(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** ***2 985 602***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **12 50098**

(51) Int Cl[8] : ***H 01 L 21/64*** *(2013.01), H 01 L 21/62, B 81 B 7/02*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 05.01.12.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 12.07.13 Bulletin 13/28.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DIEM BERNARD.

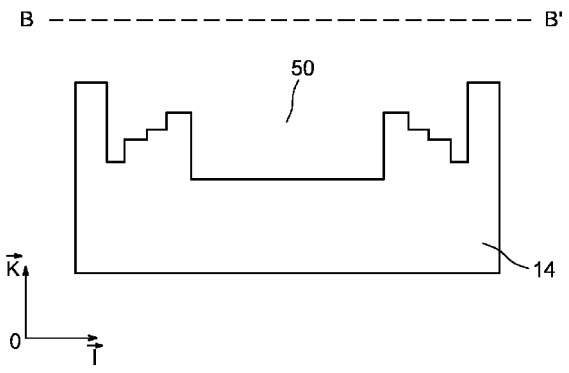
(73) **Titulaire(s) :** COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

(74) **Mandataire(s) :** BREVALEX Société à responsabilité limitée.

(54) PROCEDE DE GRAVURE D'UN MOTIF COMPLEXE.

(57) Procédé de gravure d'un motif complexe souhaité (50), dans une première face d'un substrat, comportant les étapes suivantes :

- gravure simultanée d'au moins un premier et deuxième sous-motifs à travers la première face du substrat, les sous-motifs gravés étant séparés par au moins une paroi de séparation, la largeur du premier sous-motif étant plus importante que la largeur du second sous-motif au niveau de la première face, et la profondeur du premier sous-motif étant plus importante que la profondeur du second sous-motif selon une direction perpendiculaire à ladite première face,
- une étape de retrait ou d'élimination de ladite paroi de séparation, pour révéler le motif complexe souhaité (50).



FR 2 985 602 - A1

PROCEDE DE GRAVURE D'UN MOTIF COMPLEXE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne le domaine technique de la microélectronique, et plus particulièrement, les microsystèmes de type MEMS ou MOEMS comportant un motif en trois dimensions ou motif complexe.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans la microélectronique, la réalisation de microsystèmes nécessite au moins une étape de gravure d'au moins une partie de leur substrat, afin de définir leur géométrie. Lors de cette étape, l'utilisation d'un masque permet de former rapidement et facilement, des motifs en deux dimensions sur la surface d'un substrat. Les techniques couramment utilisées sont principalement des techniques de gravure par voie humide (chimique ou électrochimique) ou par voie sèche (par exemple par gravure plasma). Par contre, il n'existe pas encore de technique aussi simple et rapide pour réaliser des motifs en trois dimensions, c'est-à-dire, comportant au moins deux niveaux différents de profondeur dans le substrat. Ce type de motif est également nommé motif complexe, reflétant les difficultés rencontrées lors de sa réalisation.

Une technique connue permet actuellement de graver des motifs complexes dans des substrats,

comportant plusieurs couches de matériaux distincts, en jouant sur leur vitesse de gravure respective. Ce type de substrat singulier est constitué par une alternance de couches, dont certaines sont traversées par des motifs, dont la forme dépend de leur niveau de profondeur dans ledit substrat. De cette façon, un motif complexe peut être réalisé avec plusieurs niveaux de profondeur, en fonction des matériaux utilisés et de leur position dans le substrat (C. Gui et al., *Fabrication of multi-layer substrates for high aspect ratio single crystalline microstructures*, Sensors and Actuators, A70 (1998) 61-66) ; Svetlana Tatic-Lucic et al., *Etch-stop characteristics of heavily B/Ge-doped silicon epilayer in KOH and TMAH*, Sensors and Actuators, A 123-124 (2005) 640-645). La profondeur du motif complexe, pour ce type de substrat, est donc déterminée avant l'étape de gravure. De ce fait, la position des couches composant le substrat doit être définie à l'avance, en fonction du motif complexe que l'on souhaite graver. Un substrat comportant des couches enterrées est donc uniquement utilisable pour former un type de motif complexe. Cette technique est de ce fait coûteuse en temps, en matière et complexe à réaliser.

Une autre technique de gravure connue, pour former des motifs complexes, consiste à utiliser un agent chimique réagissant au contact d'un substrat monocristallin. La vitesse de gravure de l'agent chimique dépend dans ce cas de l'orientation des plans de cristallisation. Les formes des motifs complexes réalisables sont donc fortement limitées par l'état et

l'orientation des plans de cristallisation (Kenneth E. Bean, *Anisotropic Etching of Silicon*, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol ED-25, N° 10, October 1978).

L'un des objectifs de l'invention est de pouvoir réaliser rapidement et simplement, des formes complexes différentes à partir d'un substrat homogène ou hétérogène.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention concerne un procédé de gravure d'un motif complexe souhaité, dans une première face d'un substrat, comportant les étapes suivantes :

- gravure simultanée d'au moins un premier et deuxième sous-motifs à travers la première face du substrat, les sous-motifs gravés étant séparés par au moins une paroi de séparation, la largeur du premier sous-motif étant plus importante que la largeur du second sous-motif au niveau de la première face, et la profondeur du premier sous-motif étant plus importante que la profondeur du second sous-motif selon une direction perpendiculaire à ladite première face,

- une étape de retrait ou d'élimination de ladite paroi de séparation, pour révéler le motif complexe souhaité.

Le nombre de sous-motifs différents réalisés peut être supérieur au nombre 2.

Les parois de séparation ont de préférence au moins une surface commune avec la première face du substrat. Elles peuvent par la suite être retirées, éliminées ou supprimées pour révéler le motif complexe souhaité.

Au moins un premier et un second sous-motif peuvent être gravés à travers un masque, dont les ouvertures correspondent aux dimensions d'un premier et d'un deuxième sous-motif réalisés dans la première face du substrat. Autrement dit, les sous-motifs précédents peuvent être réalisés simultanément, à l'aide d'un masque placé entre la première face du substrat et des moyens de gravure (voir ci-après). De cette façon, la gravure des sous-motifs peut être réalisée rapidement.

Les sous-motifs peuvent être gravés dans le substrat simultanément par une technique de gravure anisotrope, préférentiellement par voie sèche, comme par exemple par gravure plasma de type RIE (reactive ionic etching) ou par voie humide telle que porosification, ou gravure chimique.

Un sous-motif ou une gravure ou une tranchée, peut avoir une largeur comprise entre quelques nanomètres et plusieurs micromètres, entre 10nm et 500µm, de préférence entre 0,1µm et 500µm.

La largeur d'une gravure est définie comme étant la distance séparant les parois d'un sous-motif, au niveau de ou sur la première face ou dans un plan parallèle ou sensiblement parallèle à la première face du substrat.

La profondeur d'un sous-motif peut être comprise entre quelques nanomètres et plusieurs micromètres, de préférence entre 0,1µm et 500µm.

La largeur peut également être définie comme étant la plus petite dimension d'un sous motif au niveau de la première face du substrat, la largeur permettant de définir la profondeur de la gravure selon

une direction sensiblement normale à la première face du substrat.

La largeur des sous-motifs peut être inférieure à leur profondeur. Les sous-motifs ou gravures les plus larges peuvent alors être les sous-motifs ou les tranchées les plus profondes dans le substrat, et inversement, les sous-motifs les moins profonds peuvent être les sous-motifs les plus étroits. La présente invention permet ainsi de réaliser des sous-motifs de profondeurs différentes, en faisant varier la largeur des sous-motifs, grâce à l'effet ARDE (Aspect Ratio Dependent Etching). Autrement dit, on utilise le phénomène physique selon lequel la vitesse de gravure diminue quand la largeur du sous-motif diminue, dans les gammes de largeur citées précédemment.

De préférence, les sous-motifs sont gravés à partir d'une technique favorisant le phénomène d'ARDE, comme par exemple les techniques de gravure plasma. Les techniques suivantes sont ainsi préférées : gravure ionique réactive (« Reactive Ion Etching ») ou gravure ionique réactive profonde (« Deep Reactive Ion Etching »).

Les sous-motifs peuvent être réalisés de façon anisotrope, par exemple selon une technique de gravure par voie humide et/ou sèche et de préférence par une technique de gravure plasma.

Plusieurs sous-motifs de forme identique peuvent former un groupe de sous-motifs.

Plusieurs groupes de sous-motifs de formes différentes, peuvent être regroupés et/ou alternés

et/ou combinés entre eux, d'une façon appropriée pour obtenir le motif complexe souhaité, et séparés par des parois de séparation avant l'étape de retrait, par exemple à partir d'un premier et second groupes de sous-motifs.

Le contour d'un ou de plusieurs sous-motifs au niveau de la première face peut être de forme carrée et/ou rectangulaire et/ou circulaire et/ou ovoïde.

Au moins un premier et un second sous-motif gravés peuvent communiquer entre eux, de façon à former au moins une gravure continue dont la profondeur, selon une direction perpendiculaire à la première face, varie.

La largeur d'une gravure continue peut varier au niveau de la première face du substrat.

Les contours d'une gravure continue peuvent avoir une forme géométrique souhaitée parmi les formes précédentes ou par exemple en forme de spirale.

L'épaisseur ou la largeur des parois de séparation peut être comprise entre quelques nanomètres et plusieurs microns, entre 0,1 et 5µm ou entre 1 et 5µm.

Les épaisseurs des parois de séparation peuvent être identiques ou bien proches, afin de faciliter leur retrait de façon homogène. Autrement dit, les sous-motifs sont de préférence espacés de façon régulière, pour que les parois de séparation séparant les gravures les composant soit d'épaisseur similaire ou identique.

Le retrait des parois de séparation peut être réalisé à l'aide d'une technique de gravure isotrope. En juxtaposant des tranchées de largeurs

différentes, donc de profondeurs différentes, on obtient après le retrait des parois de séparation entre les tranchées, le motif complexe souhaité. Les niveaux de profondeur du motif complexe peuvent ainsi être fixés en fonction de la largeur des gravures des sous-motifs.

Les sous-motifs peuvent être réalisés sur un substrat comportant une ou plusieurs couches, éventuellement de compositions différentes. De préférence, les substrats employés sont ceux utilisés dans le domaine de la microélectronique, plus particulièrement, pour la réalisation de microsystèmes de type MEMS (« Micro-Electro-Mechanical Systems ») et/ou MOEMS (« Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems). Ils peuvent par exemple être mono ou multicouche, chaque couche pouvant être réalisée à partir de l'un des matériaux suivants : silice ou/et silicium et/ou germanium.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres détails et caractéristiques de l'invention apparaîtront de la description qui va suivre, faite en regard des figures annexées suivantes. Les parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références de façon à faciliter le passage d'une figure à une autre. Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles. Les repères indiqués sur les figures sont orthogonaux.

La figure 1a illustre l'influence de la largeur de gravure d'un motif sur sa profondeur, pour un temps de gravure de 80 minutes (Jani Karttunen et all, Loading effects in deep silicon etching, Proceeding of SPIE 2000, Vol 4174, pp. 90-97).

La figure 1b illustre l'influence de la largeur de gravure d'un motif sur sa profondeur, pour un temps de gravure de 10 minutes (Jani Karttunen et all, Loading effects in deep silicon etching, Proceeding of SPIE 2000, Vol 4174, pp. 90-97).

La figure 2a représente une vue de dessus d'un substrat, comportant plusieurs sous-motifs parallèles et de largeurs différentes.

La figure 2b est une image MEB (microscope électronique à balayage ou SEM en anglais), d'une coupe de profil selon l'axe (AA') du substrat de la figure 2a.

La figure 2c représente le substrat de la figure 2b, après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

La figure 3a représente une vue de dessus d'un substrat, comportant plusieurs sous-motifs parallèles entre eux et de largeurs différentes.

La figure 3b représente une vue de profil d'une coupe du substrat de la figure 3a, selon l'axe (AA').

La figure 4a représente une vue de dessus du substrat de la figure 3a, après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

La figure 4b représente une vue de profil d'une coupe du substrat de la figure 3b, selon l'axe

(AA'), après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

La figure 5a représente une vue de dessus d'un substrat, comportant plusieurs sous-motifs parallèles entre eux, la largeur des sous-motifs augmentant de la périphérie du regroupement des sous-motifs vers son centre.

La figure 5b représente une vue de profil d'une coupe du substrat de la figure 5a, selon l'axe (AA').

La figure 5c représente le substrat de la figure 5b, après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

Les figures 6a-d représente une vue de dessus d'un substrat, comportant plusieurs sous-motifs parallèles entres eux et de largeurs différentes.

La figure 6e représente une vue de profil d'une coupe du substrat des figures 6a à 6d, selon l'axe (AA').

La figure 6f représente une vue de profil d'une coupe du substrat des figures 6c et 6d, selon l'axe (BB').

La figure 6g représente le substrat de la figure 6e, après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

La figure 6h représente le substrat de la figure 6f, après le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La présente demande concerne un procédé de fabrication d'un motif complexe dans un substrat.

Le substrat 10 peut comporter une première face 12 en contact avec l'environnement extérieur (figure 2a). Il peut comporter une ou plusieurs couches, éventuellement de compositions différentes, de préférence réalisées dans un matériau pouvant être gravé par voie sèche ou humide. Ce matériau peut être une substance organique ou minérale, de nature isolante, semi-conductrice ou conductrice. Il peut être composé par l'un des matériaux suivants : silicium, silice, quartz.

Par exemple, un substrat pouvant être utilisé dans le cadre de la présente demande, peut être un wafer, couramment utilisés dans l'industrie de la microélectronique, comportant une couche de silicium d'une épaisseur de plusieurs centaines de microns, par exemple entre 100µm et 1mm, recouverte par une couche de silice. Dans ce cas, la première couche en surface peut être la couche de silice, d'une épaisseur comprise entre quelques dizaines de nanomètres et plusieurs microns, par exemple entre 10nm et 5µm.

Un motif complexe est formé selon l'invention, à partir d'au moins deux sous-motifs.

Un premier sous-motif ou une première gravure est réalisée à travers la première face 12 du substrat 10. Le retrait ou l'élimination d'au moins une partie de la matière du substrat 10 peut être fait à travers une ou plusieurs couches situées au-dessus de la première face 12. Le sous-motif peut éventuellement

traverser le substrat 10. Le retrait est réalisé selon les contours du sous-motif sur la première face 12 du substrat 10, et selon une technique de gravure par voie humide, ou chimique, ou électrochimique, ou préférentiellement par voie sèche.

La largeur l_x du premier sous-motif ou de la gravure X, c'est-à-dire, la distance séparant ses parois dans un plan confondu avec la première face 12, peut être comprise entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de microns, par exemple entre 10nm et 1mm.

Or, dans cette plage de valeurs, il n'est pas possible de réaliser des gravures de même profondeur ayant des largeurs différentes (Jani Karttunen et all, *Loading effects in deep silicon etching*, Proceeding of SPIE 2000, Vol 4174, pp. 90-97). Plus précisément, pour une même condition de gravure, une gravure devient plus profonde lorsque sa largeur augmente (figures 1a et 1b). Ce phénomène est connu sous le nom d'ARDE ou de facteur d'aspect.

Pour remédier à ce problème, il est nécessaire d'adapter la vitesse et/ou le temps de gravure, en fonction de la largeur de chaque gravure. De ce fait, les paramètres de gravure et/ou les masques de gravure utilisés sont associés à un seul type de motif, caractérisé par des gravures de même largeur et de même profondeur. Autrement dit, la réalisation d'un motif comportant des sous-motifs de même profondeur mais de largeurs différentes, nécessite autant d'étapes spécifiques de gravure que de sous-motifs de largeurs différentes. Une alternative consiste à réaliser les

sous-motifs dans un substrat comportant une couche d'arrêt de gravure, telle qu'indiqué dans la référence précédente (C. Gui et all). C'est pourquoi, ce phénomène de facteur d'aspect est considéré comme un inconvénient majeur, un phénomène parasite, pour réaliser dans un même substrat des motifs de même profondeur mais de largeurs différentes.

L'inventeur a su, de manière surprenante, utiliser ce phénomène parasite pour développer un nouveau procédé de réalisation d'un motif complexe, dans un substrat ne comportant pas de couche d'arrêt de gravure.

La largeur du premier sous-motif selon l'invention est donc délibérément comprise dans la gamme de valeurs où se produit le phénomène de facteur d'aspect, de préférence entre 0,1µm et 500µm. Ainsi, la profondeur P_x de la gravure X dépend de sa largeur l_X.

La profondeur P_X d'un sous-motif peut varier entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de micron, par exemple entre 10nm et 1mm.

De préférence sont donc employées, pour former le premier sous-motif, des techniques de gravure ayant une forte anisotropie, c'est-à-dire une grande verticalité, et favorisant le phénomène de facteur de forme. Ces techniques sont par exemple la gravure ionique réactive (RIE) ou la gravure ionique réactive profonde (DRIE).

Un ou plusieurs masques, placés entre les moyens permettant de graver le substrat et ledit substrat, ou bien contre la première face 12 du substrat peuvent permettre de former le premier sous-

motif. Un masque protège les zones de la première face 12 que l'on souhaite préserver lors du procédé de gravure. L'utilisation d'un ou de plusieurs masques est plus particulièrement adaptée avec des techniques de gravure dont l'efficacité est beaucoup plus grande dans une direction donnée.

Selon un premier exemple de réalisation de l'invention, plus de deux sous-motifs de largeurs différentes sont réalisés à travers la première face 12 d'un substrat 10 (figure 2a). La profondeur des gravures ou tranchées dans le substrat 12 est dépendante de leur largeur selon le phénomène sensible d'ARDE ou de facteur d'aspect (figure 2b).

Le retrait de matière s'effectue de préférence selon une direction perpendiculaire à la surface 12. Ainsi, les largeurs des parois de séparation PS_X entre les sous-motifs (selon le vecteur $\vec{i}$), sont identiques ou similaires afin de faciliter leur retrait ultérieur.

Eventuellement, les parois peuvent avoir une inclinaison différente par rapport à la surface 12, mais avantageusement et de préférence elles sont parallèles ou sensiblement parallèles entre elles pour la raison précédente.

L'élimination ou bien le retrait des parois de séparation peut être fait par gravure isotrope, par voie humide chimique ou par voie sèche plasma, ou par oxydation et gravure sélective de l'oxyde formé, lorsque les gravures sont réalisées dans du silicium monocristallin ou bien polycristallin. Dans le cas

présent, les parois de séparation PS_{21-26} sont éliminées par gravure chimique.

L'élimination des parois de séparation, délimitant les sous-motifs 21 à 27, permet de révéler le motif complexe 20 souhaité (figure 2c). Le fond du motif est délimité par des marches M_{21} à M_{27}, dont la profondeur correspond aux largeurs l_{21-27} des gravures précédentes 21 à 27. Il est intéressant que ces parois aient une largeur minimum, la finesse du profil du motif en dépend.

Lorsque les parois sont éliminées par gravure isotrope, c'est-à-dire que la vitesse de gravure est identique dans toutes les directions, les fonds des sous-motifs sont également gravés. C'est pourquoi, les parois de séparation sont de préférence les plus fines possible afin de limiter ce phénomène et contrôler au mieux le profil du motif complexe souhaité. Autrement dit, la largeur des parois de séparation est choisie la plus étroite possible selon les caractéristiques anisotropiques de la gravure, pour pouvoir ensuite être retirées rapidement et ainsi limiter l'influence de cette étape de retrait sur le profil final du motif complexe. Selon un exemple, et en particulier dans le cas du silicium et d'une gravure ionique réactive profonde (DRIE), la largeur des parois de séparation peut être comprise entre 0,1 et 5µm ou entre 1 et 5µm, pour des gravures profondes de plusieurs centaines de microns.

Eventuellement, et en particulier dans le cas d'un substrat de silicium, une étape de lissage du fond du motif complexe peut être effectuée par

oxydation plus ou moins importante, et retrait par gravure sélective de cette couche d'oxyde.

L'invention permet ainsi la formation d'un motif complexe 20 dont le profil, dans un plan perpendiculaire à la première face 12, est maîtrisé.

Plusieurs variantes du procédé de réalisation précédent sont présentées ci-après.

Des groupes de sous-motifs adjacents 32, 34, 36, 38, comportant des gravures de même largeur et parallèles entre elles, sont agencés et/ou regroupés de manière à former le motif complexe souhaité (figures 3a et 3b).

Le retrait des parois de séparation entre les sous-motifs, permet de révéler des marches M_{32}, M_{34}, M_{36}, M_{38} de largeur et de profondeur différentes. Il est ainsi possible de former un motif complexe 30, de largeurs et de profondeurs souhaitées dans le substrat 10 (figures 4a et 4b). Autrement dit, la largeur du motif complexe 30 dépend du nombre de sous-motifs, sa profondeur est définie par la largeur desdits sous-motifs. En jouant sur ces deux paramètres, il est alors possible de former des motifs complexes dans un substrat du type usuellement employé dans le domaine de la microélectronique, sans que le motif complexe réalisé dépende de la structure du substrat, et notamment de la position d'une couche d'arrêt de gravure présente dans ledit substrat.

Par exemple, la largeur des sous-motifs peut croître entre les gravures périphériques et les gravures centrales (figures 5a et 5b). De cette façon, après retrait des parois de séparation, on peut former

un motif complexe 40 dont le profil est en forme de pointe dans un plan perpendiculaire à la face 12 du substrat 10 (figure 5c).

Pour former un motif complexe 50 tel que représenté en figure 6g, des ensembles de sous-motifs G1 à G4 peuvent par exemple être réalisés (figures 6a et 6b). Un ensemble de sous-motifs peut être composé par plusieurs gravures de forme circulaire, formant un cercle discontinue (figure 6a), ou bien les sous-motifs peuvent communiquer entre eux de sorte à former une gravure continue de forme circulaire (figure 6b). Autrement dit, les parois de séparation entre les gravures formant un ensemble de sous-motif de forme circulaire, peuvent être retirées pour obtenir une gravure continue de même forme. Dans les deux cas, les ensembles de sous-motifs G1 à G4 sont de préférence séparés par des parois de séparation de largeur constante.

Selon une alternative pour former un motif complexe 50, tel que représenté en figures 6g et 6h, plusieurs sous-motifs F1 à F5 au niveau de la première face (12) du substrat (10) peuvent former plusieurs cadres imbriqués (figure 6c). La largeur de ces cadres ou gravures, peut varier de façon différente selon deux axes orthogonaux (AA') et (BB'). Ainsi, le profil des gravures dans le substrat 10 n'est pas le même en fonction de ces deux axes (figures 6e et 6f). Après retrait des parois séparant les sous-motifs, on obtient le motif complexe 50 comportant un profil différent selon lesdits axes (figure 6g et 6h).

Le motif complexe précédent peut également être obtenu à partir de plusieurs sous-motifs de contour rectangulaire, reliés entre eux par leurs extrémités, de manière à former une gravure continue dont le contour est de forme hélicoïdale au niveau de la première face 12(figure 6d). Après retrait des parois séparant les gravures, on obtient le motif complexe 50 précédent (figures 6g et 6h).

Les exemples précédents ne sont pas limitatifs, par exemple, les sous-motifs réalisés au niveau d'une même face d'un substrat peuvent avoir des contours et/ou des agencements différents.

Les inventeurs ont su exploiter de façon surprenante un phénomène physique, le facteur d'aspect considéré jusqu'à présent comme un phénomène parasite, pour développer de nouveaux procédés de réalisation de motifs complexes, indépendamment de la structure du substrat.

Les nouveaux procédés ci-dessus permettent ainsi de s'affranchir des étapes délicates et compliquées de fabrication du substrat que l'on souhaite graver, en fonction du motif complexe que l'on souhaite former. En supprimant ces difficultés techniques, le procédé s'en trouve simplifié et donc plus rapide à exécuter.

Un des avantages de l'invention est sa mise en œuvre moins complexe que dans l'art antérieur, à partir des techniques de gravure actuellement utilisées dans le domaine de la microélectronique. En effet, le phénomène de facteur d'aspect se produit à l'échelle microscopique, l'invention est de ce fait plus

facilement et plus rapidement adaptable à l'essentiel des techniques de gravure employées dans ce domaine.

REVENDICATIONS

1. Procédé de gravure d'un motif complexe souhaité (20, 30, 40, 50), dans une première face (12) d'un substrat (10), comportant les étapes suivantes :

- gravure simultanée d'au moins un premier et deuxième sous-motifs à travers la première face (12) du substrat (10), les sous-motifs gravés étant séparés par au moins une paroi de séparation, la largeur du premier sous-motif étant plus importante que la largeur du second sous-motif au niveau de la première face (12), et la profondeur du premier sous-motif étant plus importante que la profondeur du second sous-motif selon une direction perpendiculaire à ladite première face (12),

- une étape de retrait ou d'élimination de ladite paroi de séparation, pour révéler le motif complexe souhaité (20, 30, 40, 50).

2. Procédé de gravure d'un motif complexe selon la revendication 1, au moins un premier et un second sous-motif étant gravés à travers un masque, dont les ouvertures correspondent aux dimensions d'un premier et d'un deuxième sous-motif réalisés dans la première face (12) du substrat (10).

3. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 2, la largeur des sous-motifs, au niveau de la première face (12) du substrat (10), étant comprise entre quelques nanomètres et plusieurs micromètres, de préférence entre 0.1µm et 500µm.

4. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 3, la profondeur des sous-motifs étant comprise entre quelques nanomètres et plusieurs micromètres, de préférence entre 0,1µm et 500µm.

5. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 4, plusieurs groupes de sous-motifs de formes différentes, peuvent être regroupés et/ou alternés et/ou combinés entre eux, d'une façon appropriée pour obtenir le motif complexe souhaité, et séparés par des parois de séparation avant l'étape de retrait, par exemple à partir d'un premier et second groupes de sous-motifs.

6. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 5, le contour des sous-motifs au niveau de la première face (12) étant de forme carrée et/ou rectangulaire et/ou circulaire et/ou ovoïde.

7. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 6 dans lequel, au moins un premier et un second sous-motif gravés communiquent entre eux, de façon à former au moins une gravure dont la profondeur, selon une direction perpendiculaire à la première face (12), varie.

8. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 7 dans lequel, au moins un premier et un second sous-motif gravés,

communiquent entre eux de manière à former une gravure continue, dont la largeur varie au niveau de la première face (12).

9. Procédé de gravure d'un motif complexe selon la revendication précédente, la gravure continue formant une spirale.

10. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 9, l'épaisseur des parois de séparation dans un plan parallèle ou sensiblement parallèle à la première face (12), étant comprise entre quelques nanomètres et quelques micromètres, de préférence entre 0,1 et 5µm.

11. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 10, l'épaisseur des parois de séparation dans un plan parallèle ou sensiblement parallèle à la première face (12), étant identique ou proche, afin de faciliter le retrait desdites parois.

12. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 11, la gravure des sous-motifs étant réalisée par gravure anisotrope.

13. Procédé de gravure d'un motif complexe selon la revendication 12, la gravure étant réalisée par voie humide et/ou sèche.

14. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 13, le retrait des parois de séparation étant réalisé par gravure isotrope.

15. Procédé de gravure d'un motif complexe selon l'une des revendications 1 à 14, le substrat étant mono ou multicouche, chaque couche étant réalisée à partir de l'un des matériaux suivants : silice ou/et silicium et/ou germanium.

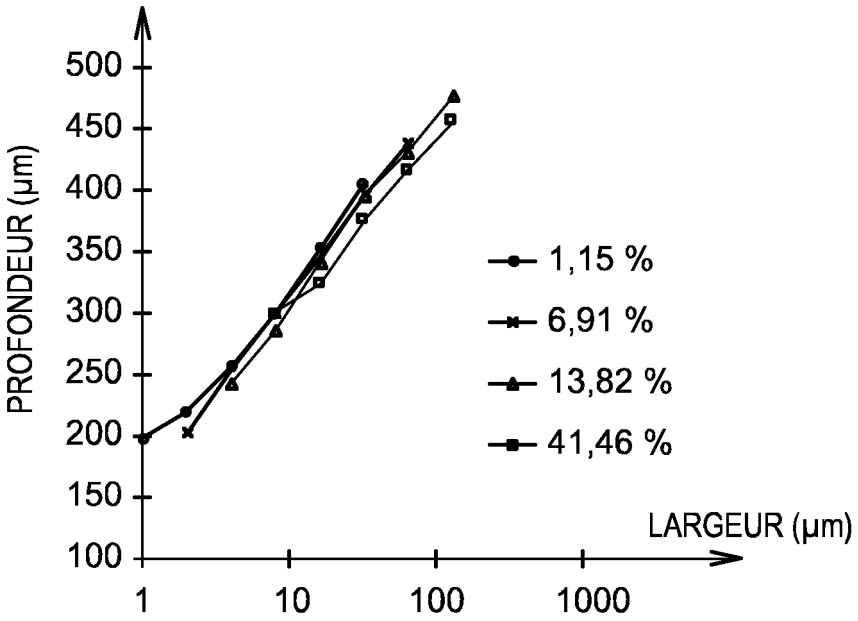

PROFONDEUR (µm)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
1
10
100
1000
LARGEUR (µm)
1,15 %
6,91 %
13,82 %
41,46 %

FIG. 1A

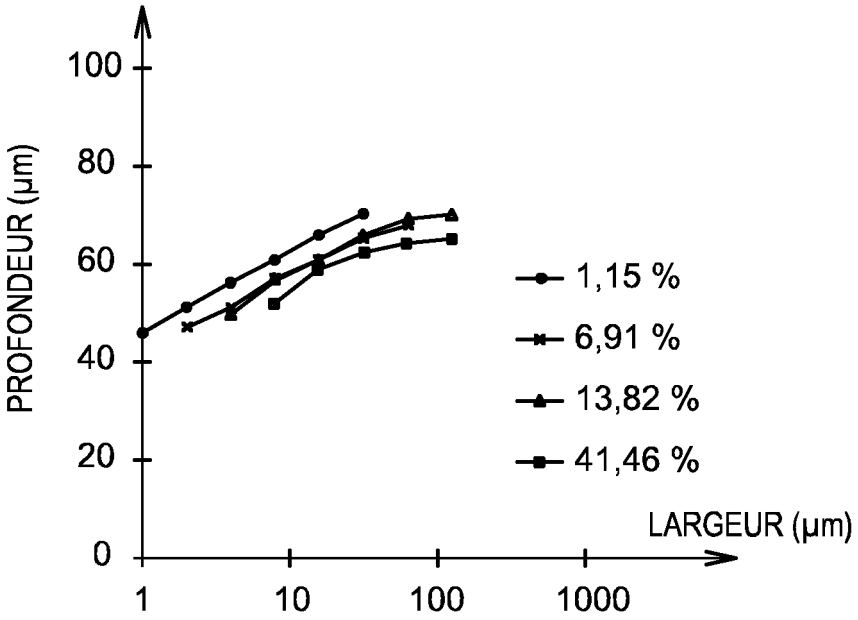

PROFONDEUR (µm)
100
80
60
40
20
0
1
10
100
1000
LARGEUR (µm)
1,15 %
6,91 %
13,82 %
41,46 %

FIG. 1B

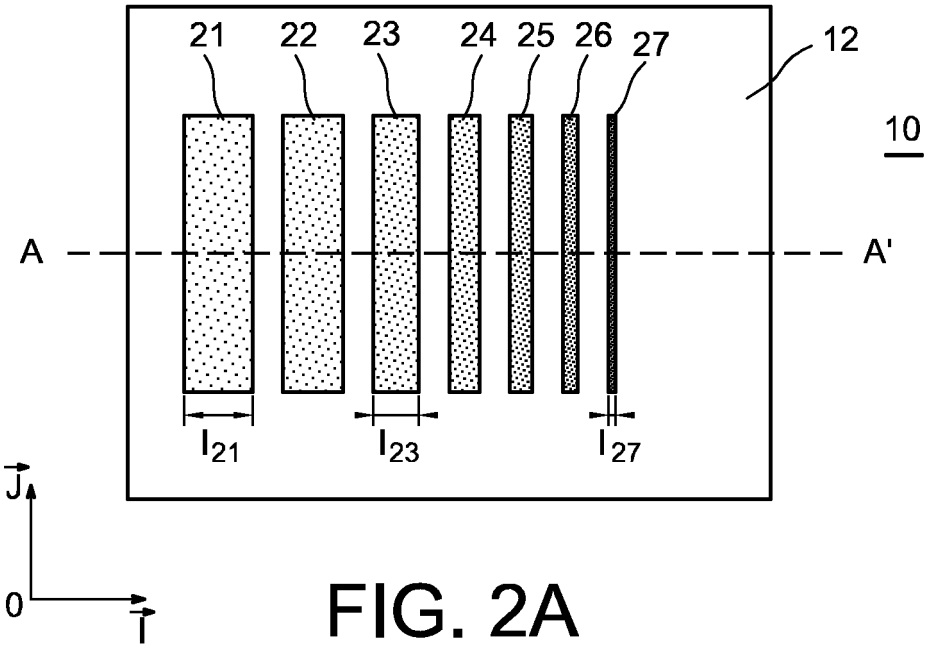

21
22
23
24
25
26
27
12
10
A
A'
l_{21}
l_{23}
l_{27}
$\vec{J}$
0
$\vec{I}$

FIG. 2A

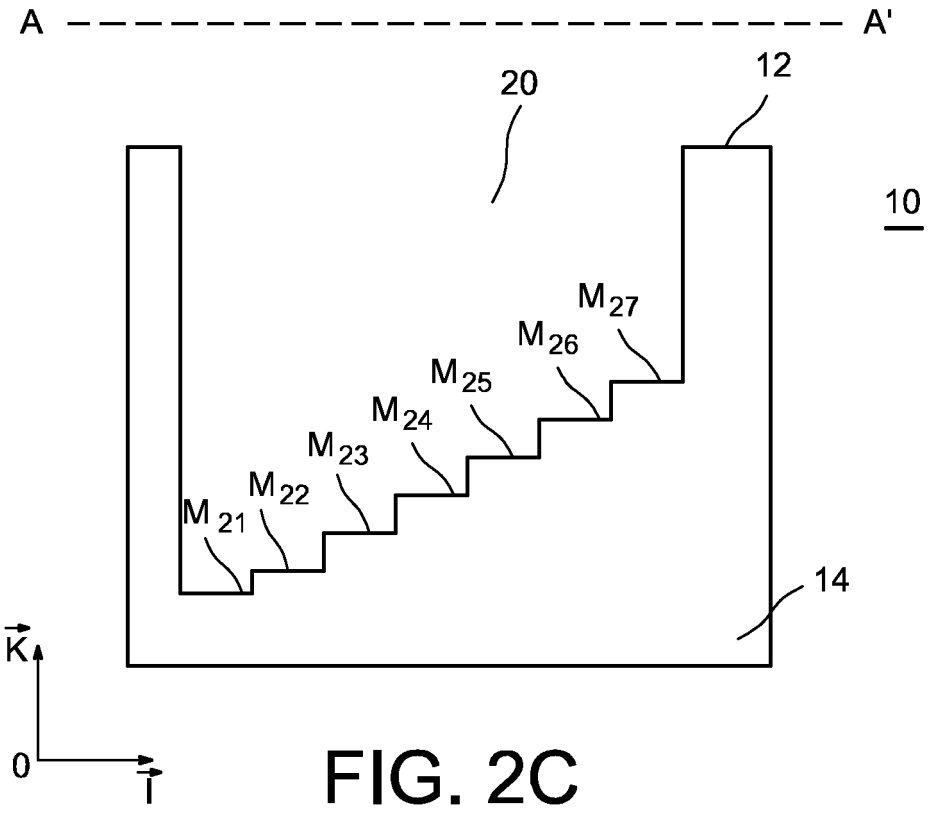

A
A'
20
12
10
M_{27}
M_{26}
M_{25}
M_{24}
M_{23}
M_{22}
M_{21}
14
$\vec{K}$
0
$\vec{I}$

FIG. 2C

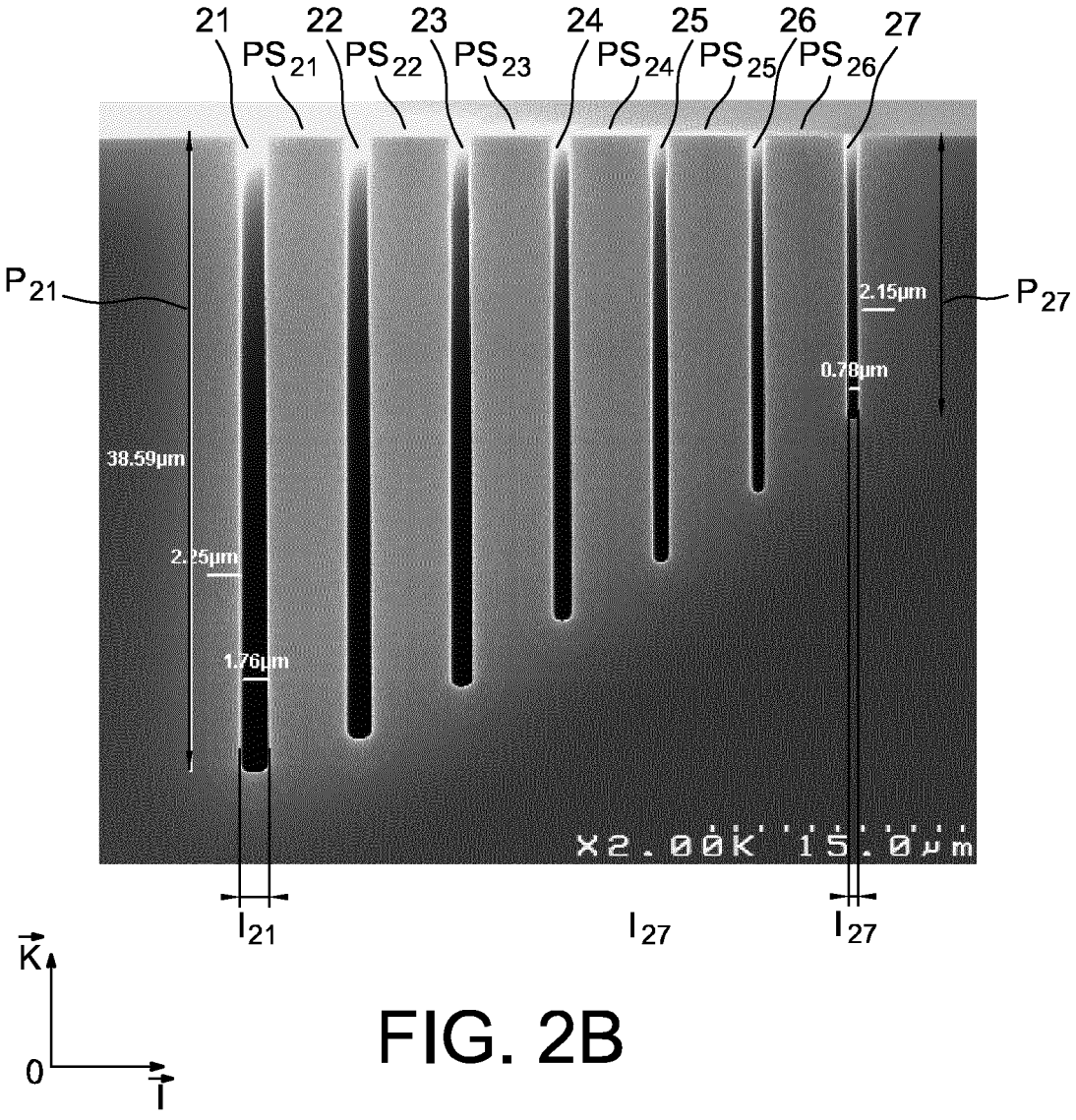

21
22
23
24
25
26
27
PS21
PS22
PS23
PS24
PS25
PS26
P21
P27
38.59µm
2.25µm
1.76µm
2.15µm
0.78µm
X2.00K 15.0µm
I21
I27
I27
K
0
I

FIG. 2B

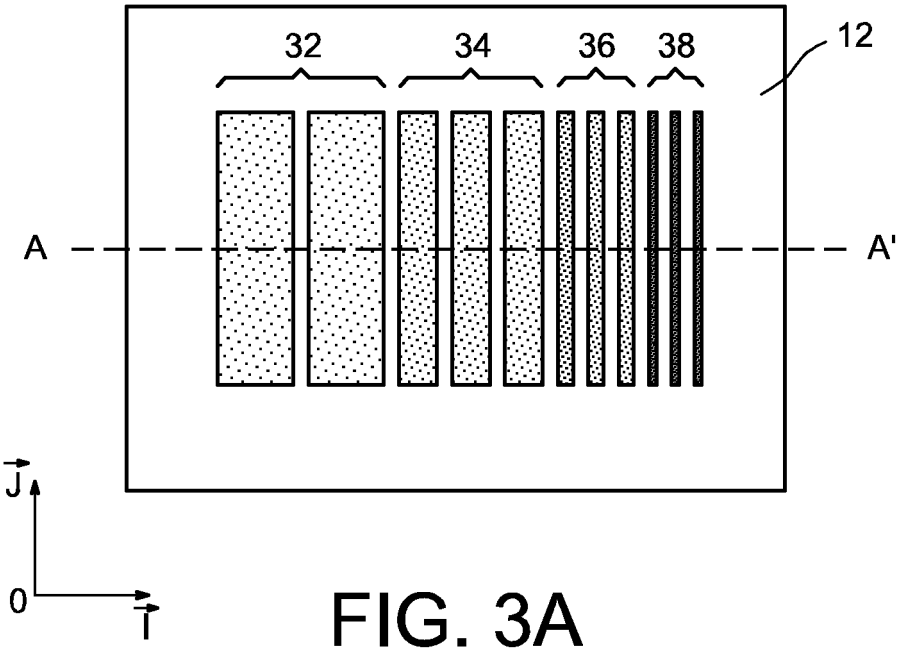


FIG. 3A

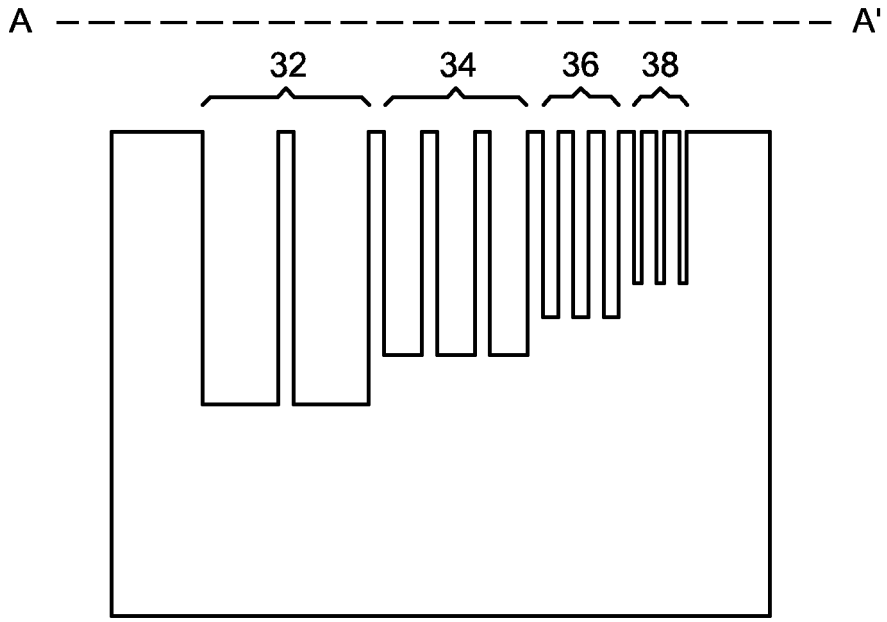


FIG. 3B

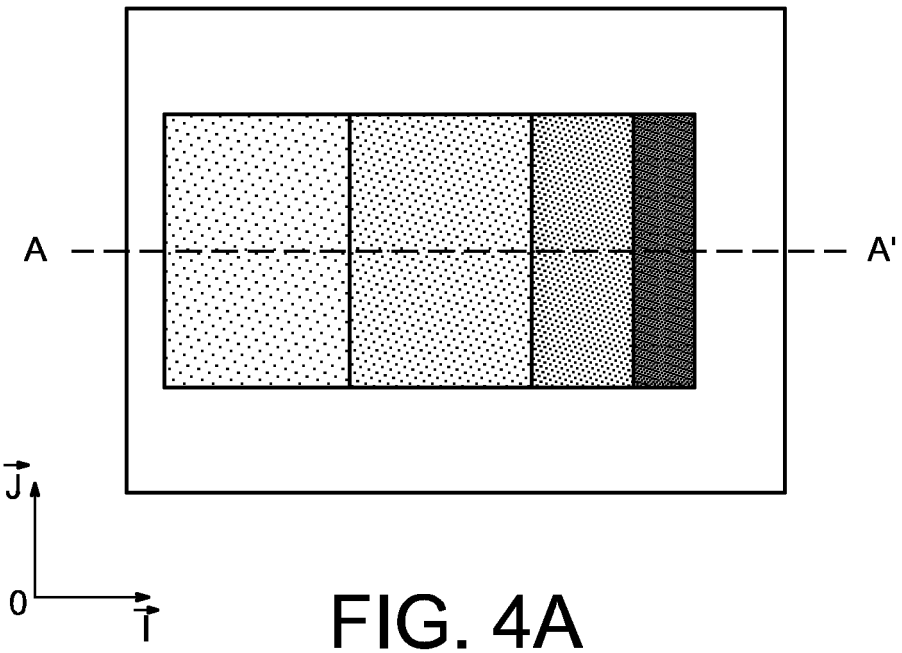


FIG. 4A

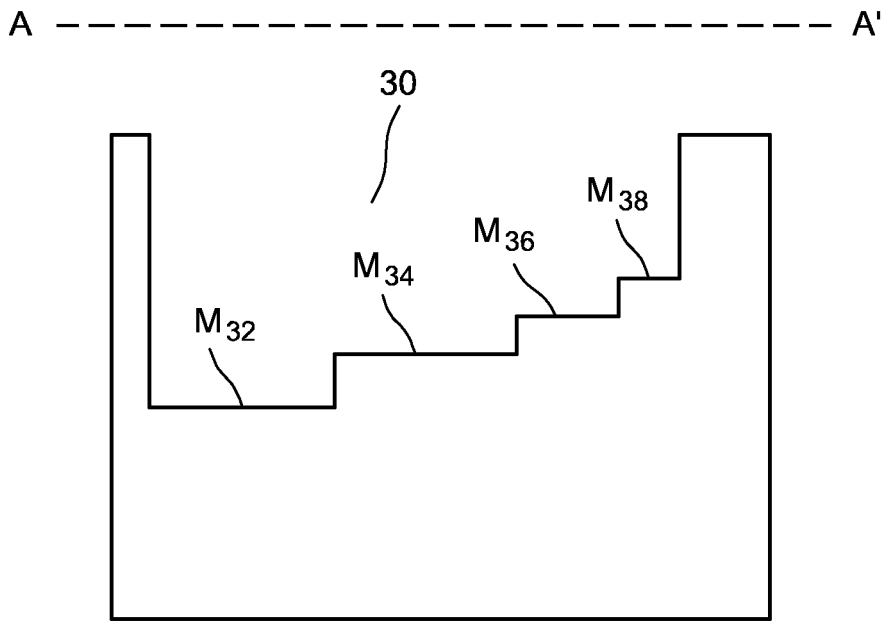


FIG. 4B

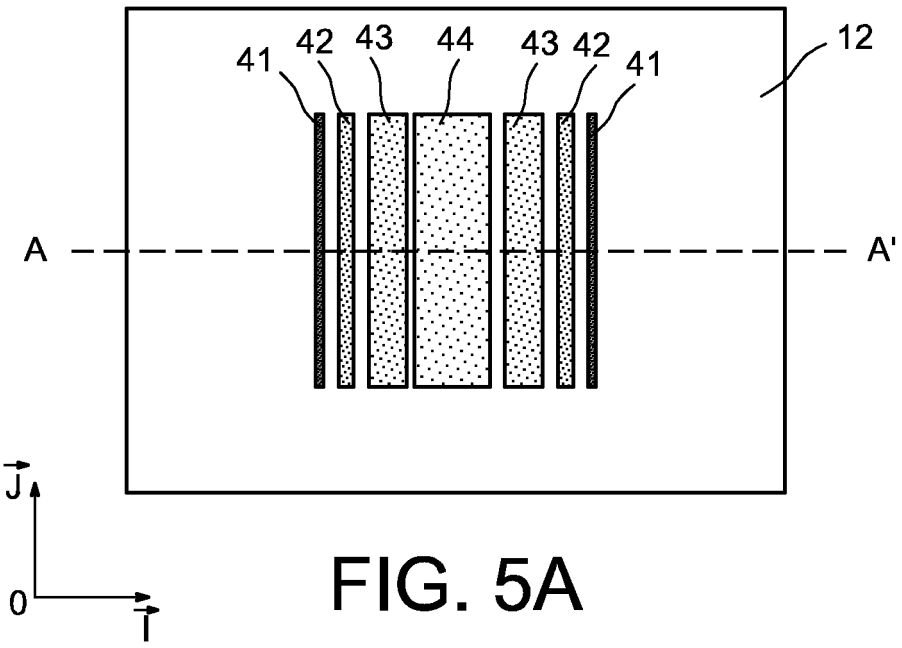


FIG. 5A

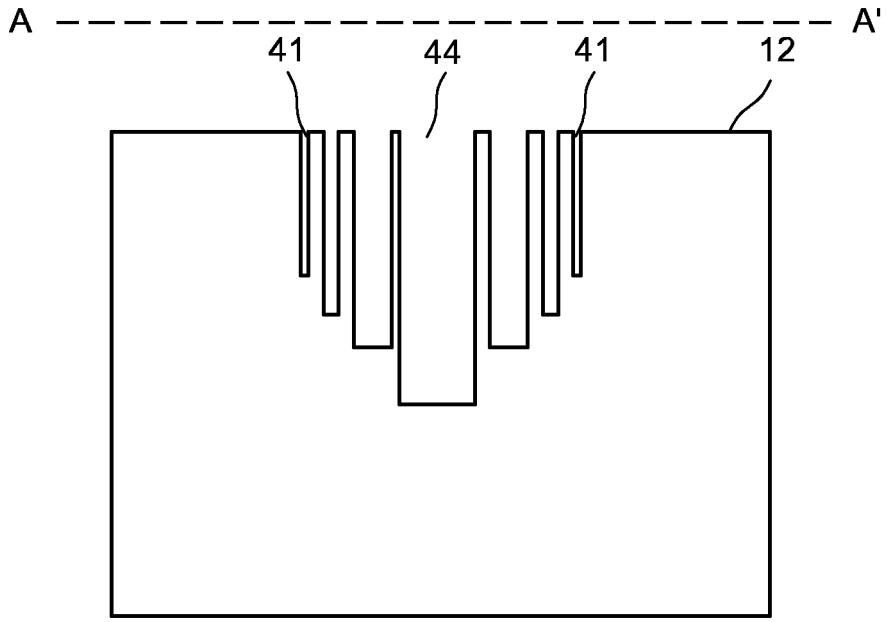


FIG. 5B

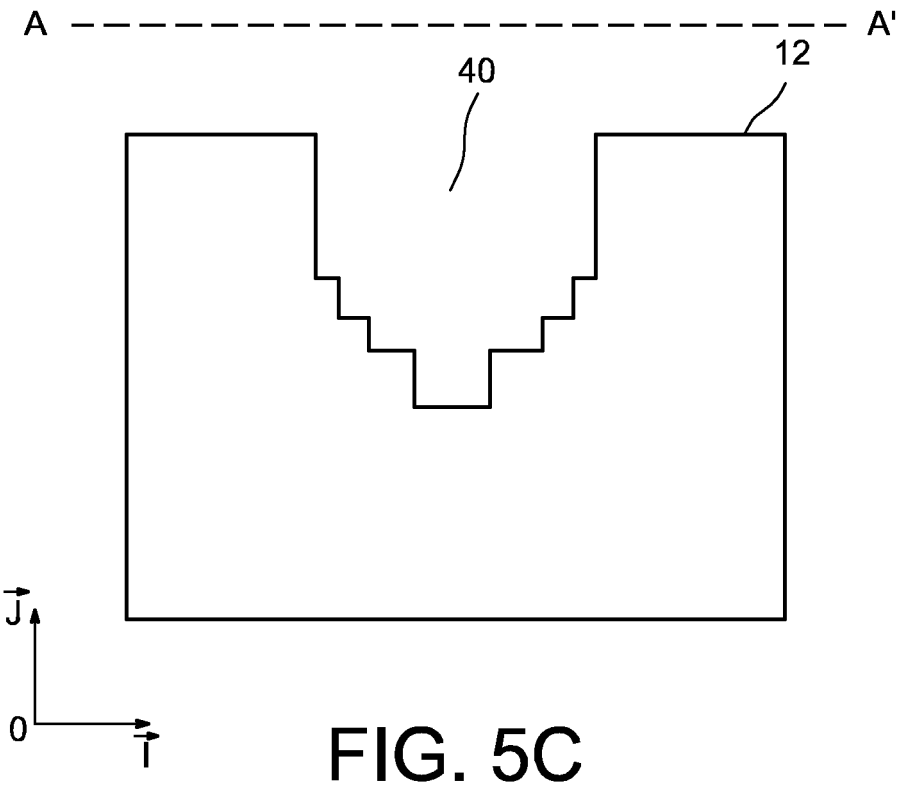


FIG. 5C

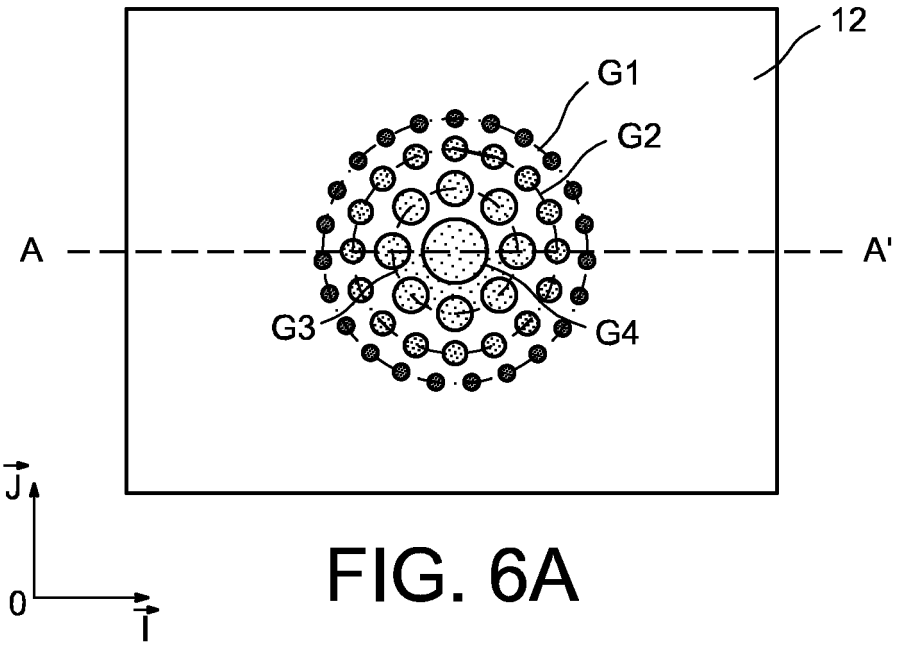


FIG. 6A

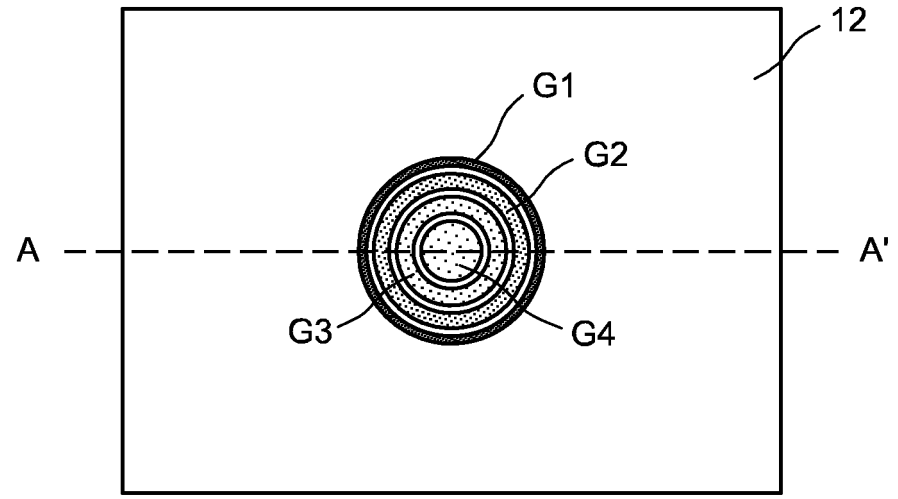


FIG. 6B

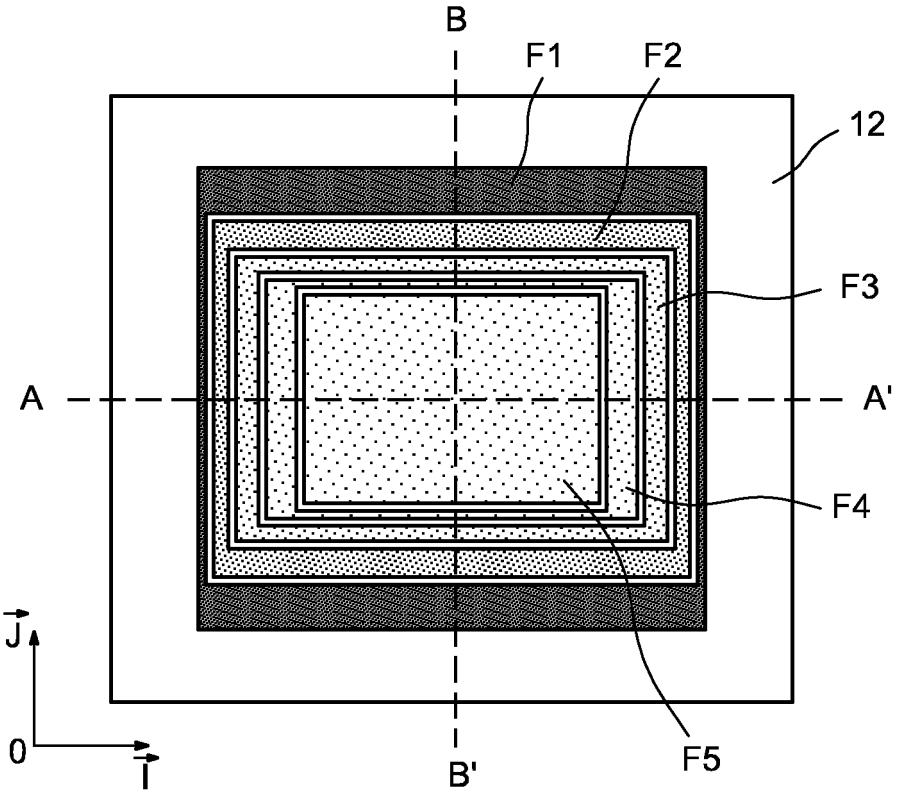


FIG. 6C

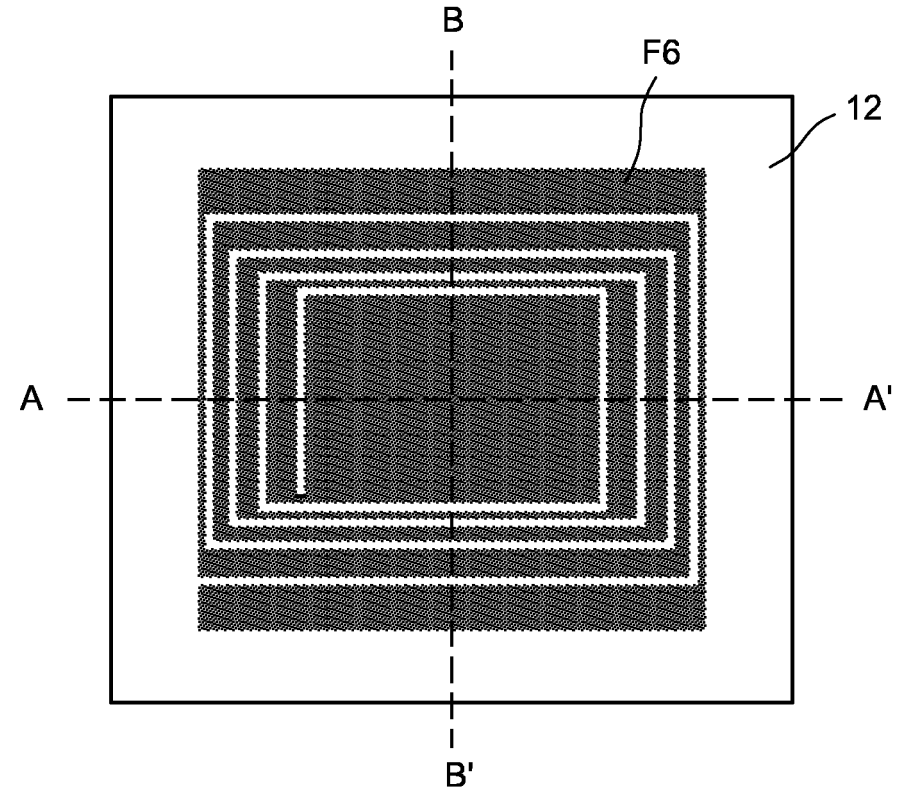


FIG. 6D

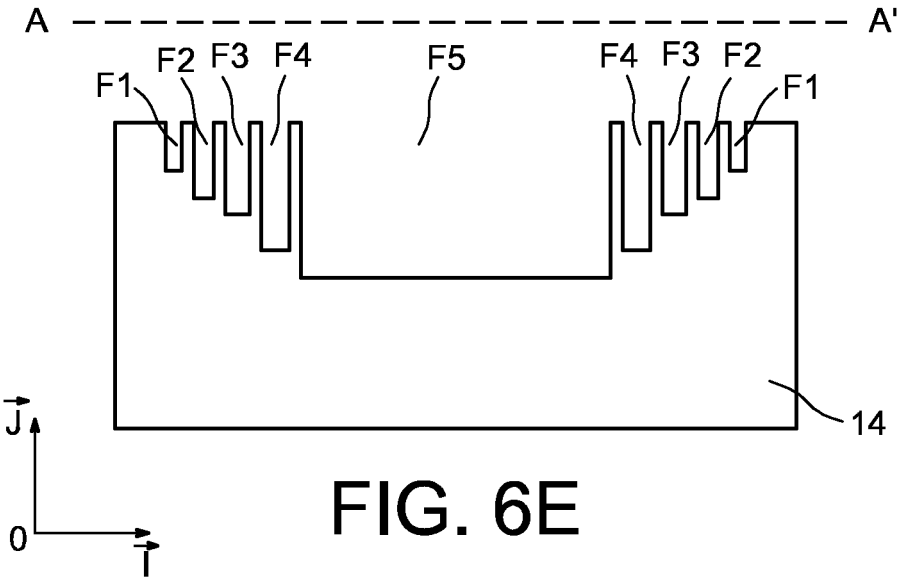


FIG. 6E

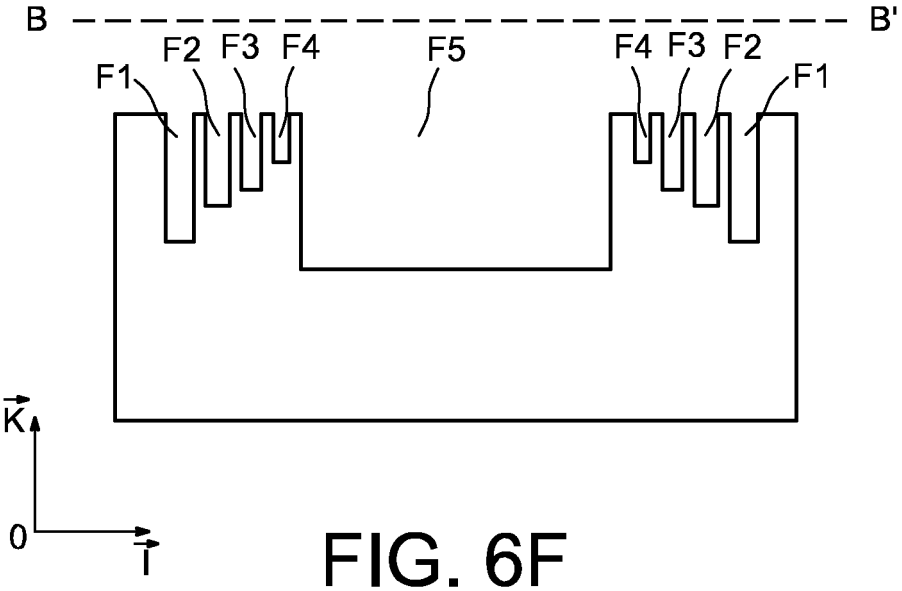


FIG. 6F

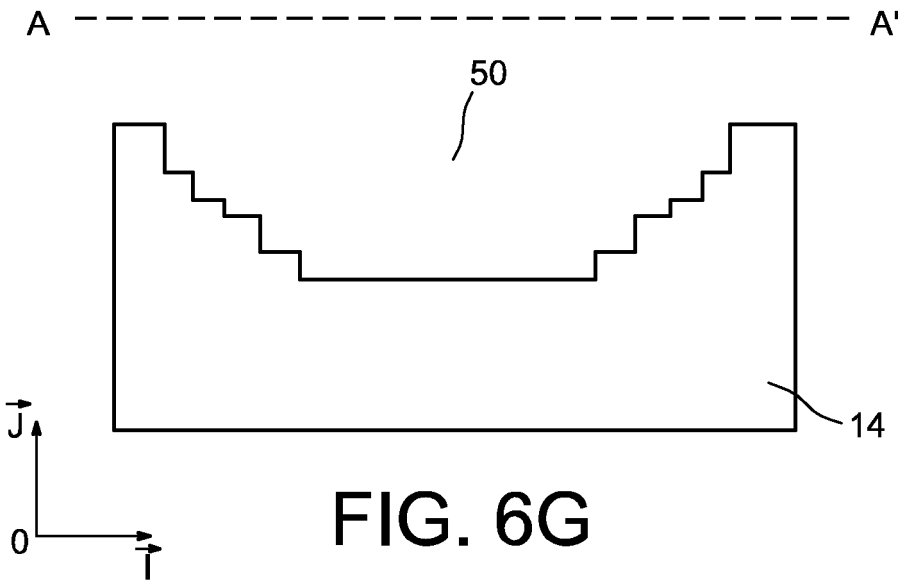


FIG. 6G

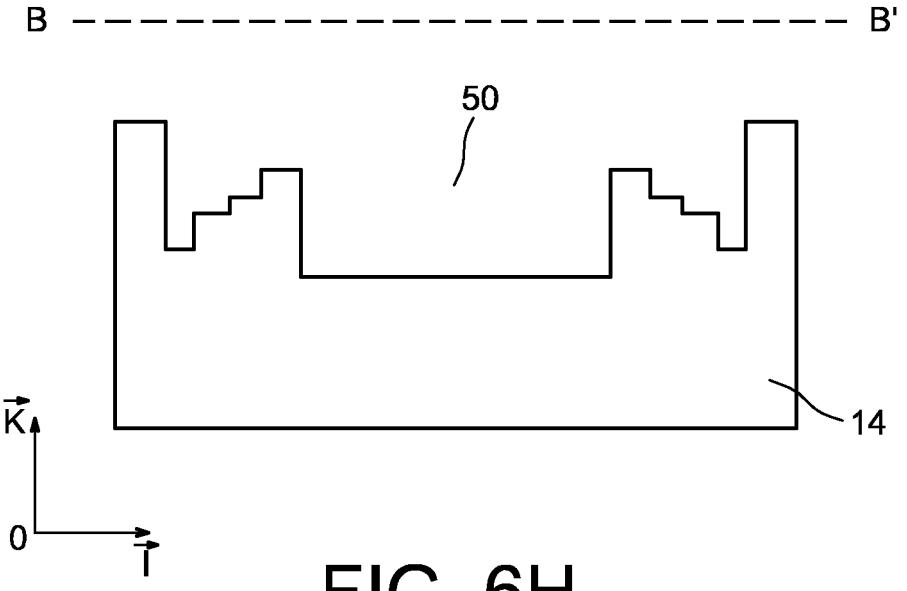


FIG. 6H

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 761655
FR 1250098

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	DE 199 26 769 A1 (MAX PLANCK GESELLSCHAFT [DE]) 14 décembre 2000 (2000-12-14) * revendications * -----	1-15	H01L21/64 H01L21/62 B81B7/02
A	US 2004/097001 A1 (HSIEH JERWEI [TW] ET AL) 20 mai 2004 (2004-05-20) * revendications; figure 5 * -----	1-15	
A	WU BANQIU ET AL: "High aspect ratio silicon etch: A review", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 108, no. 5, 9 septembre 2010 (2010-09-09), pages 51101-51101, XP012142732, ISSN: 0021-8979, DOI: 10.1063/1.3474652 * figure 13 * -----	1-15	
A	WO 91/14281 A1 (WESTONBRIDGE INT LTD [IE]; LINTEL HARALD T G VAN [NL]) 19 septembre 1991 (1991-09-19) * figures * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B81C H01L

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
3 décembre 2012	Gori, Patrice

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1250098 FA 761655

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 03-12-2012
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19926769 A1	14-12-2000	AUCUN	
US 2004097001 A1	20-05-2004	TW 521062 B	21-02-2003
		US 2004097001 A1	20-05-2004
		US 2005224449 A1	13-10-2005
WO 9114281 A1	19-09-1991	AT 130703 T	15-12-1995
		AU 7475491 A	10-10-1991
		CA 2053859 A1	17-09-1991
		CH 682528 A5	30-09-1993
		DE 69114786 D1	04-01-1996
		DE 69114786 T2	23-05-1996
		EP 0472702 A1	04-03-1992
		ES 2080304 T3	01-02-1996
		JP H04506727 A	19-11-1992
		US 5316618 A	31-05-1994
		WO 9114281 A1	19-09-1991

EPO FORM P0465