

(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
10 juin 2010 (10.06.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/063636 A1

(51) Classification internationale des brevets :
C30B 29/06 (2006.01) *C30B 29/08* (2006.01)
C30B 33/06 (2006.01) *H01L 21/762* (2006.01)
H01L 21/18 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2009/065905

(22) Date de dépôt international :
26 novembre 2009 (26.11.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
08 58159 1 décembre 2008 (01.12.2008) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
**S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR
TECHNOLOGIES** [FR/FR]; Parc Technologique des
Fontaines Chemin des Franques, F-38190 Bernin (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) :
GHYSELEN, Bruno [FR/FR]; 45 rue du Vercors,
F-38170 Seyssinet (FR).

(74) Mandataire : **BRANGER, Jean-Yves**; Cabinet
Regimbeau, Espace Performance, Bâtiment K, F-35769
Saint Gregoire Cedex (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, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

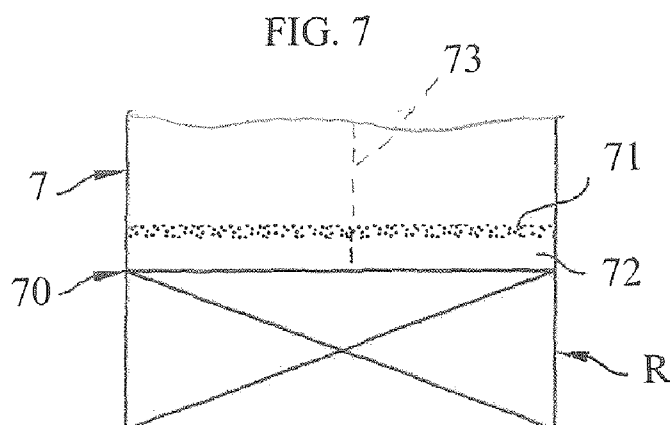
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, 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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : INGOT FORMED FROM BASIC INGOTS, WAFER MADE FROM SAID INGOT, AND ASSOCIATED METHOD

(54) Titre : LINGOT FORMÉ DE LINGOTS ÉLEMENTAIRES, PLAQUETTE ISSUE DE CE LINGOT ET PROCÉDÉ ASSOCIÉ



(57) Abstract : The invention relates to a method for manufacturing a heterostructure, particularly for use in the electronic, optical, or optoelectronic fields, said method including the following steps: implanting atomic species inside a first so-called "donor" substrate (7) so as to form an embrittlement area (71) therein; assembling a second so-called "recipient" substrate (R) on the donor substrate; detaching the rear portion of said donor substrate along the embrittlement area (71) so that a thin layer of interest is customized on the recipient substrate (R), characterized in that an ingot (7) or an ingot section formed from at least two basic ingots assembled together along two of the respective complementary longitudinal surfaces thereof is used as the donor substrate.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2010/063636 A1



-
- | | |
|---|--|
| — relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17.ii)) | Publiée : |
| — relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)) | — avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3)) |
| — relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) | — avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)) |

Procédé de fabrication d'une hétérostructure destinée notamment à des applications dans les domaines de l'électronique, de l'optique ou de l'optoélectronique, qui comprend les étapes suivantes : - implantation d'espèces atomiques à l'intérieur d'un premier substrat dit "donneur"(7), de façon à y former une zone de fragilisation (71), - assemblage d'un second substrat (R), dit "receveur", sur le substrat donneur, - détachement de la partie arrière dudit substrat donneur le long de la zone de fragilisation (71), de manière à individualiser, sur le substrat receveur, (R) une couche mince d'intérêt, caractérisé par le fait qu'on utilise, à titre de substrat donneur, un lingot (7) ou un tronçon de lingot constitué d'au moins deux lingots élémentaires assemblés l'un à l'autre le long de deux de leurs faces longitudinales respectives complémentaires.

**LINGOT FORME DE LINGOTS ELEMENTAIRES , PLAQUETTE ISSUE
DE CE LINGOT ET PROCEDE ASSOCIE**

La présente invention concerne un procédé de fabrication de d'une hétérostructure destinée notamment à des applications dans les domaines de l'électronique, l'optique, l'opto-électronique, ou du photovoltaïque.

5 D'une façon générale, les composants électroniques sont formés sur des plaquettes semi-conductrices généralement circulaires, d'environ 100 à 300 millimètres de diamètre. Chaque plaquette peut ainsi comprendre de nombreux composants. Historiquement, l'amélioration des performances et la réduction des coûts de fabrication des dispositifs électroniques ont été
10 obtenues principalement par une plus grande densité d'intégration des composants et par une augmentation de la taille des plaques qui les reçoivent.

La taille des lingots et des plaques qui en sont issues, est directement liée à la nature du matériau qui les compose. Ainsi par
15 exemple, les dernières générations de plaques en silicium monocristallin pour des applications en micro-électronique sont disponibles sous la forme de plaques circulaires présentant un diamètre de 300 mm. Les plaques en germanium sont quant à elles disponibles sous la forme de plaques circulaires présentant un diamètre de 200 mm. Similairement, les plaques
20 en SiC ou en GaN présentent un diamètre de 100 mm.

L'élaboration de lingots et de plaques présentant une taille et/ou une dimension et/ou une forme non conventionnelle, c'est-à-dire différente(s) de celle(s) couramment employée(s) représente un investissement important de développement.

25 On connaît des techniques de réalisation de substrats assemblant des couches les unes aux autres sur un support de plus grande dimension. Ainsi, le document US 2007/0026638 propose une technique de fabrication de substrats, obtenus par transfert d'un grand nombre de couches issus de substrats donneurs sur un tel support.

La technique exposée dans ce document requiert néanmoins le transfert de multiples couches, ce qui représente un grand nombre d'étapes et est donc peu économique, pour réaliser le substrat final de grande taille.

Aussi, ce document ne règle pas le problème de la fourniture du support qui présente une taille non conventionnelle, c'est-à-dire non habituelle par rapport au matériau et à l'application visées, au regard des pratiques actuelles.

Ce problème de fourniture de lingots et plaques de dimensions non conventionnelles est toutefois décrit et résolu notamment dans les documents JP-02-219606, EP-0 367 536, JP-2008-087980, EP-0 416 301 et DE-19 549 513.

Les plaques décrites de ces documents sont issues de lingots ou de tronçons de lingots assemblés les uns aux autres.

Cependant, les plaques ainsi obtenues demeurent fragiles au niveau de la liaison des sous-ensembles qui le constituent.

La présente invention vise à résoudre ce problème en proposant un procédé de fabrication d'un assemblage qui ne présente pas de caractère de fragilité.

Ainsi, la présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'une hétérostructure destinée notamment à des applications dans les domaines de l'électronique, de l'optique ou de l'optoélectronique, qui comprend les étapes suivantes :

- implantation d'espèces atomiques à l'intérieur d'un premier substrat dit "donneur", de façon à y former une zone de fragilisation,
 - assemblage d'un second substrat, dit "receveur", sur le substrat donneur,
 - détachement de la partie arrière dudit substrat donneur le long de la zone de fragilisation, de manière à individualiser, sur le substrat receveur, une couche mince d'intérêt,
- caractérisé par le fait qu'on utilise, à titre de substrat donneur, un lingot ou un tronçon de lingot constitué d'au moins deux lingots

élémentaires assemblés l'un à l'autre le long de deux de leurs faces longitudinales respectives complémentaires.

De cette manière, la couche mince d'intérêt est formée d'une "tranche" d'un lingot ou d'un tronçon de lingot constitué d'au moins deux
5 lingots élémentaires, qui est supportée par ledit second substrat.

Ce dernier a une fonction de substrat raidisseur, ce qui permet de résoudre le problème de fragilité de la "tranche".

Selon d'autres caractéristiques avantageuses :

- au moins un des lingots élémentaires est en matériau mono
10 cristallin ou poly cristallin ;

- au moins un des lingots élémentaires est un solide choisi parmi les cylindres, les prismes, les polyèdres tel qu'un parallélépipède, à section carrée, rectangulaire, triangulaire, pentagonale, hexagonale, heptagonale, octogonale, enneagonale, décagonale, ou à section en forme
15 de portion de cercle ;

- les matériaux des lingots élémentaires sont choisis parmi le silicium, le germanium, le carbure de silicium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium, le saphir, le verre, le quartz, l'AlN, l'InP, les matériaux ferroélectriques tels que du LiTaO_3 , LiNbO_3 ;

20 - on utilise, à titre de substrat receveur, un substrat en silicium.

Dans l'ensemble de la présente demande, on entendra par l'expression "lingot élémentaire", aussi bien un lingot brut qu'un lingot dont on aura rectifié la forme, notamment pour enlever sa gangue externe. Un tronçon d'un tel lingot est aussi inclus dans cette définition.

25 Par ailleurs, on définit par "faces longitudinales", les faces d'un lingot dont les arêtes les plus longues sont parallèles à l'axe longitudinal du lingot initial.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront de la description qui va maintenant en être faite, en référence aux dessins
30 annexés.

Sur ces dessins :

Les figures 1A à 1D sont des schémas représentant un premier type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention,

Les figures 2A à 2C sont des schémas représentant un deuxième type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention,

5 Les figures 3A à 3C sont des schémas représentant un troisième type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention,

Les figures 4A à 4D sont des schémas représentant un quatrième type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention,

10 Les figures 5A à 5E sont des schémas représentant un cinquième type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention.

Les figures 6 à 8 sont des schémas représentant les étapes essentielles du procédé selon l'invention.

15 D'une façon générale, la taille ou le diamètre de lingot dépend de la nature même du matériau constituant ledit lingot. Ainsi, dans le cas du silicium monocristallin, l'homme de l'art définit aujourd'hui un « grand diamètre » par un diamètre supérieur à 300 mm, plus particulièrement 450 mm qui est décrit comme étant la prochaine génération. Dans le cas de
20 lingots de germanium monocristallin, un « grand diamètre » est défini comme un diamètre supérieur à 150 mm, plus particulièrement supérieure à 200 mm. Pour des matériaux polycristallins, les dimensions qualifiées de « grand diamètre » peuvent différer du fait des différences de difficultés d'obtention des-dits lingots. Pour le silicium polycristallin, un « grand
25 diamètre » est un diamètre supérieur à 500 mm.

La forme des lingots finaux peut être quelconque. Il peut s'agit par exemple d'un polyèdre dont les arêtes les plus longues sont parallèles à l'axe longitudinal principal du lingot initial. Pour les applications photovoltaïques par exemple, des formes de plaques carrées sont
30 aujourd'hui préférées.

Dans le cas d'un polyèdre, la section dont il est fait référence tout au long de la présente description mais de façon non limitative, correspond

au polygone obtenu dans le plan perpendiculaire aux arêtes les plus longues, c'est-à-dire dans le plan orthogonal à l'axe longitudinal du lingot. Ainsi, les lingots finaux ou initiaux peuvent être choisis parmi des polyèdres à section polygonale, l'ordre du polygone étant compris entre 3 (on parle alors de section triangulaire) et l'infini, plus précisément entre 3 et 10 000 (on parle alors de section myriagonale). Par exemple, la section peut être également carrée, rectangulaire, pentagonale, hexagonale, heptagonale, octogonale, enneagonale, décagonale. Il faut toutefois noter que l'on aura tendance à choisir une section polygonale d'ordre important afin de limiter la perte dans la découpe du polyèdre, si celui-ci est obtenu à partir d'un lingot initial cylindrique.

De plus, la section des lingots, notamment des lingots à assembler, peut également avoir une forme en portion de cercle, comme par exemple en forme de 1/2 cercle, de 1/4 de cercle, de 1/X de cercle (X compris entre 1 et 100). Les polyèdres avec une section de 1/X de cercle sont choisis de telle sorte qu'ils aient un rayon de courbure adapté en fonction du diamètre du lingot final visé.

Le nombre de lingots à assembler va dépendre de la forme finale ciblée mais aussi de la forme initiale des lingots à assembler. Ainsi, le lingot final de grande taille sera issu de l'assemblage d'au moins deux lingots. Les lingots à assembler sont en matériaux cristallins ou non.

Un premier type de lingot utilisable dans le cadre du procédé conforme à l'invention, va maintenant être décrit brièvement.

Dans un premier temps et comme représenté sur la figure 1A, des lingots à assembler 2 sont découpés dans un lingot initial cylindrique 1. Dans cet exemple, les lingots à assembler 2 ont une section en forme de 1/4 de cercle comme cela est représenté dans la figure 1B. Chaque lingot est donc délimité par deux faces d'extrémité parallèles 3 et 4 à contour en forme de quart de cercle, deux grandes faces longitudinales perpendiculaires l'une à l'autre 5 et une face courbe (en arc de cercle) 6. Cependant, d'une façon plus générale, la face en forme d'arc de cercle peut avoir un rayon de courbure adapté en fonction du diamètre du lingot final

visé, mais aussi en fonction du nombre de lingots à assembler, qui vont être découpés.

La découpe du lingot initial 1 permet d'obtenir le lingot à assembler 2, et l'assemblage de quatre lingots à assembler 2 permet
5 d'obtenir un lingot final 7 de grande taille, c'est-à-dire de diamètre supérieur au diamètre du lingot initial 1 comme cela est représenté dans les figures 1C et 1D.

Les lingots initiaux 1 et donc les lingots finaux 7 sont dans des matériaux cristallins ou non. Ils sont choisis parmi les matériaux
10 semiconducteurs tels le silicium, le germanium, le carbure de silicium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium et plus généralement les semiconducteurs composés dont entre autres des matériaux des groupes III/V, des groupes II/VI, ou encore parmi le saphir, le quartz, les matériaux piézoélectriques, ferroélectriques, tels que du LiTaO_3 , LiNbO_3 .

15 L'assemblage des lingots à assembler 2 peut être réalisé selon différentes méthodes, par toutes les techniques de collage connues, par exemple via une couche de collage (résine, glue, polymère, ..), par collage moléculaire, collage anodique, ou encore collage par fusion de matériaux (soudures, brasures).

20 Dans ce cas, le lingot final 7 des figures 1C et 1D est obtenu suite à la fusion des interfaces entre chacun des lingots à assembler. Après préparation des faces 5 des lingots 2 à assembler, celles ci sont mises en contact puis l'ensemble est soumis à un recuit dont la température dépend du matériau considéré. Par fusion, il ne faut pas ici nécessairement
25 entendre passage à l'état liquide mais reconstruction par diffusion au travers des interfaces des espèces composant le matériau. Pour le silicium, des températures supérieures à 1200°C seront avantageusement utilisées. La préparation des faces 5 des lingots 2 à assembler consisteront avantageusement en des étapes de mise en forme telles que le fraisage, le
30 polissage, etc... pour rendre les-dites surfaces suffisamment planes pour pouvoir s'épouser. Cette préparation comportera avantageusement aussi des étapes de nettoyage (nettoyages chimiques, brossage, ..) visant entre

autres à éliminer tout débris ou particule trop encombrant pouvant pénaliser la mise en contact des surfaces à coller. Enfin, une mise sous presse sera avantageusement mise en œuvre lors du traitement thermique de fusion afin de faciliter la solidarisation et consolidation des interfaces d'assemblage. Toute technique connue de l'homme de l'art (dans le domaine des matériaux frittés par exemple) sera avantageusement mise en œuvre.

Un autre mode de réalisation d'un lingot va être maintenant décrit en faisant référence aux figures 2A à 2C. Les mêmes éléments portent les mêmes références numériques et ne seront pas décrits de nouveau.

Ici, les lingots à assembler 2 ont une forme de polyèdre à section carré comme cela est représenté dans la figure 2A, la longueur de l'arête du carré est choisie en fonction de la taille du lingot final 7 ciblé, les faces à assembler étant référencées 5.

Dans cette variante particulière, une couche de collage 8 est formée à la surface des faces 5 des lingots 2 à assembler. Il faut noter que la couche de collage doit être présente sur toutes les faces ou au moins une des faces des lingots à assembler 2 qui sont destinées à être mises en contact les unes avec les autres. Ainsi, il faudra adapter le nombre de couches de collages en fonction du nombre de faces de lingots à assembler 2 à coller les unes aux autres, mais aussi en fonction de l'interface de collage que l'on veut créer, celle-ci pouvant comporter une ou alors deux couches de collage superposées.

Dans le cas présent, la couche de collage 8 est une couche composée du même matériau mais dont les propriétés cristallines et/ou structurales avant collage sont modifiées par rapport au matériau à coller. Dans le cas présent de lingots en silicium monocristallin, la modification consiste à utiliser une couche de silicium amorphe, polycristalline ou poreuse, obtenue par toute technique connue de l'homme de l'art. Elle peut être obtenue par dépôt, par exemple par des techniques CVD, selon l'acronyme anglophone *Chemical Vapor Deposition*. Elle peut aussi résulter

d'une modification par endommagement des surfaces à coller. Une amorphisation suite à une implantation ionique sera à ce titre avantageuse. Les espèces implantées peuvent être soit identiques au matériau à assembler, ici du silicium, soit différer comme par exemple du Germanium.

- 5 Dans ce dernier cas, les interfaces de collage pourront alors présenter une composition déviant du matériau pur à assembler, ce qui est tolérable pour la plupart des applications. Un sablage est un autre exemple d'endommagement mécanique pour modifier la surface du silicium. La modification structurelle de la surface à coller peut encore résulter d'une
- 10 anodisation menant à une porosification surfacique. Un traitement plasma peut également être mis en œuvre dans le processus de modification des propriétés des faces à assembler, comme par exemple des traitements de plasma par immersion.

- Les épaisseurs typiques de modifications structurelles se situent
- 15 entre quelques nanomètres et quelques micromètres.

- Dans tous les cas, au moins une des deux faces de deux lingots à assembler 2 est soumise à la formation de cette couche de collage 8. On peut en effet envisager de coller une couche de collage 8 présente sur la face 5 d'un premier lingot à assembler 2, avec la face 5 d'un deuxième
- 20 lingot à assembler 2, qui, elle, n'est pas revêtue d'une couche de collage 8. On peut également envisager que la couche de collage 8 soit présente sur les deux faces à assembler.

La mise en contact des quatre lingots à assembler 2 est représentée sur les figures 2B et 2C.

- 25 Des traitements de préparation de surface de la couche de collage 8 peuvent être envisagés afin de faciliter un collage de bonne qualité. On peut ainsi soumettre les faces des lingots à assembler à des traitements de nettoyage, brossage, séchage, activation de surface, ainsi qu'à des opérations visant à améliorer la géométrie (planéité, rugosité...)
- 30 des surfaces à assembler, comme par exemple une étape de rodage ou de polissage.

Une fois la mise en contact effectuée, la structure obtenue est soumise à un traitement thermique permettant la reconstruction, et généralement la recristallisation de la couche de collage 8, en même temps que le collage des faces en contact les unes avec les autres afin d'obtenir le
5 lingot final 7. Ce traitement thermique consiste à appliquer une température suffisante dont la valeur dépend des matériaux à assembler et de la nature des couches de collage. Dans le cas de lingots de silicium et de couches de collage constituées de silicium amorphe, des températures supérieures à 500 °C, pendant une durée de 1 minute à 2 heures seront privilégiées.

10 Un troisième mode de réalisation représenté sur les figures 3A à 3C va être maintenant détaillé. Les mêmes éléments portent les mêmes références numériques et ne seront pas décrits de nouveau.

Tout comme le deuxième mode de réalisation, le matériau des lingots à assembler est préférentiellement du silicium, mais dans cet
15 exemple, les applications photovoltaïques sont particulièrement visées et les lingots initiaux de silicium sont monocristallins ou polycristallins. Tout comme le deuxième mode de réalisation, une couche de collage 8 est présente à la surface des faces à mettre en contact, mais des couches de nature différente que celle du matériau à assembler sont considérées. Ainsi,
20 l'on s'intéresse ici à des couches de collage obtenues par dépôt et ayant la faculté d'être un isolant électrique.

Ainsi, comme cela est représenté dans la figure 3A, le lingot à assembler 2 en forme de parallélépipède à section rectangulaire est utilisé comme lingot initial. Dans cet exemple, quatre lingots de ce type sont
25 assemblés mais le nombre de lingots à assembler n'est pas limité à ce chiffre. On peut envisager d'en assembler deux ou plus de quatre. Dans l'exemple présenté, les lingots à assembler 2 sont en silicium.

Une couche de collage 8 est alors formée sur les faces 5 du lingot à assembler 2 qui seront assemblées avec les faces 5 d'autres
30 lingots. La couche de collage 8 dans le cas présent correspond à une couche isolante, telle qu'une couche de d'oxyde de silicium (SiO_2) ou encore de nitrure de silicium (Si_3N_4), elle peut être également en oxynitrure

de silicium ($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$) ou tout autre matériau isolant selon la nature initiale du lingot traité. Dans une autre configuration où le lingot à assembler 2 est en germanium, on peut par exemple envisager la formation d'une couche de collage 8 en GeO_xN_y .

5 La couche de collage 6 peut être formée par l'une des différentes techniques habituelles de dépôts telles que par CVD (Chemical Vapor Deposition), PECVD (Plasma Enhanced Chemical vapor Deposition), LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition).

Alternativement ou en complément aux techniques de dépôts, la
10 couche de collage peut en partie être formée grâce une oxydation thermique aboutissant dans le cas de lingots de silicium à une couche superficielle de SiO_2 au niveau des faces 5 des lingots à assembler 2.

De façon optionnelle, le deuxième lingot à assembler avec le premier lingot, peut également ou non être doté des mêmes couches de
15 collage pour aboutir à un système de collage respectivement symétrique ou non.

Lors de cette étape de formation de couche de collage 8, des marques de repérage peuvent être également intégrées au sein même de la couche. On peut en effet envisager de former par exemple des repères qui
20 permettront une fois les lingots tranchés en plaquettes, de positionner correctement plusieurs plaquettes les unes sur les autres par rapport aux joints existants.

Le lingot final 7 de la figure 3C est obtenu par collage moléculaire. Le collage par adhésion moléculaire (« *direct wafer bonding* »
25 ou « *fusion bonding* » selon la terminologie anglo-saxonne) est une technique permettant de faire adhérer l'un à l'autre deux substrats présentant des surfaces parfaitement planes (« poli-miroir »), et cela sans application d'adhésif supplémentaire telle qu'une colle.

Le collage est typiquement initié par application locale d'une
30 pression sur les deux substrats mis en contact. Une onde de collage se propage ensuite sur toute l'étendue des substrats.

Pour réaliser ce type de collage moléculaire, les lingots à assembler 2 sont soumis au niveau de leurs faces 5 à une préparation de surface avant collage qui consiste tout d'abord en une finition mécanique de précision (polissage, rodage) et un traitement de nettoyage, brossage, 5 séchage.

Le nettoyage peut par exemple être un nettoyage de type "RCA", pour éliminer les particules contaminantes.

Pour mémoire, le traitement à l'aide d'un bain chimique dénommé "RCA" consiste à traiter lesdites faces, successivement avec une 10 première solution comprenant un mélange d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH), de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et d'eau déionisée, puis d'une seconde solution comprenant un mélange d'acide chlorhydrique (HCl), de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et d'eau déionisée; l'application des différentes solutions pouvant être couplée ou non à un brossage.

15 Les lingots sont ensuite brossés et/ou rincés (avec de l'eau déionisée par exemple), voire séchés.

De façon optionnelle, l'une ou l'autre ou les deux faces 5 à assembler peuvent être soumises à un traitement d'activation plasma, sous une atmosphère inerte, par exemple contenant de l'argon ou de l'azote, ou 20 sous une atmosphère contenant de l'oxygène. Cette activation, si elle a lieu est effectuée de préférence après un nettoyage.

Enfin, les quatre lingots à assembler sont mis en contact l'un avec l'autre, les uns après les autres ou simultanément, de façon à réaliser un collage par adhésion moléculaire formant ainsi le lingot final 7 de grande 25 taille tel que représenté sur la figure 3C.

Une fois l'assemblage effectué, le lingot final 7 est soumis à un traitement final, comme par exemple un traitement thermique de renforcement des interfaces de collage entre les différentes faces 5 des lingots 2 assemblés. Le traitement thermique est appliqué dans une gamme 30 de température comprise entre 200 °C et 1350 °C, dans le cas de lingots en silicium pendant une durée de 1 minute à 2 heures, ou alors à un température supérieure à 1500 °C dans le cas du carbure de silicium pour la

même gamme de durée d'application. En effet, ce traitement thermique final sera adapté selon la nature des matériaux présents, en visant des températures maximales correspondant à la température de fusion des matériaux considérés.

- 5 Une quatrième variante va être maintenant présentée en faisant référence aux figures 4A à 4C.

Ce mode de réalisation consiste à assembler des lingots en forme de polyèdres de section triangulaire 2, afin de former un lingot final 7 dont la section est hexagonale.

- 10 La figure 4A décrit par exemple un premier lingot à assembler 2 en silicium.

Dans ce mode de mise en œuvre, les lingots à assembler sont collés les uns aux autres par l'intermédiaire de couches de siliciure. Avant assemblage, l'une au moins des faces à assembler est recouverte
15 directement par une couche de siliciure ou par une couche métallique dont la réaction en température avec le silicium formera ledit siliciure recherché. Un traitement thermique permet finalement le scellement définitif des lingots à assembler, à une température qui dépend du choix du siliciure mais généralement supérieure à 350°C. La mise sous presse de l'ensemble
20 pendant l'opération de scellement est avantageusement utilisée.

On aboutit ainsi à la structure finale 3 telle que décrite à la figure 4C.

Une cinquième variante va maintenant être décrite en faisant référence aux figures 5A à 5F.

- 25 Selon cette variante et comme représenté sur les figures 5A et 5B, des lingots à assembler 2 de section en forme de quart de cercle sont taillés dans des lingots initiaux 1 de silicium. La taille du lingot à assembler peut se faire selon différentes manières. Ainsi par exemple selon les figures 5A et 5B, seules les deux faces à assembler 5 sont découpées dans le
30 lingot initial 1, le reste 9 étant éliminé après assemblage. Une autre manière consiste à découper en une seule étape le lingot à assembler 2 dans le

lingot initial 1 afin d'obtenir le lingot en quart de cylindre dès la première étape.

Une fois les deux faces 5 du lingot découpées, quatre lingots à assembler 2 sont mis en contact les uns avec les autres afin d'être collés.

- 5 Les étapes de préparation habituelles peuvent être appliquées sur les surfaces des faces 5 de chaque lingot avant collage.

L'assemblage des différents lingots à assembler est obtenu par fusion des faces complémentaires en vis à vis, comme pour le premier mode de mise en œuvre de l'invention décrit ci-avant.

- 10 Une fois les lingots 2 assemblés, il est alors possible d'éliminer les restes 9 de chaque lingot initial par différentes techniques comme par exemple par des opérations mécaniques (tournage, fraisage...) permettant d'obtenir le lingot final 7 de grande taille tel que représenté sur les figures 5E et 5F.

- 15 Les modes de mise en œuvre décrits auparavant se sont concentrés sur le silicium, mais ils s'appliquent, moyennant quelques adaptations à la portée de l'homme du métier, aux autres matériaux dont les plaques sont réalisées à partir de la découpe de lingots (matériaux cristallins ou non, matériaux semiconducteurs tels le silicium, le germanium, 20 le carbure de silicium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium et plus généralement les semiconducteurs composés dont entre autres des matériaux des groupes III/V, des groupes II/VI, ou encore le saphir, le quartz, l'AlN, l'InP, les matériaux piézoélectriques, ferroélectriques, tels que du LiTaO₃, LiNbO₃).

- 25 Enfin et cela quelque soit le mode de fabrication des lingots finaux de grande taille, les-dits lingots peuvent être découpés en plaquettes ou en tronçons (c'est à dire en lingots de dimensions plus réduites que le lingot final). On obtient ainsi par exemple des plaquettes de grande taille, leur surface correspondant à la section du lingot final.

- 30 Mais dans un tel cas et comme déjà expliqué plus haut, les plaquettes peuvent présenter une certaine fragilité mécanique au niveau des zones d'assemblage.

Le procédé selon l'invention permet de résoudre ce problème de fragilité. On se reportera aux figures 6 à 8 pour décrire un exemple de réalisation de ce procédé.

On utilise un substrat donneur 7 (voir figure 6, partie de gauche)
5 en silicium qui est constitué d'un lingot ou d'un tronçon de lingot tel que décrit plus haut.

On a référencé 73 une interface d'assemblage de lingots élémentaires.

On fait également usage d'un substrat receveur R.

10 Le substrat 7 subit alors une co-implantation d'ions d'hydrogène et hélium (flèches I de la figure 1). Celle-ci est réalisée en faisant usage des doses suivantes : H^2 : entre 3 et $6 \cdot 10^{16}$ at/cm² et He^+ : de l'ordre de $2 \cdot 10^{16}$ at/cm². Préférentiellement, l'hélium est implanté en premier.

Les énergies d'implantation sont choisies entre quelques kev et
15 200 kev.

Cela conduit à la présence d'une zone de fragilisation 71 qui délimite une couche mince 72 présentant une face supérieure libre 70. Dans d'autres modes de réalisation, la zone de fragilisation peut être formée par une simple implantation d'ions, comme par exemple des ions
20 d'hydrogène.

On reporte alors le substrat donneur 7 sur le substrat receveur, comme montré à la figure 7.

Une fois collé, par exemple par collage moléculaire, l'assemblage ainsi réalisé, tel qu'il apparaît à la figure 7, subit une étape de détachement
25 (recuit, apport d'énergie mécanique, ...) de la couche mince 72, afin d'obtenir la structure telle qu'illustré à la figure 8.

Ainsi, conformément à ce procédé, on peut envisager de reporter un "film" de GaN issu d'une plaquette, d'un lingot ou d'un tronçon de lingot, de substrat de GaN obtenu par assemblage de lingots élémentaires de
30 GaN, le substrat ayant un contour circulaire et pouvant présenter un diamètre de 200mm, sur une plaque de silicium massive, connue de l'état

de l'art (et de taille « conventionnelle »), elle même ayant un contour circulaire et présentant un diamètre de 200mm.

Ainsi, il est possible de renforcer la tenue mécanique du "film" issu d'un tel substrat donneur fragile, en reportant ce film sur un substrat
5 mécaniquement plus solide.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une hétérostructure destinée notamment à des applications dans les domaines de l'électronique, de l'optique ou de l'optoélectronique, qui comprend les étapes suivantes :

- implantation d'espèces atomiques à l'intérieur d'un premier
5 substrat (7) dit "donneur", de façon à y former une zone de fragilisation (71),
- assemblage d'un second substrat (R), dit "receveur", sur le substrat donneur,
- détachement de la partie arrière dudit substrat donneur (7) le
10 long de la zone de fragilisation (71), de manière à individualiser, sur le substrat receveur, une couche mince d'intérêt (72),
caractérisé par le fait qu'on utilise, à titre de substrat donneur, un lingot (7) ou un tronçon de lingot constitué d'au moins deux lingots élémentaires (2) assemblés l'un à l'autre le long de deux de leurs faces
15 longitudinales respectives complémentaires (5).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins un des lingots élémentaires (2) est en matériau mono cristallin ou poly cristallin.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé
20 en ce qu'au moins un des lingots élémentaires (2) est un solide choisi parmi les cylindres, les prismes, les polyèdres tel qu'un parallélépipède, à section carrée, rectangulaire, triangulaire, pentagonale, hexagonale, heptagonale, octogonale, enneagonale, décagonale, ou à section en forme de portion de cercle.

25 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que les matériaux des lingots élémentaires (2) sont choisis parmi le silicium, le germanium, le carbure de silicium, le nitrure de gallium, l'arséniure de gallium, le saphir, le verre, le quartz, l'AlN, l'InP, les matériaux ferroélectriques tels que du LiTaO₃, LiNbO₃.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'on utilise, à titre de substrat receveur, un substrat en silicium.

1/6

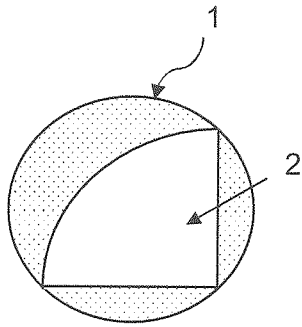


FIG. 1A

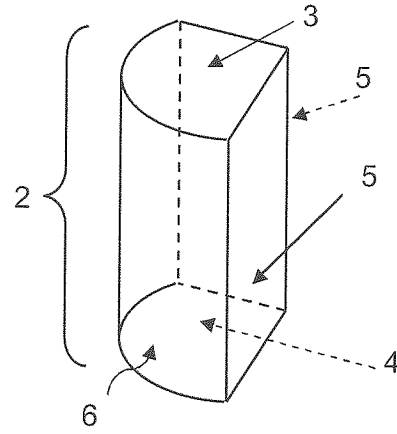


FIG. 1B

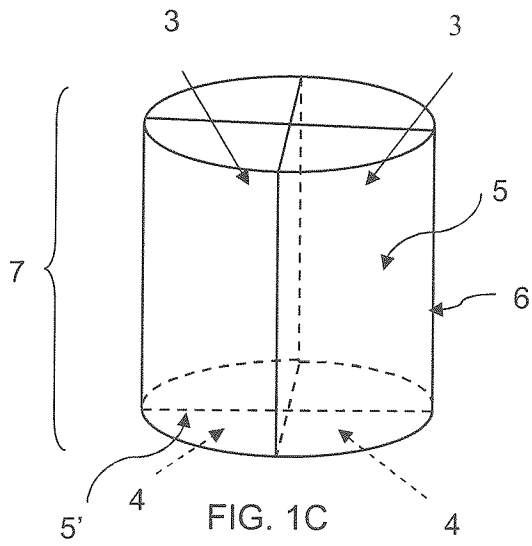


FIG. 1C

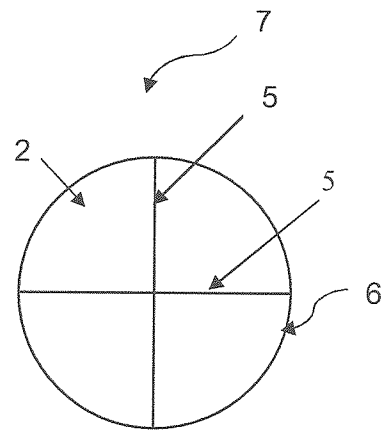


FIG. 1D

2/6

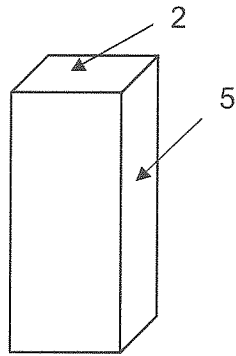


FIG. 2A

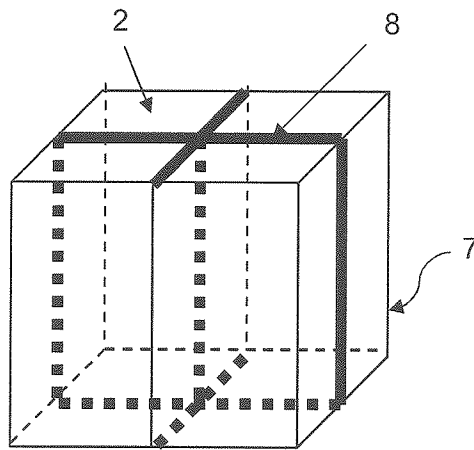


FIG. 2B

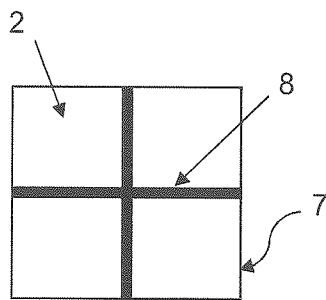


FIG. 2C

3/6

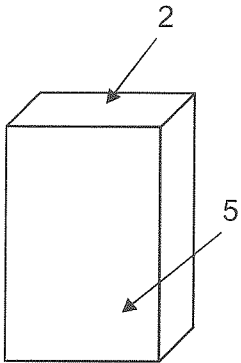


FIG. 3A

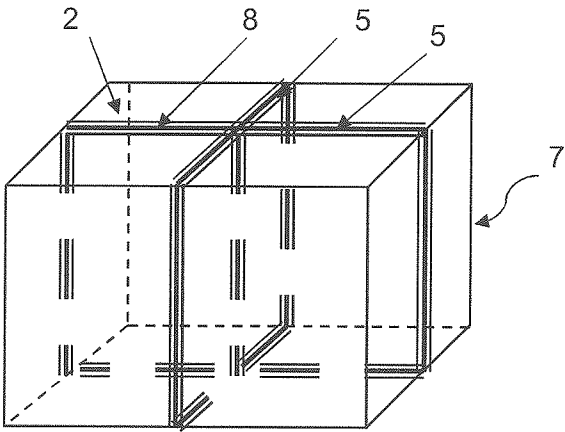


FIG. 3B

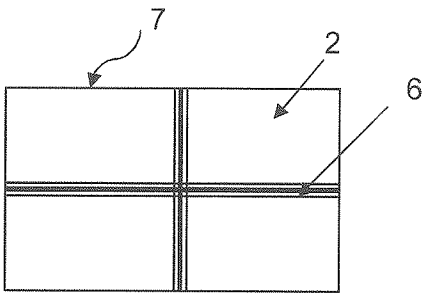


FIG. 3C

4/6

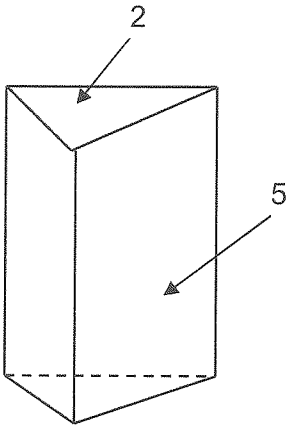


FIG. 4A

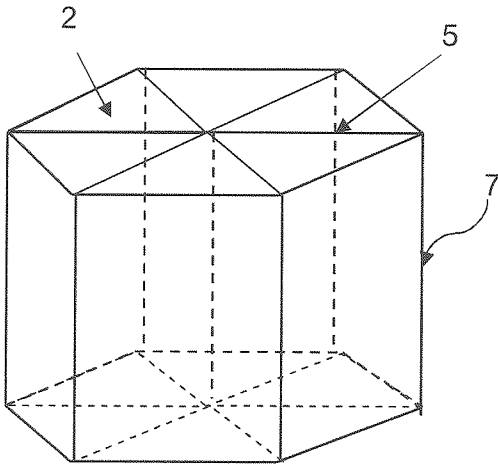


FIG. 4B

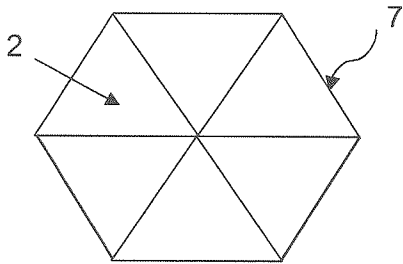


FIG. 4C

5/6

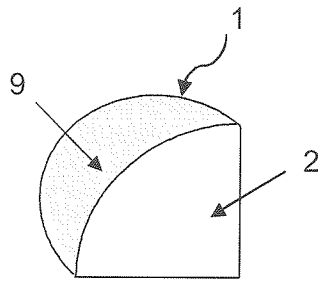


FIG. 5A

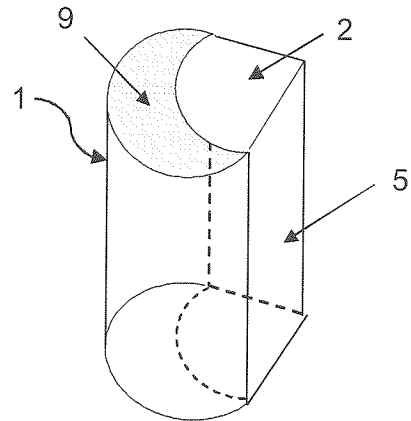


FIG. 5B

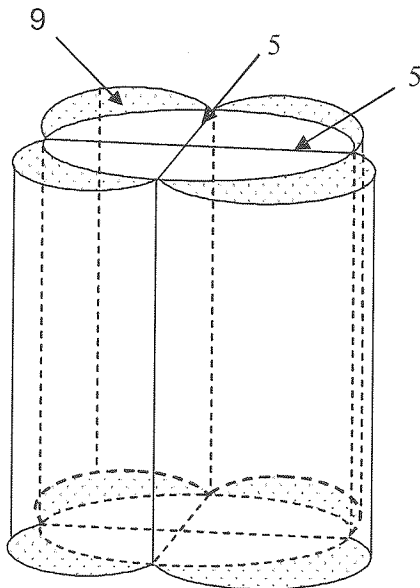


FIG. 5C

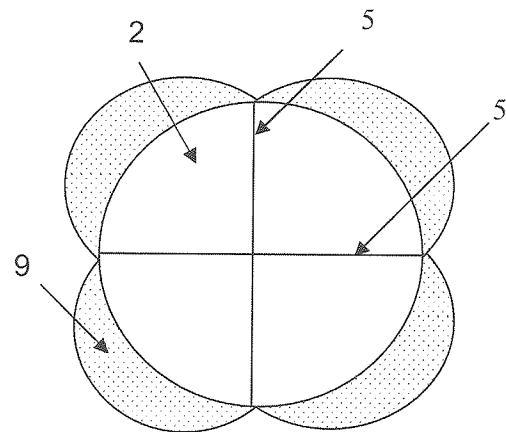


FIG. 5D

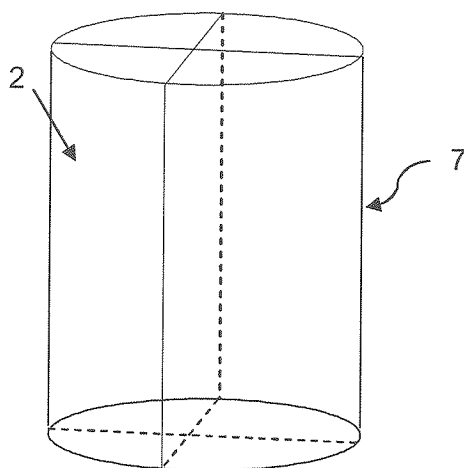


FIG. 5E

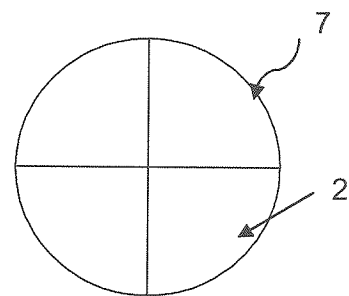


FIG. 5F

FIG. 6

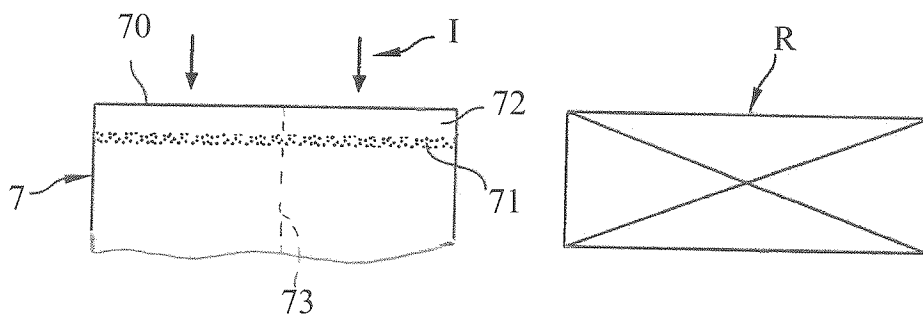


FIG. 7

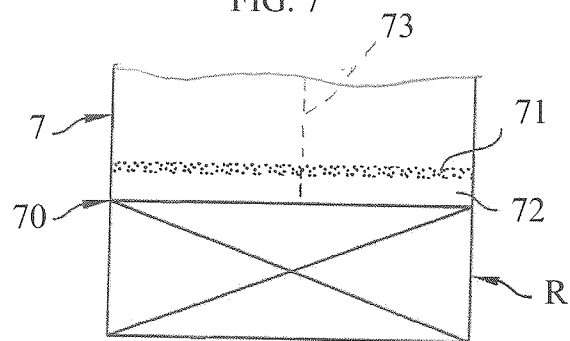
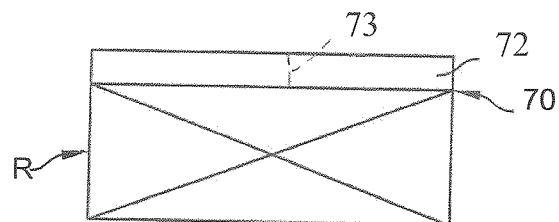


FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/065905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C30B29/06 C30B33/06 H01L21/18 C30B29/08 H01L21/762
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)
C30B H01L

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, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FR 2 852 974 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 1 October 2004 (2004-10-01) claims 1-30; figures 1-4	1-5
Y	JP 02 219606 A (FUJITSU LTD) 3 September 1990 (1990-09-03) abstract; figures 1-3	1-5
A	EP 0 367 536 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 9 May 1990 (1990-05-09) column 9, line 21 - column 19, line 30; claims 1-23; figures 1-7, 19-30	1-5
A	FR 2 826 378 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 27 December 2002 (2002-12-27) claims 1-6; figures 1-3, 10	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ 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

7 April 2010

Date of mailing of the international search report

16/04/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lavéant, Pierre

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2009/065905

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
FR 2852974	A1	01-10-2004	WO	2004090201 A2		21-10-2004
			US	2004187766 A1		30-09-2004
JP 2219606	A	03-09-1990	NONE			
EP 0367536	A	09-05-1990	CA	2001934 A1		01-05-1990
			DE	68914249 D1		05-05-1994
			DE	68914249 T2		11-08-1994
			JP	2066819 C		10-07-1996
			JP	2122617 A		10-05-1990
			JP	7101679 B		01-11-1995
			US	5105254 A		14-04-1992
			US	5100839 A		31-03-1992
FR 2826378	A1	27-12-2002	AT	322742 T		15-04-2006
			DE	60210452 T2		09-11-2006
			EP	1397835 A2		17-03-2004
			WO	03005443 A2		16-01-2003
			JP	4357957 B2		04-11-2009
			JP	2004521518 T		15-07-2004
			US	2003175531 A1		18-09-2003

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2009/065905

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. C30B29/06 C30B33/06 H01L21/18 C30B29/08 H01L21/762
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)

C30B H01L

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, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	FR 2 852 974 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 1 octobre 2004 (2004-10-01) revendications 1-30; figures 1-4	1-5
Y	JP 02 219606 A (FUJITSU LTD) 3 septembre 1990 (1990-09-03) abrégé; figures 1-3	1-5
A	EP 0 367 536 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 9 mai 1990 (1990-05-09) colonne 9, ligne 21 - colonne 19, ligne 30; revendications 1-23; figures 1-7, 19-30	1-5
A	FR 2 826 378 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 27 décembre 2002 (2002-12-27) revendications 1-6; figures 1-3, 10	1-5

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ 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

7 avril 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/04/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lavéant, Pierre

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2009/065905

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2852974	A1	01-10-2004	WO 2004090201 A2	21-10-2004
			US 2004187766 A1	30-09-2004
JP 2219606	A	03-09-1990	AUCUN	
EP 0367536	A	09-05-1990	CA 2001934 A1	01-05-1990
			DE 68914249 D1	05-05-1994
			DE 68914249 T2	11-08-1994
			JP 2066819 C	10-07-1996
			JP 2122617 A	10-05-1990
			JP 7101679 B	01-11-1995
			US 5105254 A	14-04-1992
			US 5100839 A	31-03-1992
FR 2826378	A1	27-12-2002	AT 322742 T	15-04-2006
			DE 60210452 T2	09-11-2006
			EP 1397835 A2	17-03-2004
			WO 03005443 A2	16-01-2003
			JP 4357957 B2	04-11-2009
			JP 2004521518 T	15-07-2004
			US 2003175531 A1	18-09-2003