

(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
8 septembre 2017 (08.09.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/149253 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 21/66 (2006.01) H01L 21/762 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2017/050471

(22) Date de dépôt international :
2 mars 2017 (02.03.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1651747 2 mars 2016 (02.03.2016) FR

(71) Déposant : SOITEC [FR/FR]; Parc Technologique des
Fontaines, Chemin des Franques, 38190 Bernin (FR).

(72) Inventeurs : ECARNOT, Ludovic; 407 Avenue du Golf,
38410 Vaulnaveys-le-Haut (FR). BEN MOHAMED, Na-
dia; 5 Avenue Paul Eluard, 38130 Echirolles (FR). DU-
RET, Carine; 14 impasse de Mésanges, 73110 La Ro-
chette (FR).

(74) Mandataire : REGIMBEAU; 139 rue Vendôme, 69477
Lyon Cedex 06 (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, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY,
TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR DETERMINING A SUITABLE ENERGY FOR IMPLANTATION IN A DONOR SUBSTRATE AND
PROCESS FOR FABRICATING A SEMICONDUCTOR-ON-INSULATOR STRUCTURE

(54) Titre : PROCEDE DE DETERMINATION D'UNE ENERGIE CONVENABLE D'IMPLANTATION DANS UN SUBSTRAT
DONNEUR ET PROCEDE DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE DE TYPE SEMI-CONDUCTEUR SUR ISOLANT

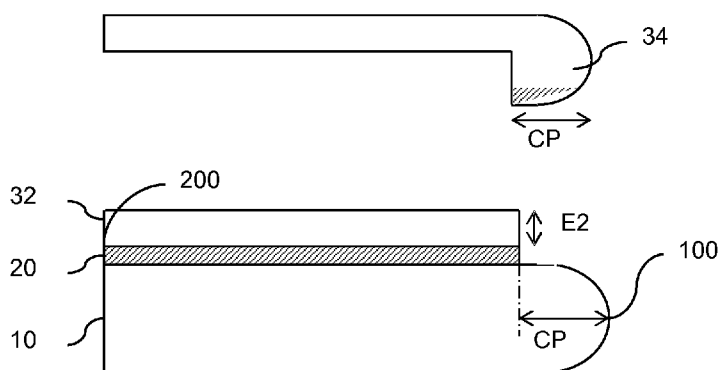


FIG. 5

(57) Abstract : The invention relates to a method for determining a suitable energy for implantation of at least two atomic species in a donor substrate (30) to create a weakened zone (31) defining a single-crystal semiconductor layer (32) to be transferred to a receiver substrate (10), comprising the following steps: (i) forming a dielectric layer on the donor substrate (30) and/or the receiver substrate (10); (ii) co-implanting said species in the donor substrate (30); (iii) bonding the donor substrate (30) to the receiver substrate (10); (iv) detaching the donor substrate (30) along the weakened zone (31) so as to transfer the single-crystal semiconductor layer (32) and to recover a remainder (34) of the donor substrate; (v) inspecting the peripheral annulus of the remainder (34) of the donor substrate or of the receiver substrate (10) on which the single-crystal semiconductor layer (32) has been transferred in step (iv); (vi) if said annulus contains zones transferred to the receiver substrate, deducing that the implantation energy of step (ii) is too high; and (vii) if said annulus does not contain zones transferred to the receiver substrate, deducing that the implantation energy of step (ii) is suitable.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2017/149253 A1



SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, **Publiée :**
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

L'invention concerne un procédé de détermination d'une énergie convenable d'implantation d'au moins deux espèces atomiques dans un substrat donneur (30) pour créer une zone de fragilisation (31) définissant une couche (32) monocristalline semi-conductrice à transférer sur un substrat receveur (10), comprenant les étapes suivantes : (i) formation d'une couche diélectrique sur le substrat donneur (30) et/ou du substrat receveur (10), (ii) co-implantation desdites espèces dans le substrat donneur (30), (iii) collage du substrat donneur (30) sur le substrat receveur (10), (iv) détachement du substrat donneur (30) le long de la zone de fragilisation (31) de sorte à transférer la couche (32) monocristalline semi-conductrice et récupérer un reliquat (34) du substrat donneur, (v) inspection de la couronne périphérique du reliquat (34) du substrat donneur ou du substrat receveur (10) sur lequel la couche monocristalline semi-conductrice (32) a été transférée à l'étape (iv), (vi) si ladite couronne présente des zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est trop élevée, (vii) si ladite couronne ne présente pas de zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est convenable.

**PROCEDE DE DETERMINATION D'UNE ENERGIE CONVENABLE
D'IMPLANTATION DANS UN SUBSTRAT DONNEUR
ET PROCEDE DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE
DE TYPE SEMI-CONDUCTEUR SUR ISOLANT**

5

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une structure par transfert de couche. Ce procédé est mis en œuvre plus particulièrement pour fabriquer des structures de type SeOI (acronyme du terme anglo-saxon
10 « Semiconductor On Insulator » ou Semi-conducteur sur Isolant) par une technique de type SmartCut TM.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

Le procédé Smart Cut TM permet le transfert d'une couche mince semi-
15 conductrice d'un substrat donneur vers un substrat receveur et met en œuvre les étapes suivantes :

- a) Implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur afin de créer une zone de fragilisation dont la profondeur correspond à l'épaisseur de la couche mince que l'on souhaite transférer.
- 20 b) Mise en contact des substrats et collage par adhésion moléculaire.
Le collage se fait sur toute la surface des substrats sauf à la périphérie, car les plaques présentent un chanfrein (ou « Edge Roll Off » (ERO) selon la dénomination anglo-saxonne) et ne sont donc pas en contact sur leur périphérie, comme on peut le constater sur la figure 1.
- 25 c) Détachement selon la zone de fragilisation du substrat donneur, et transfert de la couche mince vers le substrat receveur.

Les substrats se présentent généralement sous la forme de plaques circulaires (également appelées « wafers » dans le langage du métier) ; par exemple, les plaques de 300 mm sont couramment utilisées.

30 On appelle couronne la région périphérique où le transfert de la couche mince n'a pas eu lieu. En référence à la figure 2, qui représente en vue de dessus quatre régions périphériques d'une plaque de SeOI, la couronne CP est délimitée du côté extérieur par le bord 100 du substrat receveur et du côté intérieur par le bord 200

de la couche transférée. Sur la plaque de la figure 2, la couronne CP est régulière, autrement dit le bord du SeOI est régulier.

Toutefois, dans certains cas, une largeur de couronne irrégulière (également appelée « jagged edge » selon le vocabulaire du métier) sur le produit final, c'est-à-dire le SeOI obtenu après le détachement. Après le détachement, il arrive que la couronne comprenne également des petites zones transférées isolées.

La largeur de couronne est donc rendue irrégulière par l'extension locale et non contrôlée de la zone transférée sur plusieurs centaines de micromètres vers le bord du substrat receveur. L'extension de la zone transférée est visible sur les photos de la figure 3, où la région la plus claire correspond à la couche transférée, et la couche la plus foncée est la couronne.

Une situation où l'on observe une couronne irrégulière est la mise en œuvre d'une activation, par exemple par plasma, de la surface d'au moins un des substrats avant le collage par adhésion moléculaire. Cette activation permet de renforcer de manière significative l'énergie de collage. Le renforcement de l'énergie de collage peut également être obtenu par un nettoyage avant collage adapté, par exemple une séquence de type O3/SC1/SC2 dans laquelle le SC1 est réalisé à une température inférieure à 50°C.

La demande de brevet WO 2009/034113 au nom de la Demanderesse propose de remédier à cet inconvénient en contrôlant l'activation de la surface du substrat de telle sorte que l'augmentation de l'énergie de collage entre le substrat donneur et le substrat receveur soit, dans une région périphérique de ces substrats, inférieure à l'augmentation de l'énergie de collage dans la région centrale desdits substrats.

Toutefois, il subsiste des situations où le phénomène de « jagged edge » est observé, même lorsque le contrôle susmentionné est mis en œuvre. Il s'agit notamment des cas où la couche semi-conductrice transférée présente une épaisseur importante, c'est-à-dire typiquement supérieure ou égale à 370 nm, et où la zone de fragilisation est formée par co-implantation de deux espèces différentes, généralement de l'hydrogène et de l'hélium.

Or, ce transfert non désiré dans la couronne crée une zone plus fragile dans laquelle la couche semi-conductrice transférée est susceptible de subir une attaque chimique par son interface avec le substrat receveur (phénomène

dénommé « under etching » selon la terminologie anglo-saxonne) et de se délaminer. Il peut en résulter une contamination particulière de la structure SeOI qui la rend non conforme aux spécifications produit.

Une solution pour remédier à ce type de défaut serait de retirer les zones transférées dans la couronne par une action mécanique ou chimique.

Toutefois, la mise en œuvre de telles opérations de reprise serait compliquée à mettre en œuvre à l'échelle industrielle et grèverait le coût de fabrication des structures SeOI.

10 BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

Un des buts de l'invention est donc d'améliorer le procédé de fabrication d'une structure par transfert de couche de manière à garantir un bord de couche transférée régulier, sans extension locale.

A cet effet, l'invention concerne un procédé de détermination d'une énergie convenable d'implantation d'au moins deux espèces atomiques dans un substrat donneur pour créer une zone de fragilisation définissant une couche monocristalline semi-conductrice à transférer sur un substrat receveur, comprenant les étapes suivantes :

- (i) formation d'une couche diélectrique sur l'un au moins du substrat donneur et du substrat receveur,
- (ii) co-implantation desdites espèces dans le substrat donneur avec une énergie déterminée pour former la zone de fragilisation,
- (iii) collage du substrat donneur sur le substrat receveur de telle sorte que ladite couche diélectrique soit à l'interface de collage,
- (iv) détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation (31) de sorte à transférer la couche monocristalline semi-conductrice et récupérer un reliquat du substrat donneur,
- (v) inspection de la couronne périphérique du reliquat du substrat donneur ou de la couronne périphérique du substrat receveur sur lequel la couche monocristalline semi-conductrice a été transférée à l'étape (iv),

(vi) si ladite couronne présente des zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est trop élevée,

5 (vii) si ladite couronne ne présente pas de zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est convenable.

De manière avantageuse, on met en œuvre l'étape (ii) sur une pluralité de substrats donneurs avec des énergies d'implantation respectives différentes et l'on détermine, à partir de l'inspection du reliquat du substrat donneur ou du substrat
10 receveur sur lequel la couche monocristalline semi-conductrice a été transférée obtenu pour chacune desdites énergies d'implantation, une gamme d'énergie d'implantation convenable.

Ainsi, on peut déterminer l'énergie d'implantation maximale dans ladite gamme d'énergie d'implantation convenable et l'on en déduit l'épaisseur maximale
15 de la couche monocristalline semi-conductrice à transférer sur le substrat receveur.

Un autre objet de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure de type semi-conducteur sur isolant par transfert d'une couche monocristalline semi-conductrice d'un substrat donneur vers un substrat receveur, comprenant les étapes suivantes :

- 20 (a) détermination d'une énergie d'implantation convenable par le procédé tel que décrit ci-dessus,
- (b) formation d'une couche diélectrique sur l'un au moins du substrat receveur et du substrat donneur,
- (c) co-implantation d'espèces atomiques, telles que de l'hydrogène et de
25 l'hélium, avec l'énergie d'implantation déterminée à l'étape (a), pour créer une zone de fragilisation dans le substrat donneur de manière à définir une couche monocristalline semi-conductrice à transférer,
- (d) collage par adhésion moléculaire du substrat donneur sur un substrat receveur, ladite couche diélectrique étant à l'interface de collage,
- 30 (e) détachement du substrat donneur selon la zone de fragilisation, de sorte à transférer la couche monocristalline semi-conductrice sur le substrat receveur.

Selon une forme d'exécution de l'invention, l'énergie d'implantation convenable déterminée à l'étape (a) correspond à une épaisseur de la couche transférée à l'étape (e) inférieure à l'épaisseur souhaitée pour la couche monocristalline semi-conductrice de la structure semi-conducteur sur isolant, ledit
5 procédé comprenant en outre, après l'étape (e), une étape (f) d'épitaxie sur la couche transférée sur le substrat receveur jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description détaillée qui va suivre, en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- la figure 1 est une photo en coupe de deux plaques collées montrant les chanfreins des plaques à l'origine de la couronne du SeOI
- 15 - la figure 2 est une photo de dessus du bord d'une plaque SeOI présentant une couronne régulière
- la figure 3 est une photographie de la couronne d'une plaque où apparaît le phénomène de « jagged edge »,
- la figure 4 est une vue en coupe d'une structure après collage d'un
20 substrat donneur sur un substrat receveur en vue de fabriquer un SeOI ;
- la figure 5 est une vue en coupe de la structure précédente après détachement et transfert d'une couche monocristalline semi-conductrice ;
- la figure 6 est une vue en coupe de la structure de la figure 5 après la mise en œuvre d'une reprise d'épitaxie sur la couche transférée.
- 25 - les figures 7A à 7C sont des images d'inspection de la couronne périphérique du reliquat d'un substrat donneur pour différentes énergies d'implantation correspondant à des épaisseurs de la couche transférée différentes (respectivement 350 nm, 420 nm et 600 nm).

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

La figure 4 illustre la structure obtenue après collage d'un substrat donneur 30 sur un substrat receveur 10.

5 Lors de la mise en œuvre du procédé Smart Cut TM, le substrat donneur 30 (et/ou le substrat receveur) peut par exemple être recouvert d'une couche diélectrique 20, notamment une couche d'oxyde. De manière bien connue de l'homme du métier, l'oxyde peut être déposé ou encore formé par oxydation thermique du substrat donneur.

10 Le substrat donneur 30 subit ensuite une co-implantation d'au moins deux espèces atomiques, comme par exemple de l'hydrogène et de l'hélium, dont la dose et l'énergie sont adaptées de manière à obtenir un pic d'implantation à une profondeur correspondant à l'épaisseur de la couche du substrat donneur que l'on souhaite transférer. La zone 31 où sont implantées les espèces atomiques est
15 appelée zone de fragilisation. Grâce à cette co-implantation, les atomes d'hélium contribuent à confiner les atomes d'hydrogène, ce qui permet d'améliorer la qualité du détachement ultérieur le long de la zone de fragilisation. L'implantation de ces deux espèces est réalisée de manière décalée dans le temps. Par ailleurs, les énergies d'implantation des deux espèces (qui dépendent du poids des espèces
20 respectives) ne sont pas nécessairement identiques. L'homme du métier est à même de définir les paramètres de dose et d'énergie pour les deux espèces en fonction de la profondeur de la zone de fragilisation à former.

Après une éventuelle activation par plasma de la surface du substrat donneur 30 et/ou du substrat receveur 10, les substrats sont mis en contact et collés par
25 adhésion moléculaire. L'activation par plasma a pour effet d'augmenter l'énergie de collage entre les deux substrats. Cette augmentation de l'énergie de collage peut également être obtenue au moyen d'un nettoyage avant collage de type O₃/RCA dans lequel le SC1 est réalisé à une température inférieure à 50°C. Ce nettoyage est bien connu de l'homme du métier et ne sera donc pas décrit en
30 détail. On rappelle simplement que le RCA comprend un enchaînement de bains dits SC1 et SC2. Le SC1 est un mélange d'H₂O, H₂O₂ et NH₄OH. Le SC2 est un mélange d'H₂O, H₂O₂ et HCl. Des rinçages en H₂O sont insérés entre ces bains de

SC1 et de SC2. Le nettoyage O_3 correspond à un premier bain d' H_2O dans lequel on dissout de l'ozone gaz.

Comme on peut le constater sur la figure 4, les plaques des deux substrats n'ont pas un bord perpendiculaire à la surface mais présentent un chanfrein ou « Edge Roll Off », désigné par les flèches C. Les substrats 10 et 30 ne sont donc pas collés jusqu'à leur bord mais jusqu'au chanfrein.

On réalise ensuite un détachement du substrat donneur 30 le long de la zone de fragilisation 31. A cet effet, on peut initier un détachement au moyen de forces mécaniques ou d'une élévation de température ; le détachement se propageant sur toute la surface sous la forme d'une onde de détachement. La structure SeOI ainsi obtenue est représentée à la figure 5. Du fait de la présence des chanfreins sur les bords des plaques, la partie transférée du substrat donneur 30 ne s'étend normalement pas sur toute la surface du substrat receveur 10 mais seulement jusqu'à la limite d'une couronne périphérique CP.

Pour une plaque de 300 mm, la couronne périphérique CP a typiquement une largeur de 1 mm par rapport au bord de la plaque.

Le phénomène de « jagged edge » exposé en introduction se traduit par la présence de zones transférées (c'est-à-dire d'oxyde 20 et de couche mince 32) à l'intérieur de la couronne périphérique CP.

Le phénomène de « jagged edge » semble dû au fait que les énergies d'implantation d'hydrogène et d'hélium pour créer la zone de fragilisation sont trop importantes.

Or, de telles énergies peuvent être requises pour former une zone de fragilisation suffisamment profonde pour pouvoir transférer une couche semi-conductrice suffisamment épaisse.

Ainsi, les inventeurs ont observé que lorsque la couche d'oxyde est épaisse (de l'ordre de 0,7 à 3 μm), la rugosité de surface du silicium transféré par le procédé d'implantation et de collage est plus importante. Par conséquent, le traitement visant à lisser la surface de la couche mince transférée et retirer les défauts d'implantation conduira à un retrait important de matière, d'où la nécessité d'effectuer une implantation la plus profonde possible afin transférer une couche suffisamment épaisse pour obtenir l'épaisseur souhaitée à l'issue du polissage.

Par ailleurs, les inventeurs ont identifié qu'il existe une épaisseur critique de la couche à transférer au-delà de laquelle l'onde de fracture mise en œuvre pour le détachement tend à plaquer la couronne périphérique du substrat donneur contre celle du substrat receveur – à laquelle elle n'était pas collée initialement – qui engendre un transfert de matière du substrat donneur dans la couronne périphérique du substrat receveur. Cette épaisseur critique dépend de la structure dans laquelle le détachement est effectué, et notamment de l'épaisseur de la couche à transférer.

D'une manière générale, l'invention permet d'éviter ou tout au moins de réduire le phénomène de « jagged edge » en identifiant au préalable une gamme d'énergie d'implantation (ou au moins une valeur d'énergie d'implantation) pour chaque espèce ne conduisant pas à la présence de zones transférées dans la couronne périphérique du substrat receveur (cette énergie convenable étant déterminée en inspectant la couronne périphérique du reliquat du substrat donneur après détachement) et en utilisant une énergie d'implantation dans ladite gamme (ou inférieure ou égale à la valeur identifiée) pour transférer une couche monocristalline semi-conductrice du substrat donneur sur le substrat receveur. Eventuellement, si l'énergie d'implantation utilisée correspond à une épaisseur de la couche transférée inférieure à l'épaisseur souhaitée pour la couche mince semi-conductrice de la structure SeOI finale, on met en œuvre une épitaxie sur la couche transférée jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée.

L'invention permet donc, dans un premier temps, de déterminer, pour une structure SeOI particulière à fabriquer, une énergie convenable d'implantation pour les deux espèces à implanter pour former la zone de fragilisation.

Ce procédé de détermination implique la fabrication de plusieurs structures SeOI de test, correspondant chacune à différentes énergies de co-implantation, en vue de déterminer une fenêtre du procédé d'implantation permettant de limiter, voire d'éviter, la formation du « jagged edge ».

Plus précisément, la fabrication des structures SeOI de test comprend les étapes suivantes (cf. figure 5) :

- (i) formation d'une couche diélectrique (typiquement, un oxyde) sur l'un au moins du substrat donneur 30 et du substrat receveur 10,

- (ii) co-implantation des espèces dans le substrat donneur 30 avec une énergie déterminée pour former la zone de fragilisation 31,
- (iii) collage du substrat donneur 30 sur le substrat receveur 10 de telle sorte que ladite couche diélectrique soit à l'interface de collage,
- 5 (iv) détachement du substrat donneur 30 le long de la zone de fragilisation (31) de sorte à transférer la couche 32 monocristalline semi-conductrice et récupérer un reliquat 34 du substrat donneur.

On utilise le reliquat 34 du substrat donneur pour déterminer si les conditions de co-implantation de l'étape (ii) ont conduit ou non à un phénomène de « jagged edge ».

A cet effet, on inspecte la couronne périphérique CP du reliquat 34 du substrat donneur par un équipement dénommé Edgescan™, qui permet d'observer les défauts présents à la périphérie d'un substrat. Un tel équipement est largement utilisé sur les lignes de production de structures SeOI et ne sera donc pas décrit en

15 détail ici.

Cette inspection permet de parvenir aux conclusions suivantes :

- si la couronne du reliquat du substrat donneur présente des zones qui ont été transférées sur le substrat receveur (révélatrices du « jagged edge »), l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est trop élevée ;
- 20 - si ladite couronne ne présente pas de zones transférées sur le substrat receveur (signifiant que le « jagged edge » ne s'est pas produit), l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est convenable.

Eventuellement, on pourrait effectuer cette inspection sur la structure SeOI, qui correspond à l'empreinte en négatif du reliquat du substrat donneur. Toutefois,

25 l'inspection du reliquat présente l'avantage de pouvoir être réalisée en parallèle du procédé de fabrication des structures SeOI qui se poursuit.

En effectuant cette démarche pour différentes énergies d'implantation, on détermine ainsi une gamme d'énergie d'implantation qui permet d'éviter la formation du « jagged edge ».

30 Ainsi, pour la fabrication ultérieure des structures SeOI, on utilisera une énergie d'implantation située dans ladite gamme.

La fabrication de ces structures SeOI est réalisée selon le procédé Smart Cut™ et permet d'obtenir une structure SeOI telle qu'illustrée sur la figure 5

sensiblement dépourvue de « jagged edge ». Le reliquat du substrat donneur peut quant à lui être éliminé ou recyclé pour une autre utilisation.

Comme on le voit sur la figure 5, l'épaisseur de la couche 32 transférée sur le substrat receveur est notée E1.

5 Dans le cas où l'on souhaite pour la couche mince de la structure SeOI une épaisseur E2 supérieure à E1, on obtient cette épaisseur supplémentaire en mettant en œuvre une étape d'épitaxie sur la couche transférée 32 jusqu'à l'obtention de l'épaisseur E2 souhaitée (couche finale 33 illustrée sur la figure 6).

10 La gamme d'énergie d'implantation convenable peut varier selon l'épaisseur de la couche d'oxyde enterrée. Par conséquent, on pourra mettre en œuvre le procédé de détermination décrit plus haut pour des structures SeOI présentant des caractéristiques (en termes de matériaux, d'épaisseur de la couche d'oxyde, etc.) différentes.

15 Bien que l'hélium et l'hydrogène ne soient généralement pas implantés avec la même énergie, l'énergie d'implantation de l'hélium est définie en fonction de l'énergie d'implantation de l'hydrogène : l'énergie d'implantation de l'hydrogène est déterminée pour obtenir une profondeur déterminée de la zone de fragilisation, puis l'énergie d'implantation de l'hélium est déterminée pour que le pic d'implantation de l'hélium soit au voisinage du pic d'implantation de l'hydrogène.

20 Par conséquent, dans la présente invention, il suffit de déterminer l'énergie convenable d'implantation de l'hydrogène, et l'homme du métier est ensuite en mesure de déterminer l'énergie d'implantation de l'hélium à utiliser.

Les figures 7A à 7C sont des vues d'une inspection par Edgescan™ de la couronne périphérique CP du reliquat du substrat donneur de silicium d'une structure SOI avec une couche d'oxyde de 1 μm d'épaisseur pour différentes

25 énergies d'implantation d'hydrogène comprises entre 32 keV et 68 keV. La figure 7A correspond à une profondeur d'implantation de 350 nm, la figure 7B à une profondeur de 420 nm et la figure 7C à une profondeur de 600 nm. Bien que le substrat donneur soit circulaire, l'image obtenue par Edgescan™ représente le

30 contour du substrat sous la forme d'une droite.

Sur la figure 7A, la couronne périphérique CP (qui correspond à une épaisseur de silicium non transférée sur le substrat receveur), dont la limite par rapport à la partie centrale du substrat est désignée par la flèche épaisse, est

sensiblement régulière. On note que cette couronne présente un aspect bullé qui est dû à l'implantation.

Sur la figure 7B, on observe que la couronne périphérique est moins régulière. Notamment, les zones désignées par les flèches épaisses
5 correspondent à un transfert du silicium du substrat donneur sur le substrat receveur.

Sur la figure 7C, on observe qu'à l'exception de quelques zones désignées par les flèches épaisses, le silicium de la couronne périphérique a été transféré sur le substrat receveur (l'aspect de la couronne périphérique étant similaire à celui de
10 la partie centrale du substrat). Ceci semble s'expliquer par le fait que la couche à transférer était assez rigide et que le détachement était assez violent pour que le substrat donneur, qui n'était initialement pas collé au substrat receveur dans la région du chanfrein, s'est plaqué jusqu'à son bord contre le substrat receveur, ce qui a conduit à un transfert de la quasi-totalité du substrat donneur sur le substrat
15 receveur.

On déduit de ces figures que les énergies d'implantation conduisant à des profondeurs d'implantation de 420 et 600 nm induisent un phénomène de « jagged edge » et sont donc trop élevées. En revanche, une énergie d'implantation conduisant à une profondeur d'implantation de 350 nm est convenable.

Par conséquent, pour la fabrication des SOI présentant une couche d'oxyde
20 de 1 μm d'épaisseur, on effectuera avantageusement une co-implantation d'hydrogène et d'hélium pour atteindre une profondeur d'implantation d'au plus 370 nm. Eventuellement, si la couche de silicium du SOI doit présenter une épaisseur supérieure à l'épaisseur de la couche transférée, on obtiendra l'épaisseur requise
25 au moyen d'une épitaxie.

REFERENCES

WO 2009/034113

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination d'une énergie convenable d'implantation d'au moins deux espèces atomiques dans un substrat donneur (30) pour créer une zone de fragilisation (31) définissant une couche (32) monocristalline semi-conductrice à transférer sur un substrat receveur (10), comprenant les étapes suivantes :
- (i) formation d'une couche diélectrique sur l'un au moins du substrat donneur (30) et du substrat receveur (10),
 - (ii) co-implantation desdites espèces dans le substrat donneur (30) avec une énergie déterminée pour former la zone de fragilisation (31),
 - (iii) collage du substrat donneur (30) sur le substrat receveur (10) de telle sorte que ladite couche diélectrique soit à l'interface de collage,
 - (iv) détachement du substrat donneur (30) le long de la zone de fragilisation (31) de sorte à transférer la couche (32) monocristalline semi-conductrice et récupérer un reliquat (34) du substrat donneur,
 - (v) inspection de la couronne périphérique du reliquat (34) du substrat donneur ou du substrat receveur (10) sur lequel la couche monocristalline semi-conductrice (32) a été transférée à l'étape (iv),
 - (vi) si ladite couronne présente des zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est trop élevée,
 - (vii) si ladite couronne ne présente pas de zones transférées sur le substrat receveur, détermination du fait que l'énergie d'implantation de l'étape (ii) est convenable.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on met en œuvre l'étape (ii) sur plusieurs substrats donneurs avec des énergies d'implantation respectives différentes et l'on détermine, à partir de l'inspection du reliquat (34) du substrat donneur ou du substrat receveur (10) sur lequel la couche monocristalline semi-conductrice (32) a été transférée obtenu pour chacune desdites énergies d'implantation, une gamme d'énergie d'implantation convenable.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on détermine l'énergie d'implantation maximale dans ladite gamme d'énergie d'implantation convenable et l'on en déduit l'épaisseur maximale de la couche (32) monocristalline semi-conductrice à transférer sur le substrat receveur.
- 5
4. Procédé de fabrication d'une structure de type semi-conducteur sur isolant par transfert d'une couche monocristalline semi-conductrice d'un substrat donneur (30) vers un substrat receveur (10), comprenant les étapes
- 10 suivantes :
- (a) détermination d'une énergie d'implantation convenable par le procédé selon l'une des revendications 1 à 3,
- (b) formation d'une couche diélectrique sur l'un au moins du substrat receveur (10) et du substrat donneur (30),
- 15 (c) co-implantation d'espèces atomiques, telles que de l'hydrogène et de l'hélium, avec l'énergie d'implantation déterminée à l'étape (a), pour créer une zone de fragilisation (31) dans le substrat donneur (30) de manière à définir une couche (32) monocristalline semi-conductrice à transférer,
- 20 (d) collage par adhésion moléculaire du substrat donneur (30) sur un substrat receveur (10), ladite couche diélectrique étant à l'interface de collage,
- (e) détachement du substrat donneur (30) selon la zone de fragilisation (31), de sorte à transférer la couche (32) monocristalline semi-conductrice sur
- 25 le substrat receveur.
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'énergie d'implantation convenable déterminée à l'étape (a) correspond à une épaisseur (E1) de la couche transférée à l'étape (e) inférieure à l'épaisseur (E2) souhaitée pour la
- 30 couche (33) monocristalline semi-conductrice de la structure semi-conducteur sur isolant, ledit procédé comprenant en outre, après l'étape (e), une étape (f) d'épitaxie sur la couche (32) transférée sur le substrat receveur (10) jusqu'à l'obtention de l'épaisseur (E2) souhaitée.

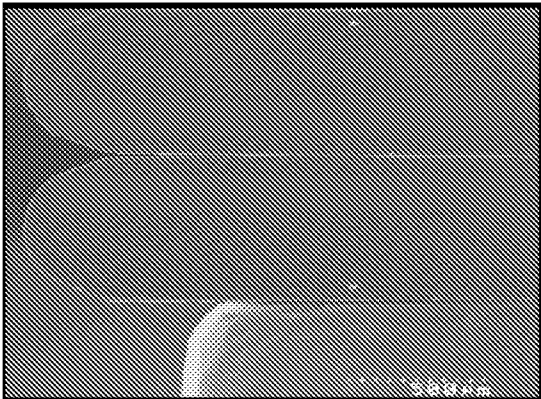


FIG. 1

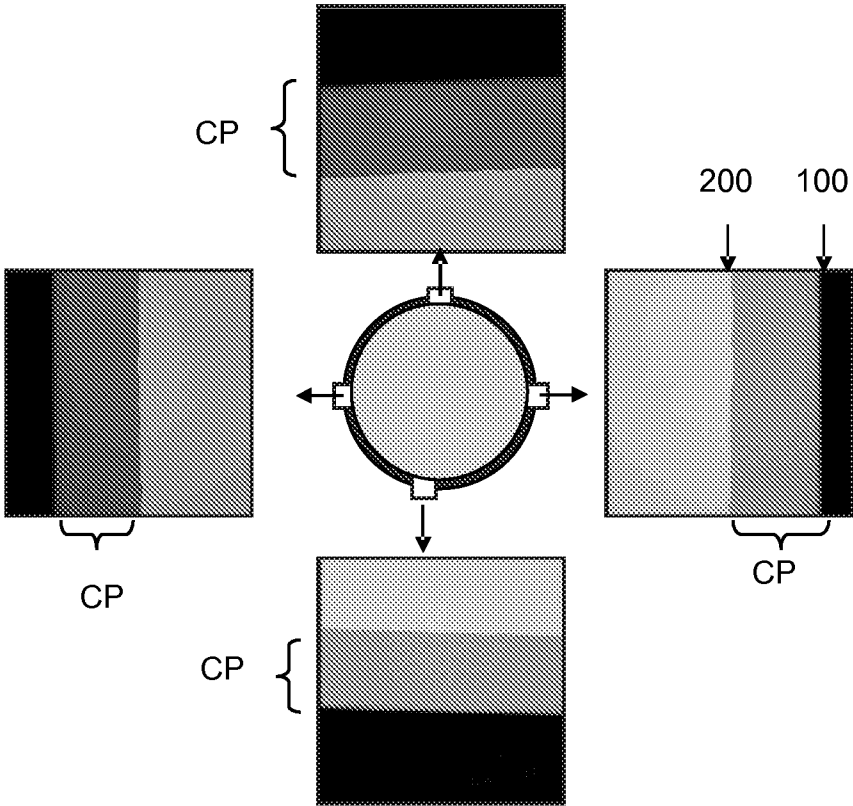


FIG. 2

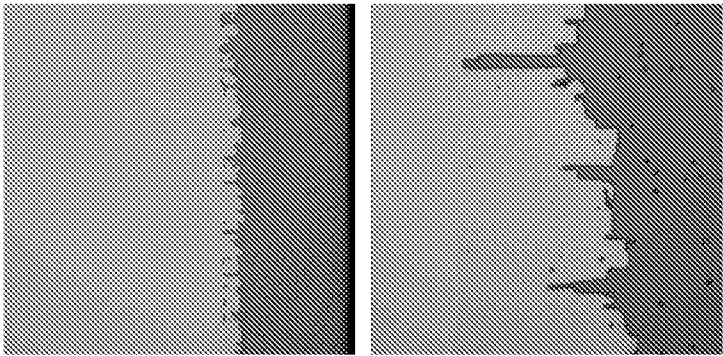


FIG. 3

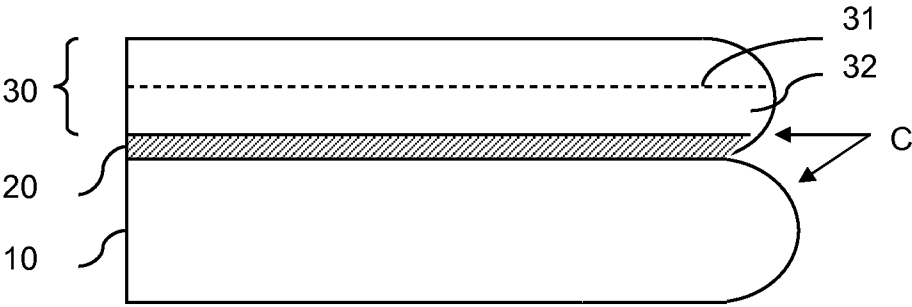


FIG. 4

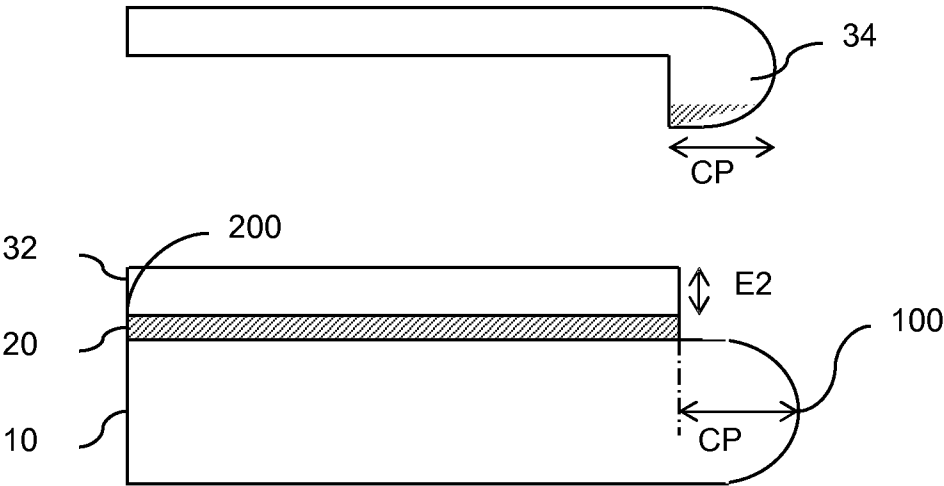


FIG. 5

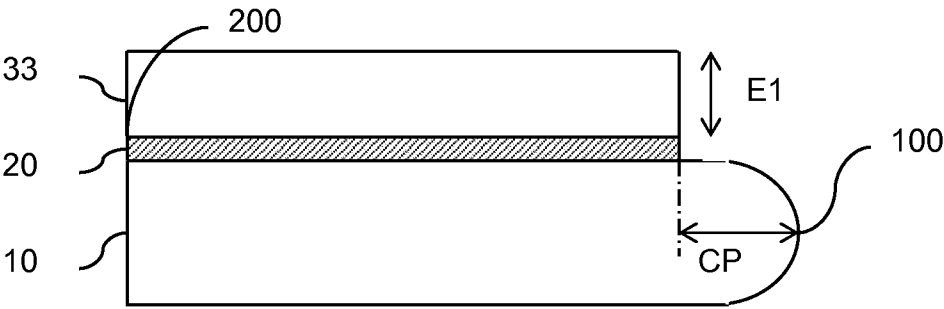


FIG. 6

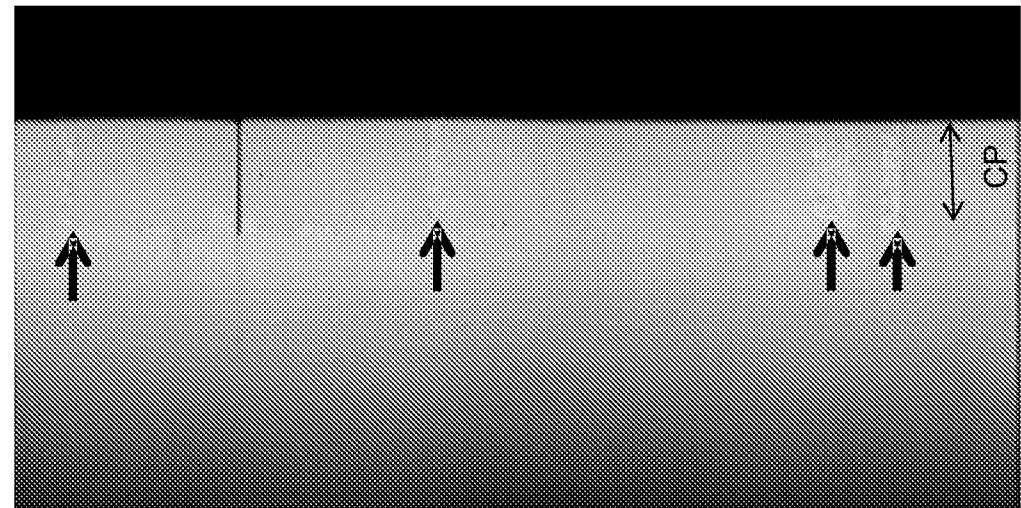


FIG. 7C

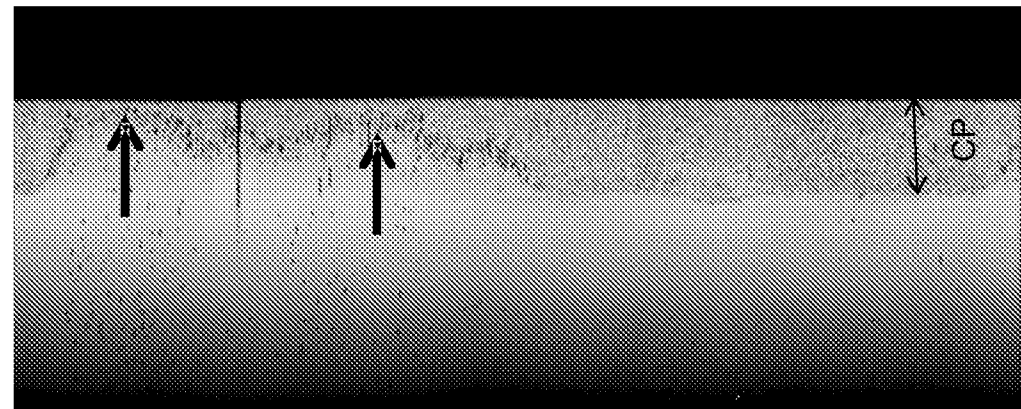


FIG. 7B

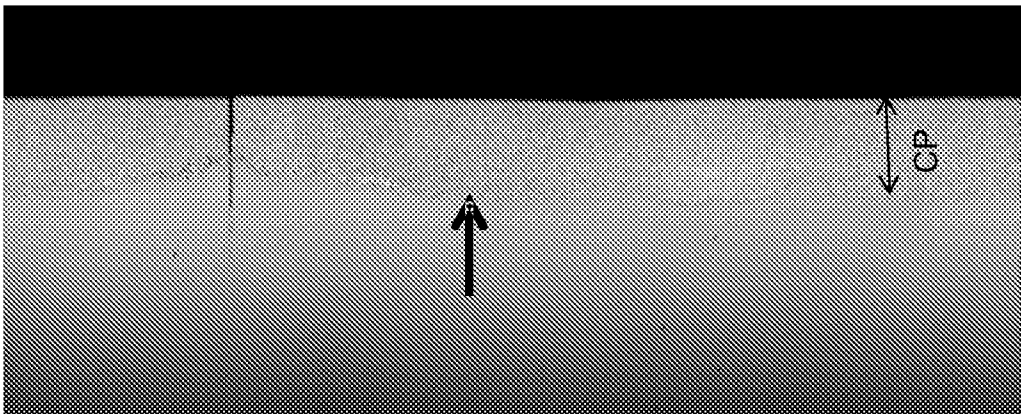


FIG. 7A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/050471

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/66 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)
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 practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/199956 A1 (LECOMTE MONIQUE [FR] ET AL) 9 August 2012 (2012-08-09) paragraph [0054] - paragraph [0069]; figures 1a-2 paragraph [0070] - paragraph [0076] -----	1-5
A	EP 1 777 735 A2 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 25 April 2007 (2007-04-25) paragraph [0040] - paragraph [0062]; figures 1,2 -----	1-5
A	US 2007/148917 A1 (MORITA ETSUROU [JP] ET AL) 28 June 2007 (2007-06-28) paragraphs [0044], [0045]; figure 1 ----- -/--	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 application or patent 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

12 May 2017

Date of mailing of the international search report

24/05/2017

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

Hedouin, Mathias

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/050471

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MORICEAU H ET AL: "Smart Cut<TM>: review on an attractive process for innovative substrate elaboration", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, ELSEVIER BV, NL, vol. 277, 15 April 2012 (2012-04-15), pages 84-92, XP002721940, ISSN: 0168-583X, DOI: 10.1016/J.NIMB.2011.12.050 [retrieved on 2011-12-30] paragraph [02.3]; figure 2a -----	1
A	AGARWAL ADITYA ET AL: "Efficient production of silicon-on-insulator films by co-implantation of He+ with H+", APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US, vol. 72, no. 9, 2 March 1998 (1998-03-02), pages 1086-1088, XP012020812, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.120945 abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2017/050471

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 2012199956	A1	09-08-2012	CN	102629551 A		08-08-2012
			EP	2511951 A1		17-10-2012
			FR	2971365 A1		10-08-2012
			KR	20120090775 A		17-08-2012
			SG	183597 A1		27-09-2012
			TW	201246343 A		16-11-2012
			US	2012199956 A1		09-08-2012

EP 1777735	A2	25-04-2007	EP	1777735 A2		25-04-2007
			JP	2007116161 A		10-05-2007
			KR	20070042457 A		23-04-2007
			SG	131874 A1		28-05-2007

US 2007148917	A1	28-06-2007	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2017/050471

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L21/66 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) 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		
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 2012/199956 A1 (LECOMTE MONIQUE [FR] ET AL) 9 août 2012 (2012-08-09) alinéa [0054] - alinéa [0069]; figures 1a-2 alinéa [0070] - alinéa [0076] -----	1-5
A	EP 1 777 735 A2 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 25 avril 2007 (2007-04-25) alinéa [0040] - alinéa [0062]; figures 1,2 -----	1-5
A	US 2007/148917 A1 (MORITA ETSUROU [JP] ET AL) 28 juin 2007 (2007-06-28) alinéas [0044], [0045]; figure 1 ----- -/-	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 12 mai 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 24/05/2017
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 Hedouin, Mathias

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	MORICEAU H ET AL: "Smart Cut<TM>: review on an attractive process for innovative substrate elaboration", NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH. SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, ELSEVIER BV, NL, vol. 277, 15 avril 2012 (2012-04-15), pages 84-92, XP002721940, ISSN: 0168-583X, DOI: 10.1016/J.NIMB.2011.12.050 [extrait le 2011-12-30] alinéa [02.3]; figure 2a -----	1
A	AGARWAL ADITYA ET AL: "Efficient production of silicon-on-insulator films by co-implantation of He+ with H+", APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US, vol. 72, no. 9, 2 mars 1998 (1998-03-02), pages 1086-1088, XP012020812, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.120945 abrégé -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2017/050471

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012199956 A1	09-08-2012	CN 102629551 A	08-08-2012
		EP 2511951 A1	17-10-2012
		FR 2971365 A1	10-08-2012
		KR 20120090775 A	17-08-2012
		SG 183597 A1	27-09-2012
		TW 201246343 A	16-11-2012
		US 2012199956 A1	09-08-2012
EP 1777735 A2	25-04-2007	EP 1777735 A2	25-04-2007
		JP 2007116161 A	10-05-2007
		KR 20070042457 A	23-04-2007
		SG 131874 A1	28-05-2007
US 2007148917 A1	28-06-2007	AUCUN	