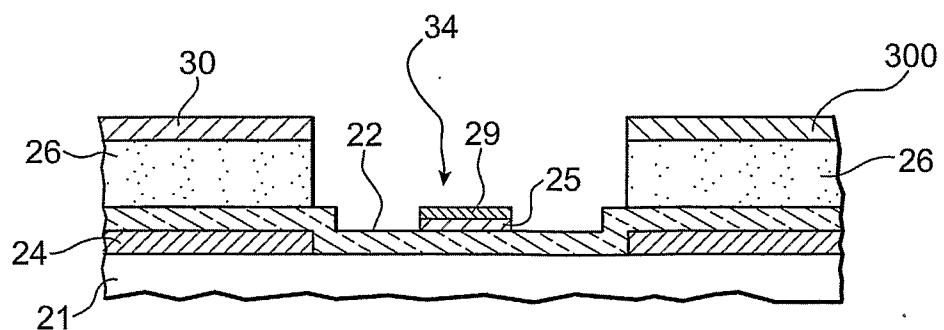


FIG. 3F

6 / 7

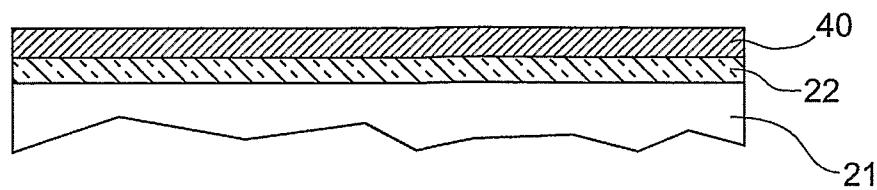


FIG. 4A

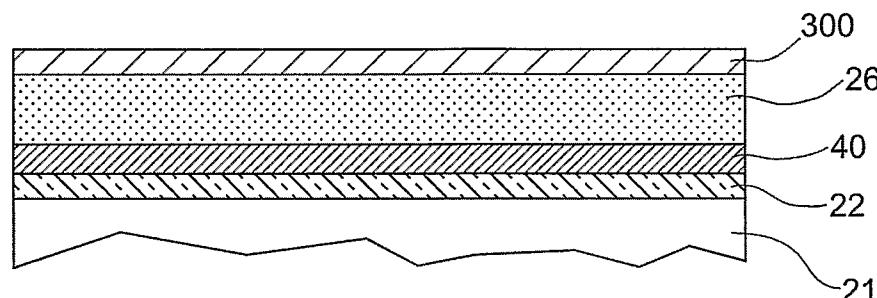


FIG. 4B

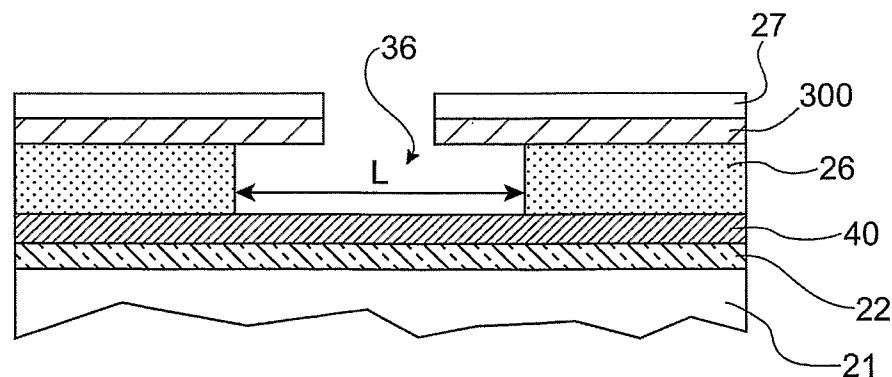


FIG. 4C

7 / 7

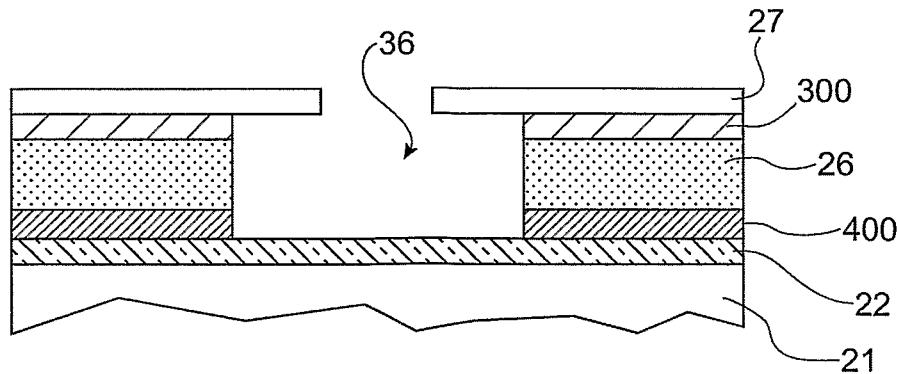


FIG. 4D

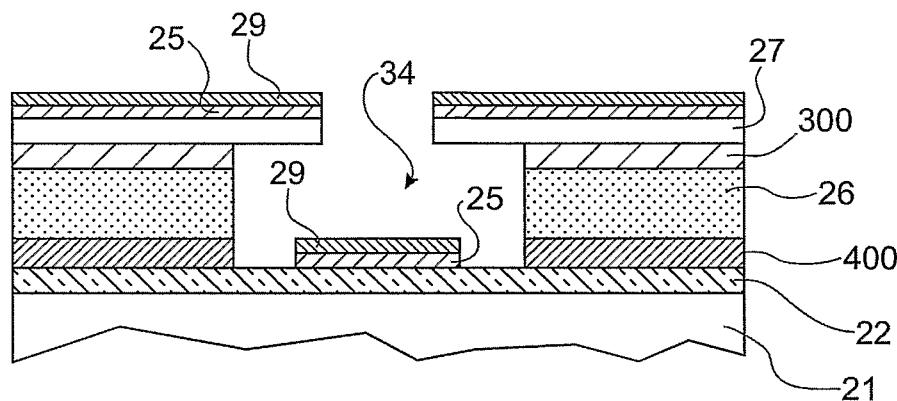


FIG. 4E

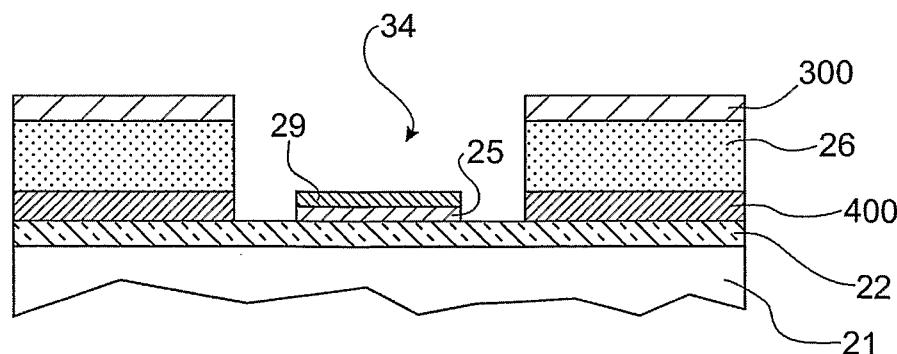


FIG. 4F