(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
23 septembre 2010 (23.09.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/106248 A1

(51) Classification internationale des brevets : *H01J 37/317* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2010/000226

(22) Date de dépôt international : 17 mars 2010 (17.03.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
09 01278 19 mars 2009 (19.03.2009) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **DONATINI, Fabrice** [FR/FR]; 150, route de Voissant, F-38500 Coublevie (FR). **LE SI, Dang** [FR/FR]; Domaine Saint Eynard, F-38330 Montbonnot Saint Martin (FR).

(74) Mandataires : **CABINET ORES** et al.; 36, rue de St Pétersbourg, F-75008 Paris (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, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

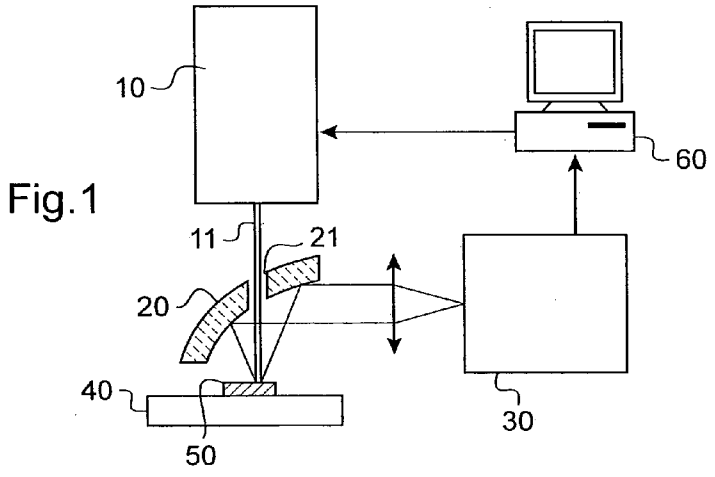
— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title** : ELECTRONIC LITHOGRAPHY METHOD WITH CATHODOLUMINESCENCE IMAGING

(54) **Titre** : PROCÉDÉ DE LITHOGRAPHIE ÉLECTRONIQUE A IMAGERIE DE CATHODOLUMINESCENCE

Fig.1



(57) **Abstract** : The invention relates to an electronic lithography method for producing devices including micrometric or nanometric objects arranged or built onto a substrate, comprising: a) depositing a resin layer on top of a surface of said substrate; b) exposing the resin by electron beam scanning in order to selectively expose predetermined regions in the resin; c) developing the exposed resin for selectively exposing predetermined regions in said surface; and d) producing the device by etching and/or by depositing a material through the resulting resin mask; characterised in that it also comprises, after depositing the resin but before exposing same, acquiring an image of said resulting object by scanning the surface of the substrate with an electron beam and in an amount that is insufficient for exposing the resin, and by detecting the cathodoluminescence thus induced; wherein said image is used for controlling the electron beam during said exposing step.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2010/106248 A1

Procédé de lithographie électronique pour la réalisation de dispositifs incluant des objets de dimensions micrométriques ou nanométriques déposés ou intégrés sur un substrat, comportant : a) le dépôt d'une couche de résine au-dessus d'une surface dudit substrat; b) l'insolation de la résine par balayage d'un faisceau d'électrons pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de la résine; c) le développement de la résine insolée pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de ladite surface; et d) la fabrication du dispositif par gravure et/ou dépôt de matière à travers le masque de résine ainsi obtenu; caractérisé en ce qu'il comporte également, après dépôt de la résine mais préalablement à son insolation, l'acquisition d'une image dudit objet obtenue par balayage de la surface du substrat par un faisceau d'électrons à une dose insuffisante pour insoler la résine, et par détection de la cathodoluminescence ainsi induite; ladite image étant utilisée pour le pilotage du faisceau d'électrons lors de ladite étape d'insolation.

PROCEDE DE LITHOGRAPHIE ELECTRONIQUE A IMAGERIE DE CATHODOLUMINESCENCE

L'invention porte sur un procédé de lithographie électronique pour la réalisation de dispositifs (prise de contacts électriques, fabrication de cristaux photoniques...) autours d'objets de dimensions micrométriques ou nanométriques qu'ils soient sur la surface d'un substrat (nanofils, nanotubes, nanoparticules...), enterrés à moins de quelques micromètres (boîtes quantiques...), ou intégrées dans des objets (puit quantique ou boîte quantique dans un nanofil par exemple).

Les nano-objets ou nanostructures tels que les nanofils, les nanotubes, les nanoparticules ou les boîtes quantiques font l'objet d'une intense activité de recherche aussi bien fondamentale qu'appliquée. En effet, ces éléments sont pressentis comme pouvant constituer les éléments de base de nouveaux composants électroniques ou optoélectroniques permettant de dépasser les performances des composants traditionnels réalisés à partir de cristaux macroscopiques de matériaux semi-conducteurs.

On entend ici pour « nano-objets » ou « objets de dimensions nanométriques » des objets présentant au moins une dimension – et de préférence au moins deux dimensions – inférieure au micromètre. Par exemple, un nanofil ou un nanotube peut présenter un diamètre de quelques dizaines ou centaines de nanomètres et une longueur de plusieurs micromètres. De même, par « objet de dimensions micrométrique » on entend un objet présentant au moins une dimension – et de préférence au moins deux dimensions – inférieure au millimètre.

Pour pouvoir caractériser et/ou exploiter les propriétés physiques diverses de ces objets, il est généralement nécessaire de réaliser des dispositifs plus ou moins complexes sur et/ou autour desdits objets (pistes électriques planaires réalisées sur un nanofil posé sur un substrat isolant, cristal photonique ou nano-spire centré e sur une boîte quantique enterrée, etc.).

Pour lesdits objets, dont la taille et la position ne sont pas connues de façon déterministe, cette opération est complexe. En effet, les nanofils, les nanotubes ou les nanoparticules sont le plus souvent fabriqués en grand nombre avec une certaine dispersion en taille à partir de substrats incompatibles avec leur caractérisation ou utilisation, voire même en milieu liquide. Il est donc nécessaire de les déposer sur un substrat différent, par exemple en silicium avec éventuellement une couche de SiO_2. Les boîtes quantiques, qui sont généralement enterrées, sont réalisées par des techniques qui ne permettent pas de connaître leur répartition spatiale.

Par exemple, la fabrication de contacts électriques par lithographie électronique sur un nanofil est difficile, car le motif de lithographie doit être aligné très précisément sur ledit nanofil. Or, ce dernier n'est pas visible juste avant l'opération de lithographie proprement dite, car il est recouvert d'une épaisse couche de résine sensible aux électrons. Dans ces conditions, l'observation du nanofil par microscopie électronique conventionnelle n'est pas possible sans insoler la résine, tandis que les techniques usuelles de microscopie optique présentent une résolution insuffisante.

Conventionnellement on procède donc de la manière suivante. Des plots de repérage sont déposés sur le substrat avant l'étalement de la résine, et une image en microscopie électronique est acquise de manière à déterminer précisément la position du nanofil par rapport auxdits plots. Après étalement d'une couche de résine, les plots restent observables en microscopie électronique du fait de leur épaisseur et/ou de leur contraste chimique. Il est donc possible d'acquérir une deuxième image desdits plots à très faible dose, sans provoquer d'insolation. Ensuite, les deux images (sans résine et avec résine) sont réalignées, ce qui permet de piloter le faisceau d'électrons « en aveugle ».

Des procédés de réalisation de contacts électriques sur nano-objets basés sur le principe exposé ci-dessus sont décrits par les articles suivants :

- E. Stern et al. « Methods for fabricating Ohmic contacts to nanowires and nanotubes », J. Vac. Sci. Technol. B 24(1), 2006, pp. 231 – 236 ;

Th. Weimann et al. « Electrical and structural characterisation of single ZnO nanorods », Microelectronic Engineering 85 (2008), pp. 1248 – 1252 ;

- R. M. Langford et al. « Comparison of different methods to contact to nanowires », J. Vac. Sci. Technol. B 24(5), 2006, pp. 2306 – 2311 ; et

- Y. F. Hsiou et al. « On the Ohmic Contact between Multiwalled Carbon Nanotubes and Nano-electrodes », Chinese Journal of Physics, Vol. 43, No. 1-II, pp. 293 – 298 (2005).

Ces procédés présentent l'inconvénient d'être complexes et coûteux, nécessitant des étapes technologiques supplémentaires pour le dépôt des plots de repérage. En outre, la précision de l'alignement est affectée défavorablement par son caractère indirect.

Des problèmes semblables se posent également dans le cas où l'objet à contacter n'est pas déposé sur le substrat, mais intégré dans ce dernier (ce qui est le cas des boîtes quantiques qui sont généralement enterrées à quelques centaines de nanomètres sous la surface) ou lorsque deux contacts doivent être pris le plus près possible d'un puit quantique ou d'une boîte quantique présente dans un nanofil mais dont la position n'est pas connue précisément.

L'invention vise à résoudre les inconvénients précités de l'art antérieur.

L'idée à la base de l'invention consiste à observer l'objet par cathodoluminescence après le dépôt de la résine, juste avant l'étape de lithographie proprement dite. Le faisceau électronique d'insolation peut ainsi être piloté directement sur la base d'une image numérique de l'objet, sans besoin de plots de repérage.

La cathodoluminescence est un effet physique bien connu qui consiste en l'émission de lumière infrarouge, visible ou ultra-violette par un échantillon irradié par un faisceau d'électrons.

Il est connu d'exploiter cet effet pour obtenir des images optiques à haute résolution. Pour ce faire, un échantillon cathodoluminescent est placé dans un microscope électronique, et balayé par un faisceau d'électrons. La lumière émise par cathodoluminescence est captée par un système optique prévu à cet effet, et utilisée pour former une image point par point dudit échantillon. La résolution spatiale de ladite image dépend seulement du diamètre du faisceau électronique et du pas de balayage, et n'est pas limitée par la longueur d'onde de la lumière : elle peut donc atteindre les 10 nm. Cette technique est décrite, par exemple, dans la note technique « High Spatial Resolution Cathodoluminescence », Simon A. Galloway, 2002, accessible sur le site Internet de la société Gatan (http://www.gatan.com/files/PDF/products/High_Spatial_note.pdf).

Voir également l'ouvrage « Microscopie électronique à balayage et Microanalyses », Publication du Groupement National de Microscopie Electronique à Balayage et de MicroAnalyses, éditée par François Brisset, EDP Sciences 2008, ISBN 978-2-7598-0082-7, et en particulier son chapitre XXX, « Une introduction à la cathodoluminescence des semi-conducteurs » par l'un des inventeurs (F. Donatini).

Les inventeurs se sont rendu compte du fait qu'une image de cathodoluminescence présentant une résolution suffisante peut être obtenue en utilisant une faible dose électronique, insuffisante pour insoler la résine, ce qui n'est pas possible en microscopie électronique conventionnelle. Pour ce faire, il suffit de choisir un substrat présentant, au moins dans une plage spectrale d'observation, une cathodoluminescence sensiblement plus faible ou plus forte que celle de l'objet, ainsi qu'une résine suffisamment transparente dans ladite plage spectrale. Or, l'expérience montre que cette condition est le plus souvent satisfaite, d'autant plus qu'il est possible de choisir librement la plage spectrale d'observation.

Les inventeurs se sont également rendu compte du fait qu'il est avantageux d'opérer à basse température, par exemple entre 250 K (refroidissement à l'azote liquide) et 3 K (refroidissement à l'hélium liquide). En effet un abaissement de la température augmente la cathodoluminescence – ce qui permet d'augmenter le contraste de l'image à dose électronique égale – et diminue la sensibilité de la résine – ce qui permet d'augmenter la dose, et donc le contraste de l'image, sans provoquer d'insolation.

Un objet de l'invention est donc un procédé de lithographie électronique pour la réalisation de dispositifs à partir d'objets de dimensions micrométriques ou nanométriques déposés ou intégrés sur un substrat, comportant :

a) le dépôt d'une couche de résine au-dessus d'une surface dudit substrat ;

b) l'insolation de la résine par balayage d'un faisceau d'électrons pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de la résine ;

c) le développement de la résine insolée pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de ladite surface ; et

d) la fabrication du dispositif par gravure et/ou dépôt de matière à travers le masque de résine ainsi obtenu ;

caractérisé en ce qu'il comporte également, après dépôt de la résine mais préalablement à son insolation, l'acquisition d'une image dudit objet obtenue par balayage de la surface du substrat par un faisceau d'électrons à une dose insuffisante pour insoler la résine, et par détection de la cathodoluminescence ainsi induite ; ladite image étant utilisée pour le pilotage du faisceau d'électrons lors de ladite étape d'insolation.

Selon des modes de réalisation particuliers de l'invention :

- Lesdites étapes d'acquisition d'une image et d'insolation peuvent être réalisées en refroidissant le substrat à une température comprise entre 3K et 250K.

- Ladite étape d'acquisition d'une image peut être réalisée dans une plage spectrale limitée au moyen d'un monochromateur.
- Le substrat peut être choisi de manière à présenter, dans une région spectrale d'observation, une émissivité par cathodoluminescence inférieure d'au moins un ordre de grandeur à celle dudit objet.
- Alternativement, le substrat peut être choisi de manière à présenter, dans une région spectrale d'observation, une émissivité par cathodoluminescence supérieure d'au moins un ordre de grandeur à celle dudit objet, de manière à permettre l'observation d'une ombre projetée par ce dernier.
- Ladite résine peut présenter une transmission supérieure à 50%, et de préférence supérieure ou égale à 70%, dans une région spectrale d'observation comprise entre 115 et 1700 nm.
- Aucune structure de repérage destinée au pilotage du faisceau d'électrons lors de ladite étape d'insolation ne doit être réalisée à proximité dudit objet.

D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemple et qui représentent, respectivement :

- La figure 1, un schéma simplifie d'un appareil de lithographie électronique adapté pour la mise en œuvre de l'invention ;
- La figure 2, une image obtenue par détection d'électrons secondaires d'un nanofil de ZnO déposé sur un substrat de Si/SiO_2 avant déposition de la résine de lithographie ;
- La figure 3, une image par électrons secondaires du même nanofil obtenue après étalement de la résine, à la dose d'observation maximale autorisée ;
- La figure 4, une image par cathodoluminescence panchromatique du même nanofil, réalisée avec la même dose électronique que dans le cas de la figure 3 mais à une température de 5 K ;

- Les figures 5 et 6, deux images par électrons secondaires du même nanofil, montrant les contacts électriques réalisés par lithographie électronique grâce à la méthode de l'invention.

Le dispositif de lithographie électronique à imagerie de cathodoluminescence de la figure 1 comporte essentiellement :

- un canon électronique 10 émettant un faisceau d'électrons 11 pouvant être utilisé aussi bien pour acquérir une image ou pour insoler une résine de lithographie électronique ;
- un miroir parabolique 20, comportant un orifice 21 pour le passage du faisceau 11 et permettant de collecter et collimater la lumière émise par photoluminescence par un échantillon 50 ;
- un monochromateur 30 pourvu de détecteurs de lumière 31 et 32, recevant la lumière collectée par le miroir 20 ;
- une platine froide 40 sur laquelle est posé l'échantillon 50, constitué par un substrat 52 et un nanofil 55 déposé sur ledit substrat ; et
- un ordinateur 60, relié au monochromateur 30 pour acquérir une image de cathodoluminescence par balayage de l'échantillon 50 et pour piloter le faisceau 11 émis par le canon électronique 10.

D'une manière conventionnelle, l'ensemble est maintenu sous vide.

Le canon électronique 10 est celui d'un microscope électronique à balayage conventionnel ; tout le dispositif est en fait réalisé à partir d'un tel microscope. Il peut s'agir, à titre d'exemple, d'un microscope Quanta 200 commercialisé par la société FEI, dont la source d'électrons est un filament de tungstène. La tension d'accélération des électrons peut être variée entre 200 V et 30 kV et le courant du faisceau entre 5 pA et 50 nA.

Le pilotage du faisceau peut être réalisé par un dispositif de pilotage conventionnel, tel qu'un dispositif DigiScan II de la société Gatan.

Le miroir parabolique 20 peut être réalisé par usinage à l'outil diamant d'un bloc d'aluminium. Le positionnement du miroir par rapport à l'échantillon et à l'axe du faisceau électronique est réalisé grâce à un système

de positionnement dans le plan x-y (perpendiculaire à la direction du faisceau 11, indiquée par z) ; le réglage dans la direction z se fait par déplacement vertical de la platine 40. Le miroir est positionné, à quelques micromètres près, de telle façon que son foyer soit situé sur la surface de l'échantillon, en correspondance du point par lequel passe l'axe du faisceau 11. L'ouverture 21 a un diamètre de l'ordre de 2 mm.

La lumière collectée par le miroir est focalisée sur la fente d'entrée du monochromateur par une lentille plan-convexe.

Le monochromateur 30 peut être par exemple un HR460 Jobin Yvon à 2 réseaux, à 600 et 1800 traits/mm respectivement, blazés dans le proche UV. Les détecteurs associés sont un photomultiplicateur et une matrice CCD de 256 x 1024 pixels refroidie à 140 K par azote liquide. Le photomultiplicateur sert pour l'imagerie de cathodoluminescence panchromatique ou monochromatique dans une plage spectrale comprise entre 200 et 900 nm, mais également pour l'obtention de spectres par rotation du réseau ; la matrice CCD permet l'acquisition rapide de spectres et de profils de spectre.

La platine froide est une platine CF302 de Gatan refroidie à l'hélium liquide permettant de régler la température de l'échantillon entre 5 et 300 K.

Les caractéristiques de ce système ont été décrites en détail, mais uniquement à titre d'exemple non limitatif.

L'échantillon 50 est constitué d'un substrat 52 en Si recouvert d'une couche de 500 nm de SiO_2, sur lequel est déposé un nanofil 55 en ZnO ayant un diamètre de l'ordre de 100 nm et une longueur de 5 µm.

La figure 2 montre une image de cet échantillon, acquise par observation d'électrons secondaires avec une dose de 1 µC/cm² d'électrons accélérés à 30 kV, à une température de 300 K (ambiante).

La figure 3 montre une image prise dans les mêmes conditions, mais après avoir déposé une couche de résine lithographique (PMMA : polyméthacrylate de méthyle) de 400 nm d'épaisseur au-dessus de

l'échantillon. La dose d'observation (1 µC/cm²) est inférieure d'un facteur 250 à celle requise pour l'insolation de la résine à 300K. Dans ces conditions, le nanofil 55 est invisible. C'est pour cette raison que, dans les procédés conventionnels, on prévoit des plots de repérage à proximité du nanofil.

La figure 4 montre une image panchromatique de cathodoluminescence (en négatif) du nanofil 55 sous la résine, l'échantillon ayant été refroidi à 5K. La plage spectrale de l'image est 200 – 900 nm ; la transmission du PMMA dans cette plage est supérieure à 70%. Cette image à également été acquise avec une dose électronique de 1 µC/cm², mais cette fois le nanofil est parfaitement visible. En outre, grâce au refroidissement, la dose d'insolation de la résine est passée de 250 µC/cm² (à 300 K) à 550 µC/cm² : la marge de sécurité sur la dose a donc plus que doublé.

Il est donc possible d'augmenter la dose à 550 µC/cm² (en augmentant le courant et/ou le temps d'exposition) afin d'insoler la résine selon le motif désiré, en pilotant le faisceau électronique à l'aide de l'image de cathodoluminescence enregistrée préalablement. Par exemple, le motif peut consister à réaliser quatre contacts le long du fil et des plots pour connexion extérieure sous pointes reliés auxdits contacts.

A 300 K, la résine est ensuite développée avec un mélange standard MIBK/IPA (méthyl-isobutyl-cétone / alcool isopropylique), et une bicouche de métallisation (140 nm Ti – 40 nm Au) est déposée par évaporation. Ensuite, le métal déposé sur la résine non insolée est enlevé (étape dite de « lift-off ») avec de l'acétone ou du N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP).

Les figures 5 et 6 montrent deux images, à deux grossissements et angles différents, des connexions électriques ainsi obtenues.

En l'espèce, la cathodoluminescence du nanofil sur toute la plage spectrale considérée était bien plus intense que celle du substrat, ce qui a permis de réaliser des images panchromatiques. Dans certains cas, une différence significative d'émissivité sera observée seulement dans une plage

spectrale déterminée : il sera donc nécessaire de réaliser une image à bande étroite à l'aide du monochromateur 30 (les spectres de cathodoluminescence du nano-objet et du substrat peuvent être acquis avant étalement de la résine). Enfin, dans d'autres cas, la cathodoluminescence du nanofil sera inférieure à celle du substrat : dans ce cas on pourra acquérir une image de l'ombre projetée par ledit nano-objet.

On comprend donc que le procédé peut donc être facilement généralisé à d'autres objets, d'autres substrats et également d'autres résines de lithographie électronique. En particulier, l'application du procédé n'est nullement limitée à la réalisation de contacts électriques. Au contraire, des nombreuses autres applications sont envisageables, comme la réalisation de cristaux photoniques par dépôt de matériaux diélectriques à travers les ouvertures pratiquées dans la résine, le dépôt de micro-spires pour appliquer des champs magnétiques à des boîtes quantiques, etc.

REVENDICATIONS

1. Procédé de lithographie électronique pour la réalisation de dispositifs incluant des objets de dimensions micrométriques ou nanométriques déposés ou intégrés sur un substrat, comportant :

a) le dépôt d'une couche de résine au-dessus d'une surface dudit substrat ;

b) l'insolation de la résine par balayage d'un faisceau d'électrons pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de la résine ;

c) le développement de la résine insolée pour libérer sélectivement des régions prédéfinies de ladite surface ; et

d) la fabrication du dispositif par gravure et/ou dépôt de matière à travers le masque de résine ainsi obtenu ;

caractérisé en ce qu'il comporte également, après dépôt de la résine mais préalablement à son insolation, l'acquisition d'une image dudit objet obtenue par balayage de la surface du substrat par un faisceau d'électrons à une dose insuffisante pour insoler la résine, et par détection de la cathodoluminescence ainsi induite ; ladite image étant utilisée pour le pilotage du faisceau d'électrons lors de ladite étape d'insolation.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel lesdites étapes d'acquisition d'une image et d'insolation sont réalisées en refroidissant le substrat à une température comprise entre 3K et 250K.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite étape d'acquisition d'une image est réalisée dans une plage spectrale limitée au moyen d'un monochromateur (30).

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le substrat est choisi de manière à présenter, dans une région spectrale d'observation, une émissivité par cathodoluminescence inférieure d'au moins un ordre de grandeur à celle dudit objet.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le substrat est choisi de manière à présenter, dans une région spectrale d'observation, une émissivité par cathodoluminescence supérieure d'au

moins un ordre de grandeur à celle dudit objet, de manière à permettre l'observation d'une ombre projetée par ce dernier.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite résine présente une transmission supérieure à 50%, et de préférence supérieure ou égale à 70%, dans une région spectrale d'observation comprise entre 115 et 1700 nm.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel aucune structure de repérage destinée au pilotage du faisceau d'électrons lors de ladite étape d'insolation n'est réalisée à proximité dudit objet.

Fig.1

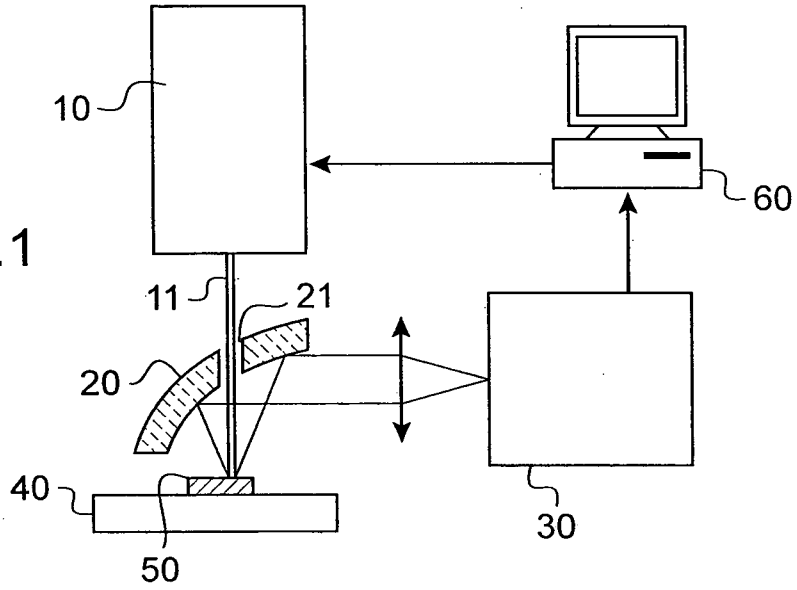
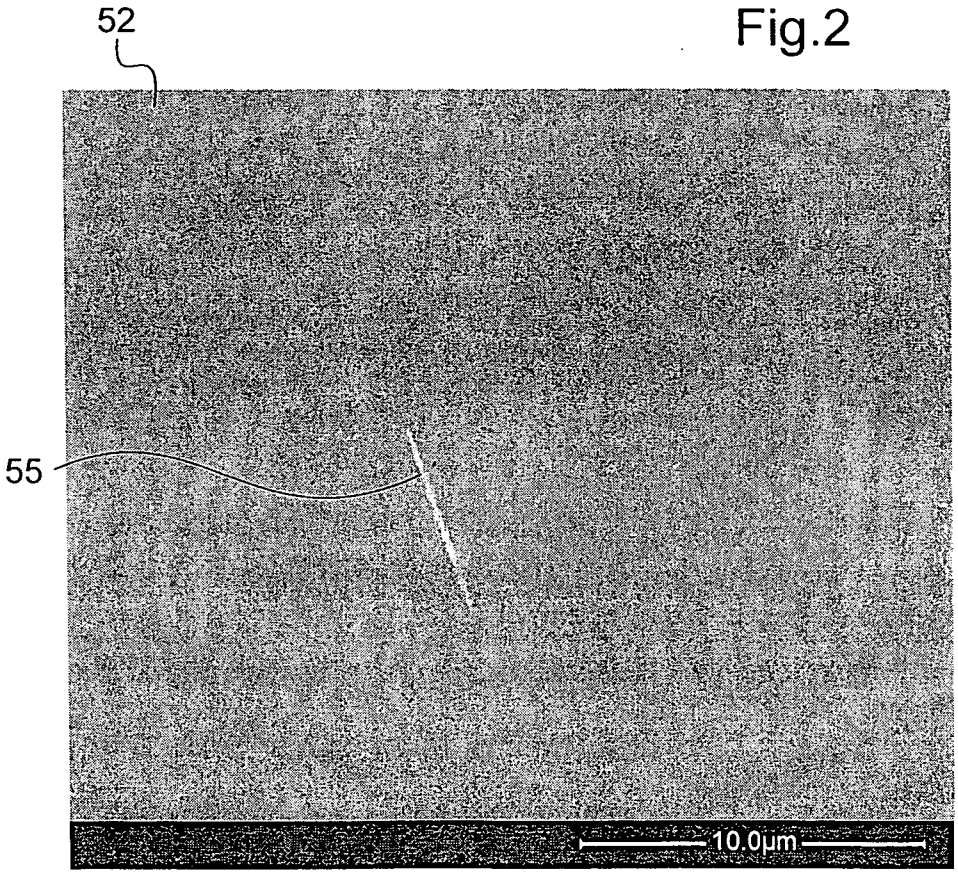


Fig.2



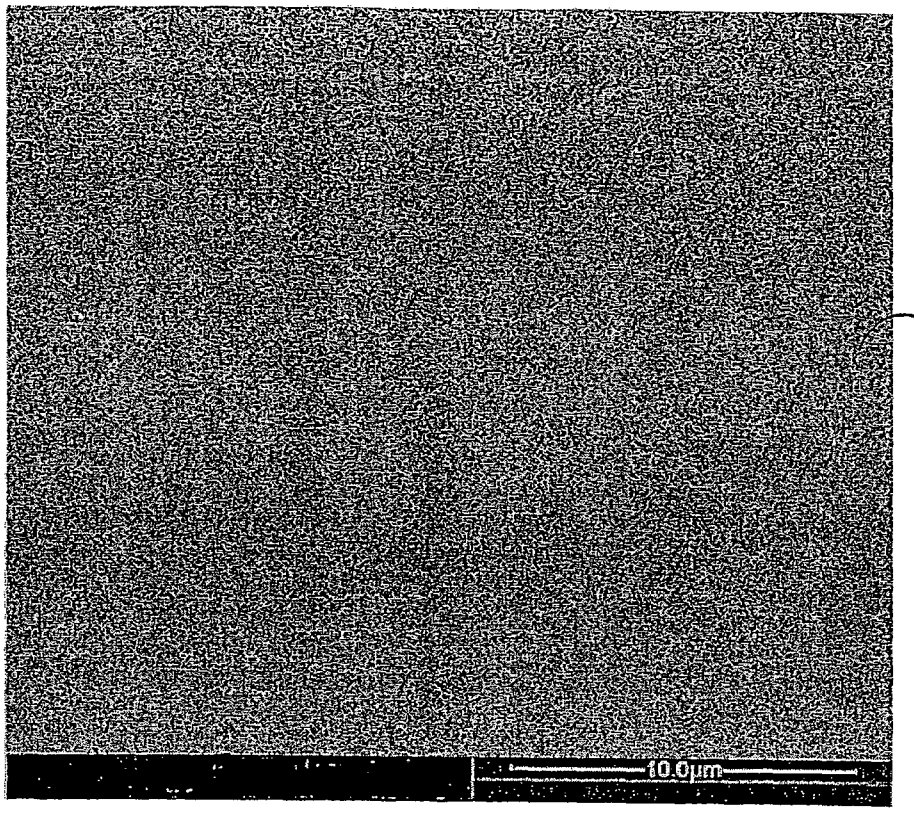


Fig.3

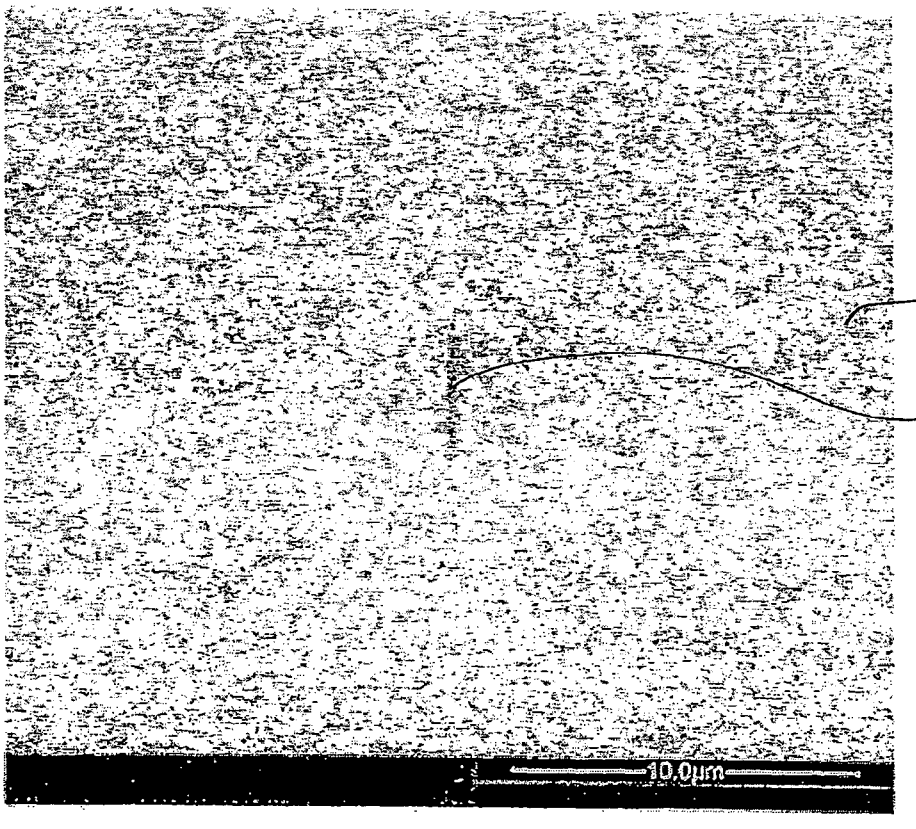


Fig.4

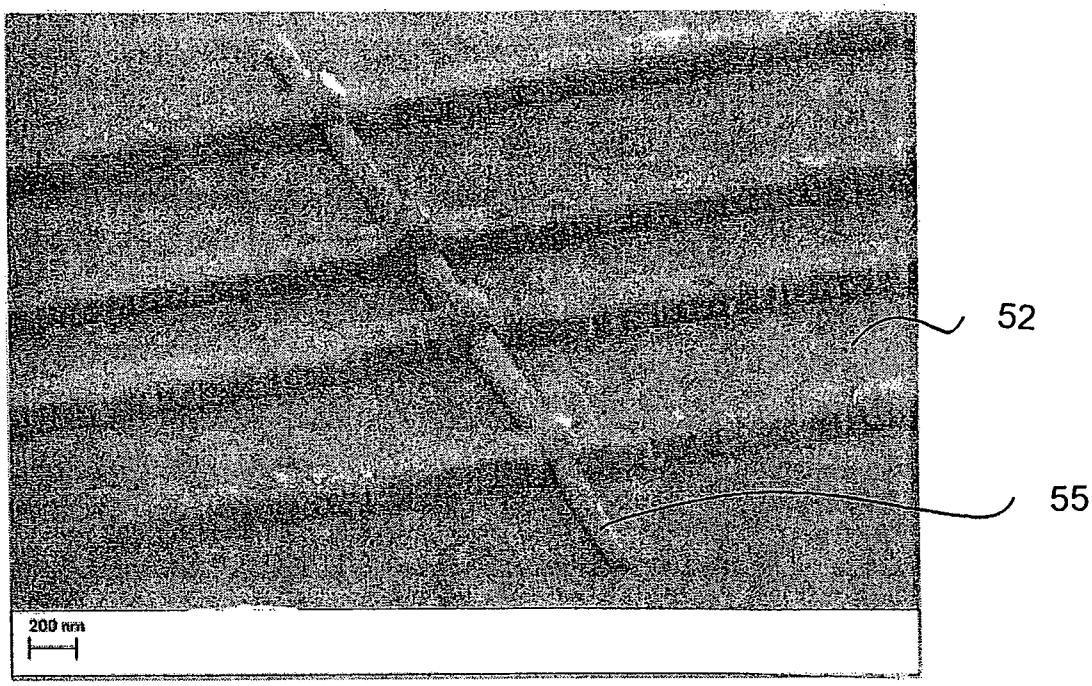


Fig.5

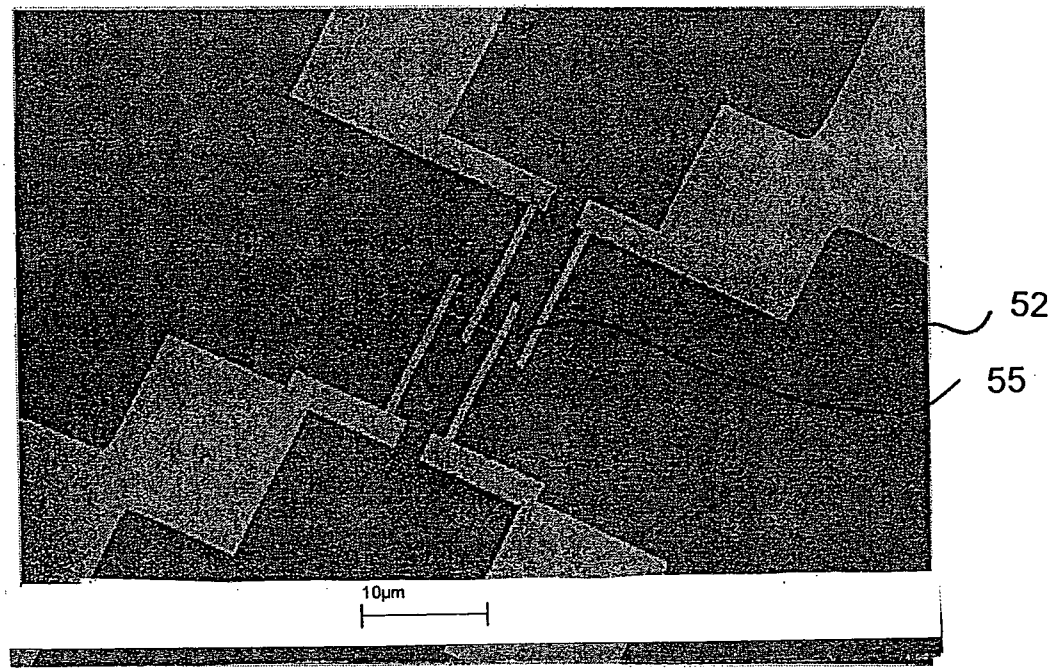


Fig.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2010/000226

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01J37/317
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01J G03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 892 230 A (GOODBERLET JAMES G [US] ET AL) 6 April 1999 (1999-04-06) column 9, line 1 - line 4 column 11, line 47 - line 13, paragraph 33 figures 9c,12	1,3,4
X	US 3 840 749 A (O KEEFFE T ET AL) 8 October 1974 (1974-10-08) column 5, line 51 - column 11, line 29 figures 1-8	1,3,4
X	FR 2 146 106 A (THOMSON CSF THOMSON CSF [FR]) 2 March 1973 (1973-03-02) page 3, line 15 - page 7, line 23 figures 1-8	1,3,4

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 April 2010	07/05/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Aguilar, María

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2010/000226

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/079462 A1 (AMEMIYA MITSUAKI [JP] ET AL) 27 June 2002 (2002-06-27) paragraph [0004] - paragraph [0005] paragraph [0028] - paragraph [0031] paragraph [0035] - paragraph [0046]	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2010/000226

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5892230 A	06-04-1999	WO 9854746 A1	03-12-1998
US 3840749 A	08-10-1974	CA 1005176 A1	08-02-1977
		DE 2428303 A1	27-03-1975
		FR 2234659 A1	17-01-1975
		GB 1477871 A	29-06-1977
		JP 1171345 C	17-10-1983
		JP 50037096 A	07-04-1975
		JP 58003372 B	21-01-1983
FR 2146106 A	02-03-1973	DE 2234803 A1	25-01-1973
		GB 1389239 A	03-04-1975
		US 3843916 A	22-10-1974
US 2002079462 A1	27-06-2002	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2010/000226

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01J37/317
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H01J G03F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 892 230 A (GOODBERLET JAMES G [US] ET AL) 6 avril 1999 (1999-04-06) colonne 9, ligne 1 - ligne 4 colonne 11, ligne 47 - ligne 13, alinéa 33 figures 9c,12	1,3,4
X	US 3 840 749 A (O KEEFFE T ET AL) 8 octobre 1974 (1974-10-08) colonne 5, ligne 51 - colonne 11, ligne 29 figures 1-8	1,3,4
X	FR 2 146 106 A (THOMSON CSF THOMSON CSF [FR]) 2 mars 1973 (1973-03-02) page 3, ligne 15 - page 7, ligne 23 figures 1-8	1,3,4

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
28 avril 2010	07/05/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Aguilar, María

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2010/000226

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2002/079462 A1 (AMEMIYA MITSUAKI [JP] ET AL) 27 juin 2002 (2002-06-27) alinéa [0004] - alinéa [0005] alinéa [0028] - alinéa [0031] alinéa [0035] - alinéa [0046] -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2010/000226

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5892230 A	06-04-1999	WO 9854746 A1	03-12-1998
US 3840749 A	08-10-1974	CA 1005176 A1	08-02-1977
		DE 2428303 A1	27-03-1975
		FR 2234659 A1	17-01-1975
		GB 1477871 A	29-06-1977
		JP 1171345 C	17-10-1983
		JP 50037096 A	07-04-1975
		JP 58003372 B	21-01-1983
FR 2146106 A	02-03-1973	DE 2234803 A1	25-01-1973
		GB 1389239 A	03-04-1975
		US 3843916 A	22-10-1974
US 2002079462 A1	27-06-2002	AUCUN	