



(43) Date de la publication internationale  
31 décembre 2014 (31.12.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2014/207346 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
H01L 21/762 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2014/051487
- (22) Date de dépôt international :  
17 juin 2014 (17.06.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1301528 28 juin 2013 (28.06.2013) FR
- (71) Déposant : SOITEC [FR/FR]; Chemin des Franques, F-38190 Bernin (FR).
- (72) Inventeurs : BEN MOHAMED, Nadia; 5, avenue Paul Eluard, F-38130 Echirolles (FR). MAZE, Eric; 18 rue Colonel Dumont, F-38000 Grenoble (FR).
- (74) Mandataire : BREESE, Pierre; Fidal Innovation, Tour PRISMA, 4/6 avenue d'Alsace, F-92982 Paris La Défense (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, 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, 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, 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, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR PRODUCING A COMPOSITE STRUCTURE

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE

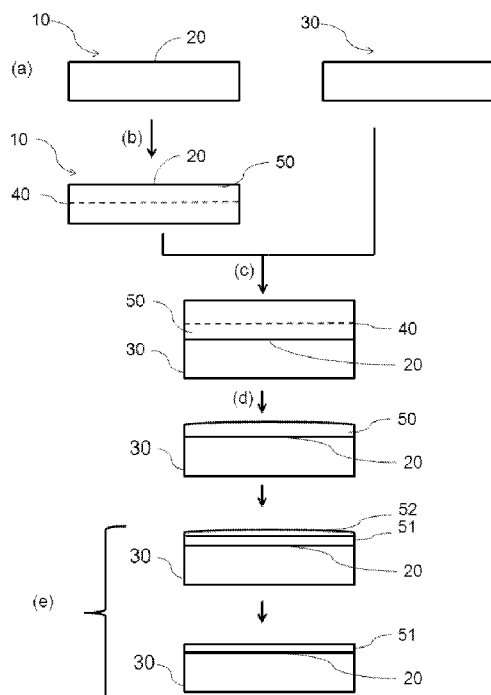


Fig 2

(57) Abstract : The invention concerns a method for producing a composite structure comprising the following steps: a) Providing a donor substrate (10) comprising a first surface (20), and a support substrate (30); b) Forming a break-off zone (40) in the donor substrate (10), the break-off zone (40) delimiting, with the first surface (20) of the donor substrate (10), a useful layer (50); c) Assembling the support substrate (30) and the donor substrate (10); d) Fracturing the donor substrate at the break-off zone ; e) Thinning the useful layer (50) in such a way as to form a thinned useful layer (51). Step b) is carried out such that the useful layer (50) has a thickness profile designed to compensate for the non-uniformity of consumption of the useful layer (50) during step e).

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure composite comprenant les étapes suivantes : a) Fournir un substrat donneur (10) comprenant une première surface (20), et un substrat support (30); b) Former une zone de fragilisation (40) dans le substrat donneur (10), la zone de fragilisation (40) délimitant, avec la première surface (20) du substrat donneur (10), une couche utile (50); c) Assembler le substrat support (30) et le substrat donneur (10); d) Fracturer le substrat donneur selon la zone de fragilisation; e) Amincir la couche utile (50) de sorte à former une couche utile amincie (51). L'étape b) est exécutée de sorte que la couche utile (50) présente un profil d'épaisseur adapté pour compenser la non uniformité de consommation de la couche utile (50) lors de l'étape e).



---

**Publiée :**

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

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

## PROCEDE DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE

### DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une  
5 structure composite.

### ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

Un procédé de fabrication d'une structure composite, connu de l'état de la technique et illustré à la figure 1, comprend les étapes suivantes :

- a) Fournir un substrat donneur 1 comprenant une première surface 2, et un  
10 substrat support 3 ;
- b) Former une zone de fragilisation 4 dans le substrat donneur 1, la zone de fragilisation 4 délimitant, avec la première surface 2 du substrat donneur 1, une couche utile 5 ;
- c) Assembler le substrat support 3 et le substrat donneur 1 ;
- 15 d) Fracturer le substrat donneur selon la zone de fragilisation, de sorte à transférer la couche utile 5 sur le substrat support 3 ;
- e) Amincir la couche utile 5 de sorte à obtenir une couche utile amincie 6.

Cependant, le principal inconvénient lié à ce procédé de fabrication de l'état de la technique est que la couche utile amincie 6 présente une non  
20 uniformité en épaisseur.

En effet, l'étape e) d'amincissement comprend généralement une étape d'oxydation partielle de la couche utile 5, suivie d'un retrait de la partie oxydée de la couche utile 5.

L'oxydation oxyde partiellement la couche utile 5 sur une épaisseur non  
25 uniforme. Ainsi, cela se traduit par une variation d'épaisseur de la couche utile amincie 6 après retrait de la partie oxydée de la couche utile 5. La variation d'épaisseur de la couche utile amincie 6 peut excéder 10 Å à l'issue de l'ensemble des étapes.

Ceci est notamment dommageable pour la fabrication de structures du  
30 type Silicium sur isolant pour lesquelles un contrôle de la variation d'épaisseur de la couche de silicium à +/- 5 Å est requis.

Le contrôle de l'épaisseur de la couche utile amincie 6 à l'issue de l'ensemble des étapes du procédé de fabrication reste donc très difficile.

Un but de l'invention est donc de proposer un procédé de fabrication de structures permettant un meilleur contrôle de la variation d'épaisseur de la  
5 couche utile amincie 6.

### BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

La présente invention vise à remédier aux inconvénients précités, et concerne un procédé de fabrication d'une structure composite comprenant les étapes suivantes :

- 10 a) Fournir un substrat donneur et un substrat support, le substrat donneur comprenant une première surface ;
- b) Former une zone de fragilisation dans le substrat donneur, la zone de fragilisation délimitant, avec la première surface du substrat donneur, une couche utile ;
- 15 c) Assembler le substrat support et le substrat donneur ;
- d) Fracturer le substrat donneur selon la zone de fragilisation, de sorte à transférer la couche utile sur le substrat support ;
- e) Amincir la couche utile de sorte à former une couche utile amincie, l'amincissement consommant une épaisseur non uniforme de la couche  
20 utile.

ledit procédé de fabrication étant remarquable en ce que l'étape b) est exécutée de sorte que la couche utile transférée sur le substrat support présente un profil d'épaisseur à l'issue de l'étape d), ledit profil d'épaisseur étant adapté pour compenser, au moins en partie, la non uniformité de  
25 consommation de la couche utile lors de l'étape e), la couche utile amincie étant d'épaisseur sensiblement uniforme à l'issue de l'ensemble des étapes.

Ainsi, la non uniformité du profil en épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d) permet de compenser la non uniformité de l'étape d'amincissement. De fait, la non uniformité de la couche utile amincie à  
30 l'issue de l'étape e) est améliorée.

Selon un mode de mise en œuvre, l'étape e) d'amincissement comprend une étape d'oxydation de la couche utile de sorte à former une couche d'oxyde, l'épaisseur de la couche d'oxyde étant non uniforme, et suivie d'une étape de retrait de ladite couche d'oxyde.

- 5        Selon un mode de mise en œuvre, l'étape b) est exécutée par implantation d'au moins une des deux espèces H ou He.

Ainsi, l'implantation d'au moins une des deux espèces hydrogène ou hélium permet de former une zone de fragilisation.

- 10       Selon un mode de mise en œuvre, la dose totale des espèces implantées est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation, la non uniformité de la dose des espèces implantées étant adaptée pour générer le profil d'épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d) de fracture.

- 15       Ainsi, les conditions d'implantation permettent de définir une zone de fragilisation, et surtout de conditionner le profil d'épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d).

- 20       En effet, la Demanderesse a constaté, de manière inattendue, que l'implantation d'une dose totale d'espèces non uniforme sur toute l'étendue de la zone de fragilisation permet de moduler les variations d'épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d). Une épaisseur excédentaire d'une partie de la couche utile après l'étape d) est observée, lorsque ladite partie est inscrite, à l'issue de l'étape b), dans une région de la zone de fragilisation présentant une dose d'espèces implantées en excès par rapport au reste de la zone de fragilisation.

- 25       Selon un mode de mise en œuvre, la dose d'ions hydrogène implantés est uniforme sur toute l'étendue de la zone de fragilisation, et la dose d'ions hélium implantés est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation.

Ainsi, le profil d'épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d) est conditionné par la dose d'ions hélium implantés.

- 30       Selon un mode de mise en œuvre, la couche d'oxyde formée lors de l'étape e) présente une épaisseur plus importante dans sa partie centrale, et moins importante en allant vers la périphérie annulaire de la couche

d'oxyde, et la dose d'espèces implantées est plus importante dans la partie centrale de la zone de fragilisation et moins importante en allant vers la périphérie annulaire de la zone de fragilisation.

5       Ainsi, la surdose d'espèces implantées dans la partie centrale de la zone de fragilisation permet d'obtenir un profil d'épaisseur bombé de la couche utile à l'issue de l'étape d). Par conséquent, le profil d'épaisseur de la couche utile amincie est sensiblement constant sur toute l'étendue de la couche amincie.

10       Selon un mode de mise en œuvre, la couche d'oxyde formée lors de l'étape e) présente une épaisseur moins importante dans sa partie centrale, et plus importante en allant vers la périphérie annulaire de la couche d'oxyde, et la dose d'espèces implantées lors de l'étape b) est moins importante dans la partie centrale de la zone de fragilisation et plus importante en allant vers la périphérie annulaire de la zone de fragilisation.

15       Ainsi, la surdose d'espèces implantées de la périphérie annulaire de la zone de fragilisation permet d'obtenir un profil d'épaisseur en cuvette de la couche utile à l'issue de l'étape d). Par conséquent, le profil d'épaisseur de la couche utile amincie est sensiblement constant sur toute l'étendue de la couche amincie.

20       Selon un mode de mise en œuvre, l'étape b) est exécutée en deux étapes :

- Première implantation d'espèces, selon une première énergie d'implantation, la dose de la première implantation d'espèces étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation
- 25       - Deuxième implantation d'espèces selon une deuxième énergie d'implantation inférieure à la première énergie d'implantation, la dose de la deuxième implantation d'espèces étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation

La deuxième énergie d'implantation est supérieure à 90% de la première  
30       énergie d'implantation, la dose de la première implantation d'espèces et la dose de la deuxième implantation d'espèces sont complémentaires sur toute

l'étendue de la zone de fragilisation, la non uniformité de la dose de la première implantation d'espèces et la non uniformité de la dose de la deuxième implantation d'espèces étant adaptées pour générer le profil d'épaisseur de la couche utile à l'issue de l'étape d) de fracture.

- 5            Selon un mode de mise en œuvre, les espèces implantées lors de la première implantation et de la deuxième implantation comprennent des ions hydrogène.

             Selon un mode de mise en œuvre, une couche diélectrique est formée sur la première surface du substrat donneur avant l'étape b).

- 10           Selon un mode de mise en œuvre, la couche diélectrique comprend au moins un des matériaux suivant : oxyde de silicium, nitrure de silicium

             Selon un mode de mise en œuvre, le substrat donneur comprend au moins un des matériaux suivant : silicium, germanium, alliage de silicium germanium.

15           **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

             D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description qui va suivre des modes de mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'une structure composite selon l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 20           - Les figures 1 est une représentation schématique d'un procédé de fabrication d'une structure composite selon les techniques connues de l'art antérieur ;
- Les figures 2 et 3 sont des représentations schématiques d'un procédé de fabrication d'une structure composite selon l'invention ;
- 25           - Les figures 4a et 4b sont des représentations schématiques d'une étape d'implantation et d'une étape de fracture selon l'invention ;
- La figure 5 représente un profil d'épaisseur d'une couche utile selon un diamètre obtenue après l'étape de fracture selon l'invention ;
- La figure 6 représente un profil d'épaisseur d'une couche utile selon un diamètre obtenue après l'étape de fracture selon l'invention.
- 30

## DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

Pour les différents modes de mise en œuvre, les mêmes références seront utilisées pour des éléments identiques ou assurant la même fonction,  
5 par souci de simplification de la description.

Les figures 2 et 3 illustrent de manière schématique un procédé de fabrication d'une structure composite.

Pour faciliter l'illustration, les épaisseurs respectives des différentes couches n'ont pas été représentées à l'échelle.

10 L'étape a) du procédé de fabrication de la structure composite comprend la fourniture d'un substrat donneur 10 comprenant une première surface 20, et un substrat support 30.

Le substrat donneur 10 fourni à l'étape a) peut comprendre un des matériaux choisis parmi : silicium, germanium, alliage de silicium germanium.

15 Le substrat support 30 fourni à l'étape a) peut être constitué de tous les matériaux utilisés habituellement dans l'industrie de la micro-électronique, de l'optique, l'optoélectronique et le photovoltaïque.

Notamment, le substrat support 30 comprend au moins un des matériaux sélectionnés dans le groupe suivant: silicium, carbure de silicium,  
20 silicium germanium, le verre, une céramique, un alliage métallique.

Selon un mode de réalisation avantageux, tel qu'illustré à la figure 3, une couche diélectrique 53 peut être formée sur la première surface 20 du substrat donneur 10 entre l'étape a) et l'étape b).

La couche diélectrique 53 peut comprendre au moins un des matériaux  
25 suivant : oxyde de silicium, nitrure de silicium.

Par exemple, la couche diélectrique 53 peut être formée par oxydation thermique d'un substrat donneur 10, le substrat donneur 10 comprenant du silicium. L'oxydation thermique peut être exécutée à une température comprise entre 800°-1100°C, sous une atmosphère oxydante. Par exemple,  
30 l'oxydation thermique d'un substrat donneur 10 comprenant du silicium, à une température de 800°C, sous une atmosphère d'oxygène, permet de

former une couche d'oxyde de silicium. Les techniques de dépôt en phase vapeur à basse pression (« Low pressure chemical vapor deposition » selon la terminologie anglaise), et de dépôt en phase vapeur assisté par plasma (« Plasma enhanced chemical vapor deposition » selon la terminologie anglaise) sont également des techniques de choix pour former la couche diélectrique 53 comprenant de l'oxyde de silicium ou du nitrure de silicium.

L'étape b) du procédé de fabrication de la structure composite comprend la formation d'une zone de fragilisation 40 dans le substrat donneur 10. La zone de fragilisation 40 délimite avec la première surface 20 du substrat donneur 10, une couche utile 50. La couche utile 50 est destinée à être transférée sur le substrat support 30. Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, la zone de fragilisation 40 est formée par implantation d'au moins une des espèces choisie parmi : les ions hydrogène, les ions hélium. La formation de la zone de fragilisation 40 sera détaillée par la suite lors de la description des différents modes de réalisation.

L'étape b) est alors suivie d'une étape c) comprenant l'assemblage du substrat support 30 et du substrat donneur 10. L'assemblage peut, par exemple être exécuté par collage moléculaire. Selon un premier mode de réalisation, illustré à la figure 2, l'étape d'assemblage peut être réalisée par mise en contact de la première surface 20 du substrat donneur avec le substrat support 30. De manière alternative, tel qu'illustré à la figure 3, lorsque la couche diélectrique 53 est formée sur la première surface 20 du substrat donneur 10, l'étape d'assemblage peut être réalisée par mise en contact de la couche diélectrique 53 et du substrat support 30.

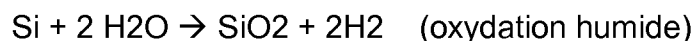
L'étape c) est suivie d'une étape d) de fracture du substrat donneur 10 selon la zone de fragilisation. A l'issue de l'étape de fracture la couche utile 50 est transférée sur le substrat support 30. De manière avantageuse, la couche diélectrique 53 a été formée sur la première surface 20 du substrat donneur 10, et à l'issue de l'étape d) de fracture, la couche utile 50 et la couche diélectrique 53 sont transférées sur le substrat support 30. L'étape

d) de fracture peut être exécutée par un traitement thermique à une température comprise entre 300-500°C pendant une durée comprise entre 30minutes et 24 heures.

L'étape d) est suivie d'une étape e) d'amincissement de la couche utile  
5 50. L'amincissement de la couche utile 50 conduit à une couche utile amincie 51. L'amincissement consomme une épaisseur non uniforme de la couche utile 50.

L'amincissement de la couche utile 50 est avantageusement exécuté par une étape de d'oxydation sacrificielle. Il s'agit d'un traitement de surface  
10 qui vise à créer une couche d'oxyde 52 sur la surface et dans la partie supérieure de la couche utile 50. L'oxydation d'une couche utile comprenant du silicium est ainsi généralement pratiquée entre 800-1000°C.

Ce procédé peut utiliser notamment de la vapeur d'eau (on parle alors d'oxydation humide), ou encore du dioxygène (on parle alors d'oxydation  
15 sèche). Les réactions correspondantes sont :



L'oxydation humide est plus rapide mais permet d'obtenir un oxyde d'une qualité inférieure à celui obtenu par l'oxydation sèche.

20 Le gaz oxydant peut aussi contenir quelques pourcents d'acide chlorhydrique (HCl), afin de supprimer les ions métalliques qui peuvent s'y trouver.

La couche d'oxyde 52 est formée à la fois par une consommation de la couche utile 50 et par l'oxygène apporté par le gaz ambiant.

25 Selon l'épaisseur désirée de la couche d'oxyde 52 et la température d'oxydation, le temps d'oxydation est généralement compris entre quelques minutes et quelques heures.

L'épaisseur globale de la couche d'oxyde 52 formée est généralement comprise entre 50 et 500 nm, typiquement entre 100 et 400 nm.

30 L'oxydation thermique du silicium est souvent pratiquée à l'aide de fours comprenant un ou plusieurs tubes, dans lesquels les structures

composites à traiter sont chargées. Pour des structures composites de type silicium sur isolant de grand diamètre, l'oxydation est plus uniforme si elle est pratiquée dans des fours à tubes verticaux, dans lesquels les structures composites sont placées horizontalement, les unes en dessous des autres.

5 On constate toutefois que l'épaisseur de la couche d'oxyde 52 n'est pas uniforme sur toute son étendue

Ainsi, à titre d'exemple, dans le cas d'une couche utile 50 comprenant du silicium, une couche d'oxyde 52 dont l'épaisseur dans sa partie centrale est de l'ordre de 1500 Å, aura une épaisseur dans sa partie annulaire  
10 périphérique de l'ordre de 1485 Å et une telle couche dont l'épaisseur dans sa partie centrale est de l'ordre de 500 Å aura une épaisseur dans sa partie annulaire périphérique de l'ordre de 485 Å .

De telles variations d'épaisseur peuvent être observées par exemple à l'aide d'un ellipsomètre.

15 Le retrait de la couche d'oxyde 52 ou "désoxydation sacrificielle" est une gravure généralement pratiquée par voie humide.

Dans le cas du retrait d'une couche d'oxyde de silicium, l'agent assurant la gravure chimique est à base d'acide fluorhydrique (HF). Après le retrait de la couche d'oxyde de silicium 52, on obtient une couche utile  
20 amincie 51 en silicium.

On notera que dans certaines conditions, il est également possible d'obtenir l'inverse, c'est-à-dire une couche d'oxyde 52 plus épaisse à sa périphérie qu'en son centre (c'est-à-dire concave). Toutefois, ce cas est beaucoup moins fréquent que le précédent.

25 Parmi les paramètres susceptibles de conduire à une oxydation plus épaisse au centre, ou à l'inverse au bord, on trouve par exemple la pression partielle et le débit des différents gaz injectés lors de l'oxydation, la rampe éventuelle de température lors de l'oxydation (à l'origine d'un gradient éventuel de température entre le bord et le centre des plaques) ou la  
30 position dans le four.

Nous allons maintenant décrire les différents modes de mise en oeuvre de l'étape b) de formation de la zone de fragilisation 40. L'étape b) est exécutée de sorte que la couche utile 50 transférée sur le substrat support 20 présente un profil d'épaisseur à l'issue de l'étape d), ledit profil d'épaisseur étant adapté pour compenser, au moins en partie, la non uniformité de consommation de la couche utile 50 lors de l'étape e), la couche utile amincie 51 étant d'épaisseur sensiblement uniforme à l'issue de l'ensemble des étapes.

En particulier, le profil d'épaisseur de la couche utile 50, à l'issue de l'étape de fracture d), est adapté pour compenser la non uniformité d'une étape d'oxydation sacrificielle exécutée à l'étape e).

Par compenser la non uniformité, on entend générer un profil d'épaisseur de la couche utile 50 de sorte à ce qu'à l'issue de l'étape d'amincissement, la couche utile amincie 51 présente une épaisseur essentiellement constante sur son étendue.

#### **Premier mode de réalisation de l'étape b)**

Selon un premier mode de réalisation, la formation de la zone de fragilisation 40 est exécutée par implantation d'au moins une des espèces choisie parmi : les ions hydrogène, les ions hélium. La dose totale des espèces implantées est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation 40, et la non uniformité de la dose des espèces implantées est adaptée pour générer le profil d'épaisseur non uniforme de la couche utile 50 à l'issue de l'étape d) de fracture.

Par dose d'espèces implantée, on entend la quantité d'espèces implantées par unité de surface de zone de fragilisation 40. La dose d'espèces implantées se mesure en atomes par  $\text{cm}^2$ .

L'étape d'implantation est avantageusement exécutée par un équipement d'implantation mono substrat (« Single wafer implant » selon la terminologie anglaise). Par opposition aux équipements d'implantation par lots (« batch wafer implant » selon la terminologie anglaise), un équipement

d'implantation mono substrat permet d'implanter une dose non uniforme d'espèces sur toute l'étendue de la zone de fragilisation 40.

La Demanderesse a constaté que le profil en épaisseur de la couche utile 50 à l'issue de l'étape de fracture dépend de l'uniformité de la dose d'espèces implantées sur toute l'étendue de la zone de fragilisation 40.

Une épaisseur excédentaire d'une partie de la couche utile 50 après l'étape d) est observée, lorsque ladite partie est inscrite, à l'issue de l'étape b), dans une région de la zone de fragilisation 40 présentant une dose d'espèces implantées en excès par rapport au reste de la zone de fragilisation 40. Par conséquent, une surdose d'espèces implantées dans une région de la zone de fragilisation 40 permet de générer une surépaisseur de la couche utile 50 à l'issue de l'étape d) au niveau de ladite région de la zone de fragilisation 40.

Ainsi, tel que représenté aux figures 4a et 4b, une région A de la zone de fragilisation 40 présente une surdose d'espèces implantées par rapport au reste de la zone de fragilisation 40. La portion 54 de la couche utile 50 inscrite dans ladite région A à l'étape b), présentera, à l'issue de l'étape d), une épaisseur plus importante que le reste de la couche utile 50.

A titre d'exemple, la figure 5 illustre le profil d'épaisseur d'une couche de silicium transférée sur un substrat support. Dans ce cas particulier les conditions d'implantation sont les suivantes :

- Implantation d'ions hydrogène à une énergie autour de 20keV et une dose autour de  $1 \times 10^{16}$  atomes/cm<sup>2</sup> et constante sur toute l'étendue de zone de fragilisation
- Implantation d'ions hélium à une énergie autour de 30keV avec une surdose de 3% sur la partie centrale sur un diamètre de l'ordre de 100mm.

On constate alors qu'après l'étape de fracture d), la couche utile 50 en silicium présente une épaisseur plus importante au centre qu'en sa zone périphérique annulaire. Le profil en épaisseur de la couche utile est alors qualifié de profil bombé.

Par exemple, lorsque la couche d'oxyde 52, formée lors de l'étape e) d'amincissement présente un profil d'épaisseur bombé, il est avantageux d'implanter une dose d'espèces plus importante dans la partie centrale de la zone de fragilisation (40) et moins importante en allant vers la périphérie annulaire de la zone de fragilisation (40). La dose d'espèces implantées dans la partie centrale de la zone de fragilisation 40 peut être supérieure entre 2 à 9%, préférentiellement entre 3 et 6%, à la dose d'espèces implantés dans la périphérie annulaire de la zone de fragilisation. Ainsi, la couche utile amincie 51 présentera une uniformité d'épaisseur améliorée par rapport à l'état de la technique. Par uniformité d'épaisseur améliorée, on entend des variations d'épaisseurs plus faibles.

Inversement, lorsque la couche d'oxyde 52, formée lors de l'étape e) d'amincissement présente un profil d'épaisseur en cuvette, il est avantageux d'implanter une dose d'espèces plus importante dans la périphérie annulaire de la zone de fragilisation 40 et moins importante partie centrale de la zone de fragilisation 40. La dose d'espèces implantées dans la périphérie annulaire de la zone de fragilisation 40 peut être supérieure entre 2 à 9%, préférentiellement entre 3 et 6%, à la dose d'espèces implantés dans la partie centrale de la zone de fragilisation 40. Ainsi, la couche utile amincie 51 présentera une uniformité d'épaisseur améliorée par rapport à l'état de la technique. Par uniformité d'épaisseur améliorée, on entend des variations d'épaisseurs plus faibles.

De manière particulièrement avantageuse, le dose d'ions hydrogène implantés dans la zone de fragilisation 40 est constante sur toute l'étendue de la zone de fragilisation 40, et la dose d'ions hélium implantés est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation 40. Ainsi, le profil d'épaisseur de la couche utile est conditionné par la non uniformité de dose des ions hélium implantés.

#### **Deuxième mode de réalisation de l'étape b)**

Selon un second mode de réalisation, l'étape b) est exécutée en deux étapes :

- Première implantation d'espèces, selon une première énergie d'implantation, la dose de la première implantation d'espèces étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation 40
- Deuxième implantation d'espèces selon une deuxième énergie d'implantation inférieure à la première énergie d'implantation, la dose de la deuxième implantation d'espèces étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation 40

La deuxième énergie d'implantation est supérieure à 90% de la première énergie d'implantation. La dose de la première implantation d'espèces et la dose de la deuxième implantation d'espèces sont complémentaires sur toute l'étendue de la zone de fragilisation 40. La non uniformité de la dose de la première implantation d'espèces et la non uniformité de la dose de la deuxième implantation d'espèces sont adaptées pour générer le profil d'épaisseur de la couche utile 50 à l'issue de l'étape d) de fracture.

La dose d'espèces implantées se mesure en atomes par  $\text{cm}^2$ .

L'étape d'implantation est avantageusement exécutée par un équipement d'implantation mono substrat (« Single wafer implant » selon la terminologie anglaise). Par opposition aux équipements d'implantation par lots (« batch wafer implant » selon la terminologie anglaise), un équipement d'implantation mono substrat permet d'implanter une dose non uniforme d'espèces sur toute l'étendue de la zone de fragilisation 40.

A titre d'exemple, la première implantation est une implantation d'ions hydrogène à une énergie d'implantation égale à 24.07 keV. La dose d'ions hydrogène implanté lors de la première implantation est égale à environ  $1 \times 10^{16}$  atomes/ $\text{cm}^2$  sur une partie centrale de la zone de fragilisation 40 de diamètre 200mm, et environ  $0.5 \times 10^{16}$  à  $0.6 \times 10^{16}$  atomes/ $\text{cm}^2$  sur le reste de la zone de fragilisation 40. La deuxième implantation est une implantation d'ions hydrogène à une énergie d'implantation égale à 23.08 keV. La dose d'ion hydrogène lors de la deuxième implantation est égale à  $0.5 \times 10^{16}$  à  $0.6 \times 10^{16}$  atomes/ $\text{cm}^2$  sur une partie centrale de la zone de fragilisation 40 de

diamètre 200mm, et de autour de  $1 \times 10^{16}$  atomes/cm<sup>2</sup> sur le reste de la zone de fragilisation 40. On constate alors qu'après l'étape de fracture d), tel que représenté à la figure 6, la couche utile 52 en silicium présente une épaisseur moins importante au centre qu'en sa zone périphérique annulaire.

- 5 Le profil en épaisseur de la couche utile est alors qualifié de profil en cuvette.

De manière particulièrement avantageuse, la non uniformité de l'étape e) d'amincissement peut être déterminée préalablement à la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Pour une étape d'amincissement e) exécutée par oxydation sacrificielle, cela peut consister à oxyder thermiquement un substrat donneur 10 ou une couche utile 50, et à mesurer le profil d'épaisseur ainsi formé avec un équipement de mesure d'épaisseur de couches, par exemple un ellipsomètre. La connaissance du profil d'épaisseur de la couche d'oxyde formée lors de l'étape d'amincissement, permet alors d'ajuster l'étape de formation de la zone de fragilisation pour la production de structures composites en volume.

Plus particulièrement, les fours d'oxydation thermique présentent une relativement bonne stabilité thermique de nos jours. Par conséquent, une étape d'oxydation thermique reproduite à plusieurs reprises produira des couches d'oxyde présentant toujours sensiblement le même profil en épaisseur. Le procédé selon la présente invention sera alors avantageusement mis en œuvre pour la production en volume de structures composites de type silicium sur isolant.

25 Par ailleurs, le procédé selon l'invention, permet de fabriquer des structures composites, et plus particulièrement des structure de silicium sur isolant, pour lesquelles la couche utile amincie 51 présente des variations d'épaisseurs réduites par rapport à l'état de la technique.

## REVENDICATIONS

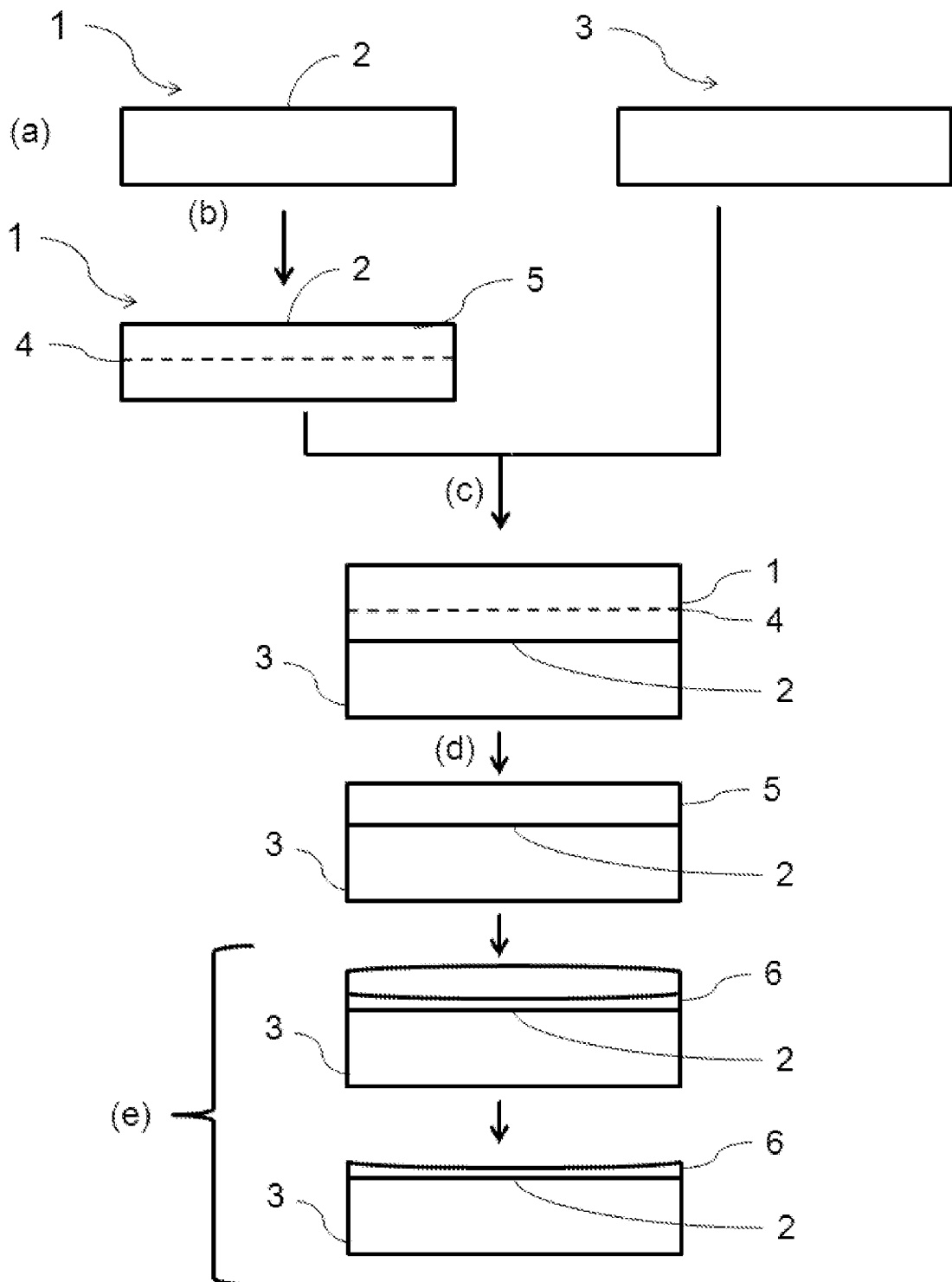
1. Procédé de fabrication d'une structure composite comprenant les étapes suivantes :
- 5 a) Fournir un substrat donneur (10), et un substrat support (30), le substrat donneur comprenant une première surface (20) ;
- b) Former une zone de fragilisation (40) dans le substrat donneur (10), la zone de fragilisation (40) délimitant, avec la première surface (20) du substrat donneur (10), une couche utile (50) ;
- 10 c) Assembler le substrat support (30) et le substrat donneur (10) ;
- d) Fracturer le substrat donneur selon la zone de fragilisation, de sorte à transférer la couche utile (50) sur le substrat support (30) ;
- e) Amincir la couche utile (50) de sorte à former une couche utile amincie (51), l'amincissement consommant une épaisseur non uniforme de la
- 15 couche utile (50).
- Ledit procédé de fabrication **étant caractérisé en ce que** l'étape b) comporte une étape d'implantation d'une dose non uniforme sur toute l'étendue de la zone de fragilisation de sorte que la couche utile (50) transférée sur le substrat support (20) présente un profil d'épaisseur à
- 20 l'issue de l'étape d) adapté pour compenser, au moins en partie, la non uniformité de consommation de la couche utile (50) lors de l'étape e), la couche utile amincie (51) étant d'épaisseur sensiblement uniforme à l'issue de l'ensemble des étapes.
- 25 2. Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel l'étape e) d'amincissement comprend une étape d'oxydation de la couche utile (50) de sorte à former une couche d'oxyde (52), l'épaisseur de la couche d'oxyde (52) étant non uniforme, et suivie d'une étape de retrait de ladite couche d'oxyde (52).

3. Procédé de fabrication selon la revendication 2, dans lequel l'étape b) est exécutée par implantation d'au moins une des deux espèces H ou He.
4. Procédé de fabrication selon la revendication 3, dans lequel la dose totale des espèces implantées est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation (40), la non uniformité de la dose des espèces implantées étant adaptée pour générer le profil d'épaisseur de la couche utile (50) à l'issue de l'étape d) de fracture.
5. Procédé de fabrication selon la revendication 4, dans lequel l'étape b) est exécutée par implantation d'ions hydrogène et d'ions hélium et dans lequel la dose d'ions hydrogène implantés est uniforme sur toute l'étendue de la zone de fragilisation (40), et la dose d'ions hélium implantés est non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation (40).
6. Procédé de fabrication selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la couche d'oxyde (52) formée lors de l'étape e) présente une épaisseur plus importante dans sa partie centrale, et moins importante en allant vers la périphérie annulaire de la couche d'oxyde (52), et la dose d'espèces implantées est plus importante dans la partie centrale de la zone de fragilisation et moins importante en allant vers la périphérie annulaire de la zone de fragilisation.
7. Procédé de fabrication selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la couche d'oxyde (52) formée lors de l'étape e) présente une épaisseur moins importante dans sa partie centrale, et plus importante en allant vers la périphérie annulaire de la couche d'oxyde (52), et la dose d'espèces implantées lors de l'étape b) est moins importante dans la partie centrale de la zone de fragilisation et plus importante en allant vers la périphérie annulaire de la zone de fragilisation.

8. Procédé de fabrication selon la revendication 3, dans lequel l'étape b) est exécutée en deux étapes :
- Première implantation d'espèces, selon une première énergie d'implantation, la dose de la première implantation d'espèce étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation (40)
  - Deuxième implantation d'espèces selon une deuxième énergie d'implantation inférieure à la première énergie d'implantation, la dose de la deuxième implantation d'espèce étant non uniforme sur l'étendue de la zone de fragilisation (40)
- 10 La deuxième énergie d'implantation étant supérieure à 90% de la première énergie d'implantation, la dose de la première implantation d'espèces et la dose de la deuxième implantation d'espèces étant complémentaires sur toute l'étendue de la zone de fragilisation (40), la non uniformité de la dose de la première implantation d'espèces et la non uniformité de la dose de la deuxième implantation d'espèces étant adaptées pour générer le profil d'épaisseur de la couche utile (50) à l'issue de l'étape d) de fracture.
9. Procédé de fabrication selon la revendication 8, dans lequel les espèces implantées lors de la première implantation et de la deuxième implantation comprennent des ions hydrogène.
10. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel une couche diélectrique (53) est formée sur la première surface du substrat donneur avant l'étape b).
11. Procédé de fabrication selon la revendication 9, dans lequel la couche diélectrique (53) comprend au moins un des matériaux suivant : oxyde de silicium, nitrure de silicium

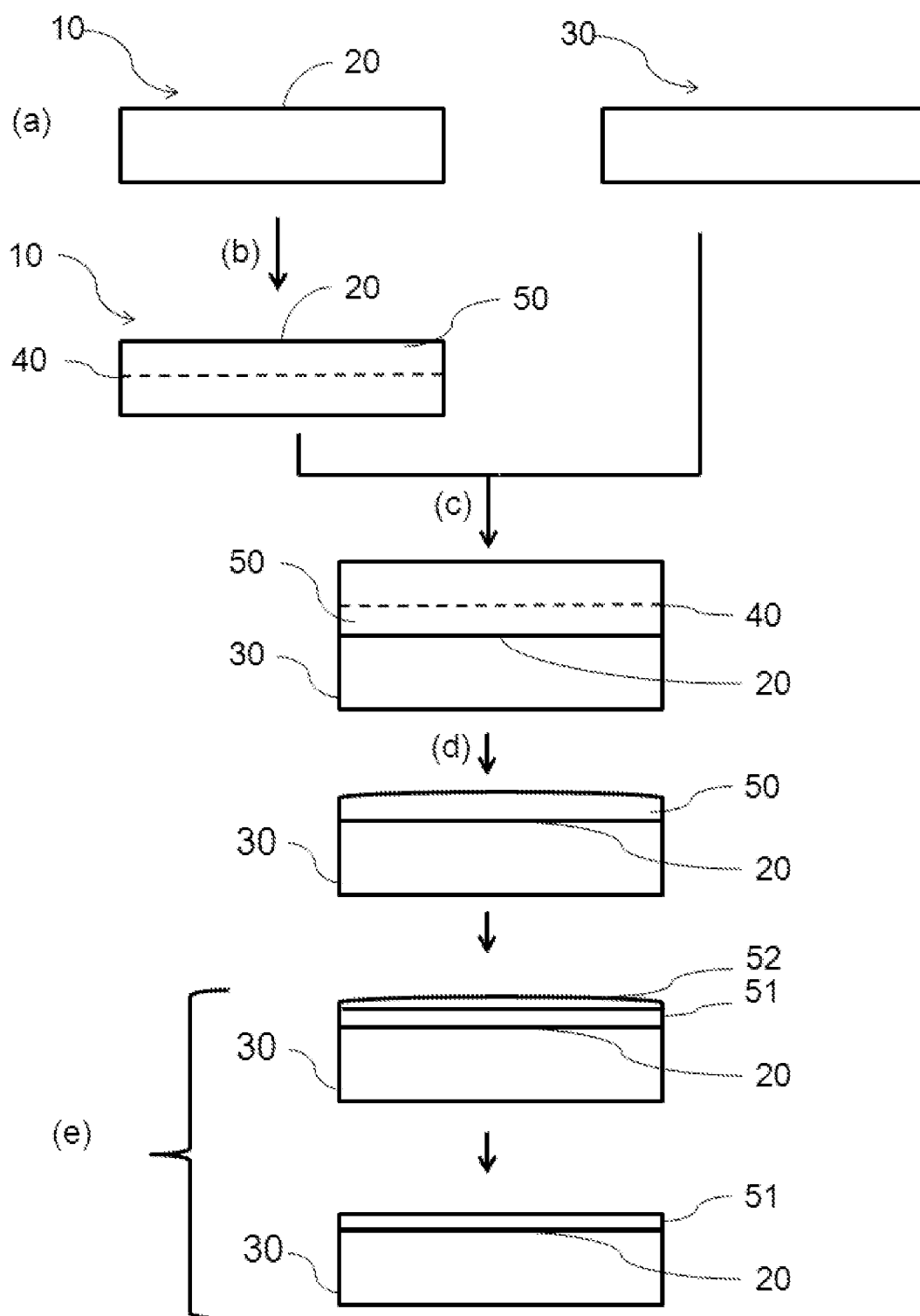
12. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le substrat donneur (10) comprend au moins un des matériaux suivant : silicium, germanium, alliage de silicium germanium.

1/5

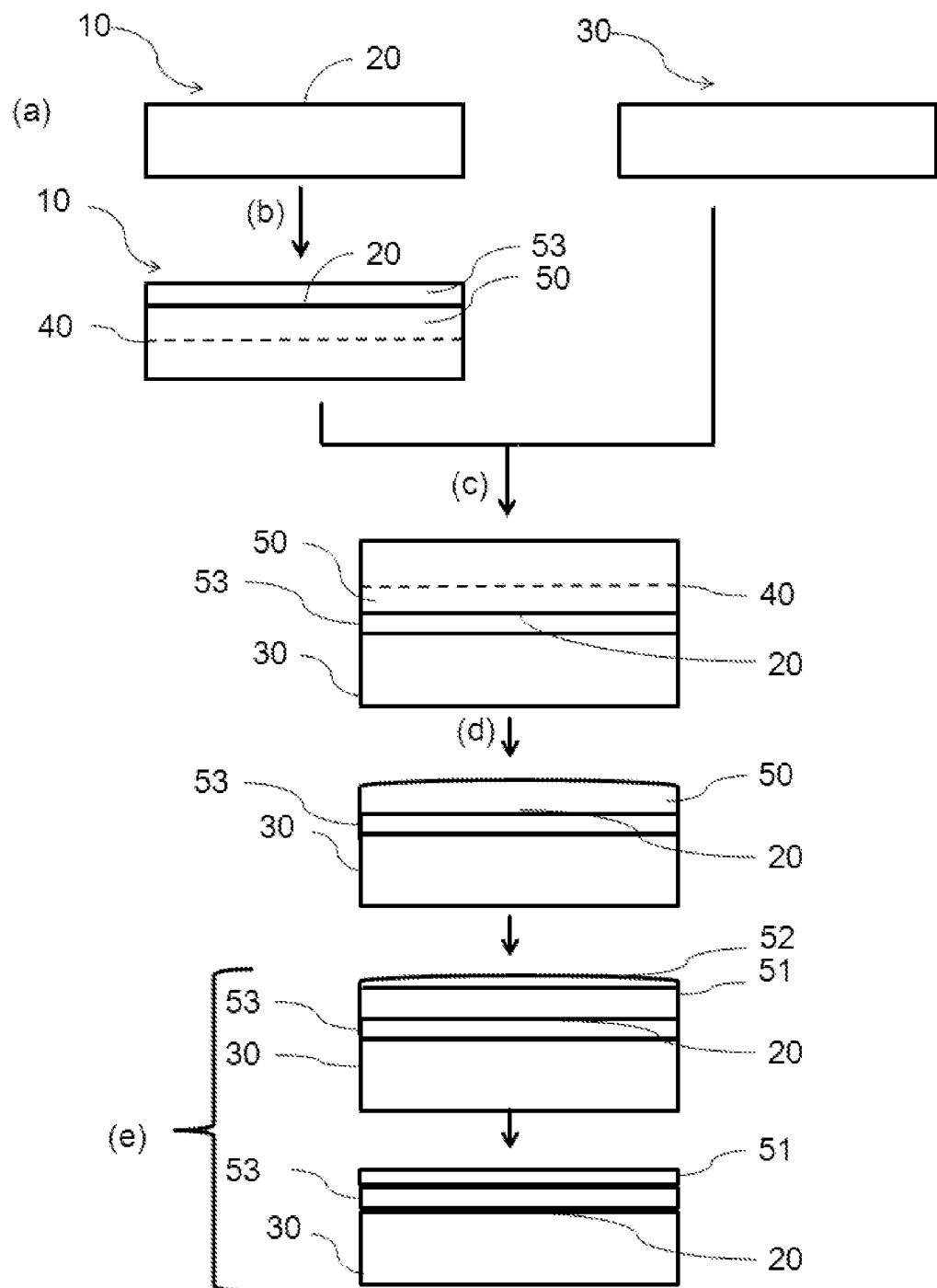


**Fig 1 Art Antérieur**

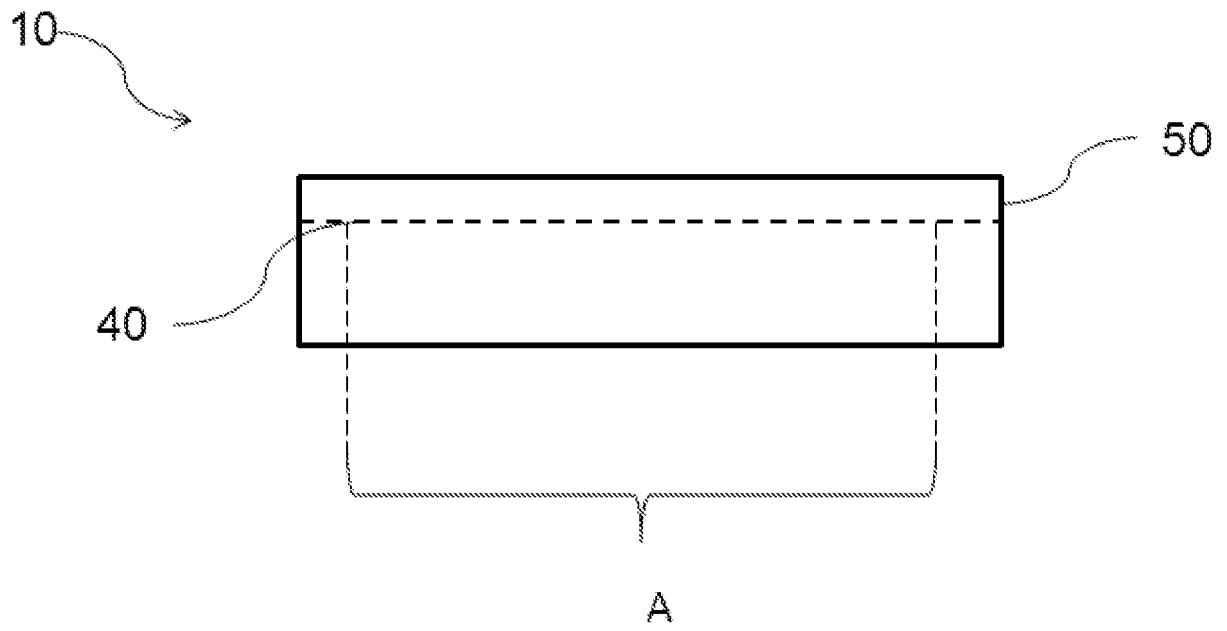
2/5

**Fig 2**

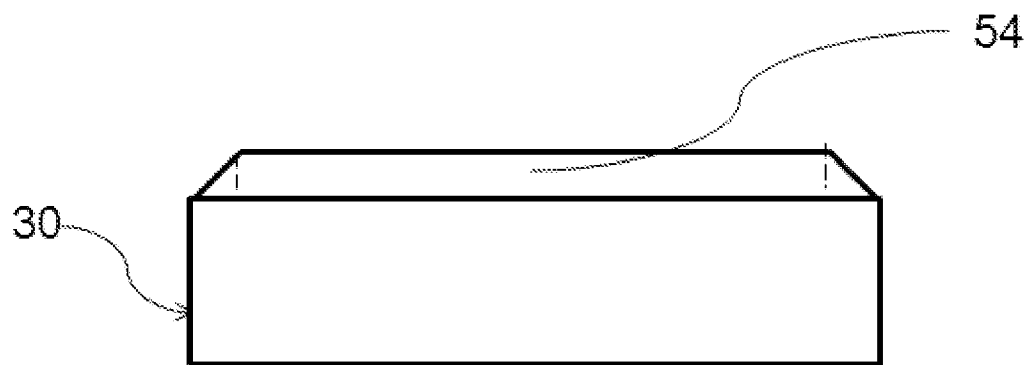
3/5

**Fig 3**

4/5



**Fig 4A**



**Fig 4B**

5/5

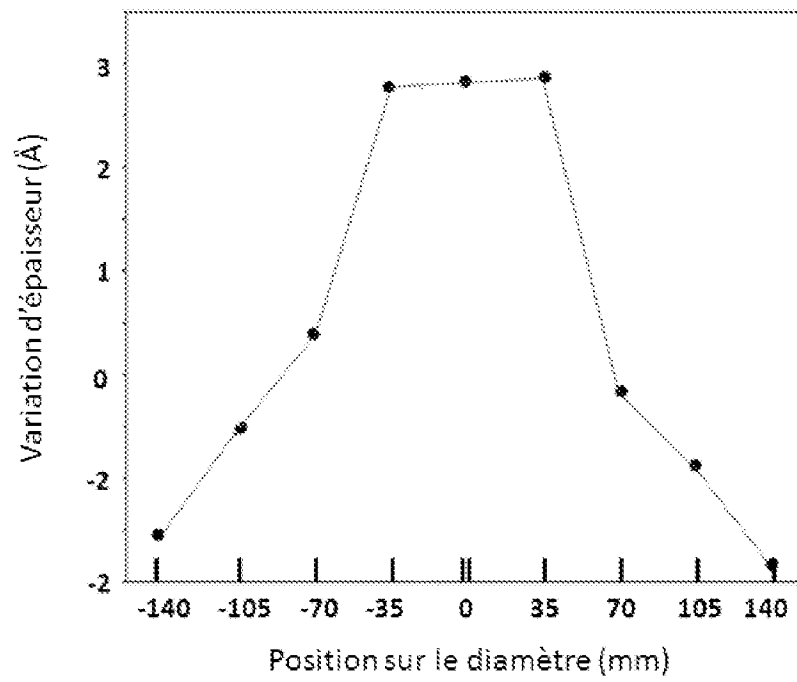


Fig 5

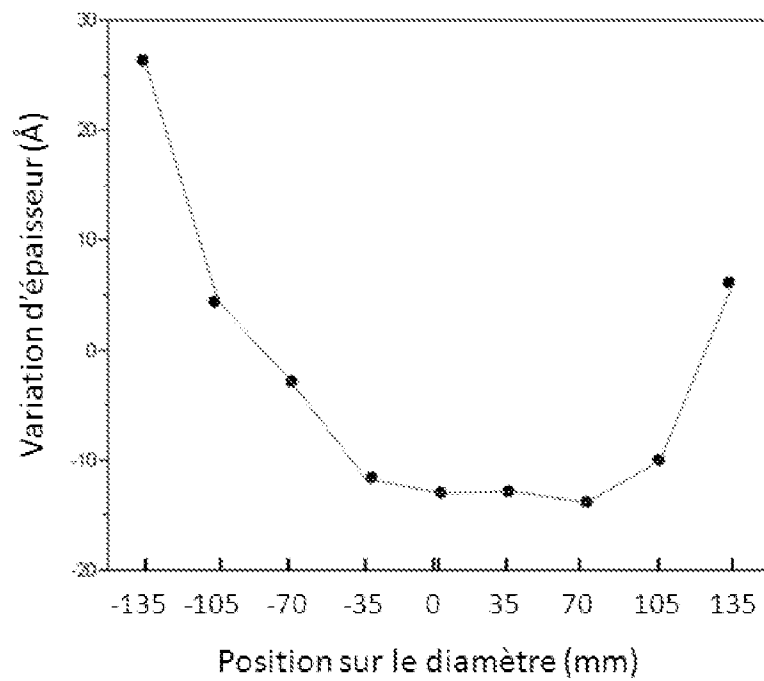


Fig 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2014/051487

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. 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	EP 1 705 704 A1 (SUMCO CORP [JP]) 27 September 2006 (2006-09-27) paragraph [0032] - paragraph [0038]; figure 1	1-12
X	FR 2 797 714 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 23 February 2001 (2001-02-23) page 2, line 23 - page 12, line 2; figures 1,3,6 ----- -/--	1-12



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

13 October 2014

Date of mailing of the international search report

20/10/2014

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/FR2014/051487

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SANO Y ET AL: "Ultraprecision finishing technique by numerically controlled sacrificial oxidation", JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 310, no. 7-9, 1 April 2008 (2008-04-01), pages 2173-2177, XP022697602, ISSN: 0022-0248, DOI: 10.1016/J.JCRYSGRO.2007.11.094 [retrieved on 2007-11-22] paragraphs [0002], [0004]; figures 1,3,4 -----	1-12
A	US 2005/148163 A1 (NGUYEN NGUYET-PHUONG [FR] ET AL) 7 July 2005 (2005-07-07) paragraphs [0014] - [0039] -----	8,9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2014/051487

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1705704	A1	27-09-2006	EP 1705704 A1 27-09-2006
			JP 4285244 B2 24-06-2009
			JP 2005197524 A 21-07-2005
			US 2007190737 A1 16-08-2007
			WO 2005067053 A1 21-07-2005
-----			
FR 2797714	A1	23-02-2001	EP 1208593 A1 29-05-2002
			FR 2797714 A1 23-02-2001
			JP 4582982 B2 17-11-2010
			JP 2003510799 A 18-03-2003
			KR 100752467 B1 24-08-2007
			MY 125775 A 30-08-2006
			TW 530378 B 01-05-2003
			US 2004115905 A1 17-06-2004
			US 2005208322 A1 22-09-2005
			WO 0115218 A1 01-03-2001
-----			
US 2005148163	A1	07-07-2005	NONE
-----			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2014/051487

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. H01L21/762 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> 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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 705 704 A1 (SUMCO CORP [JP]) 27 septembre 2006 (2006-09-27) alinéa [0032] - alinéa [0038]; figure 1 -----	1-12
X	FR 2 797 714 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 23 février 2001 (2001-02-23) page 2, ligne 23 - page 12, ligne 2; figures 1,3,6 ----- <div style="text-align: right;">-/--</div>	1-12
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div style="width: 45%;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
13 octobre 2014	20/10/2014	
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	<p>SANO Y ET AL: "Ultraprecision finishing technique by numerically controlled sacrificial oxidation", JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 310, no. 7-9, 1 avril 2008 (2008-04-01), pages 2173-2177, XP022697602, ISSN: 0022-0248, DOI: 10.1016/J.JCRYSGRO.2007.11.094 [extrait le 2007-11-22] alinéas [0002], [0004]; figures 1,3,4</p> <p>-----</p>	1-12
A	<p>US 2005/148163 A1 (NGUYEN NGUYET-PHUONG [FR] ET AL) 7 juillet 2005 (2005-07-07) alinéas [0014] - [0039]</p> <p>-----</p>	8,9

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2014/051487

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1705704	A1	27-09-2006	EP 1705704 A1	27-09-2006
			JP 4285244 B2	24-06-2009
			JP 2005197524 A	21-07-2005
			US 2007190737 A1	16-08-2007
			WO 2005067053 A1	21-07-2005
-----				
FR 2797714	A1	23-02-2001	EP 1208593 A1	29-05-2002
			FR 2797714 A1	23-02-2001
			JP 4582982 B2	17-11-2010
			JP 2003510799 A	18-03-2003
			KR 100752467 B1	24-08-2007
			MY 125775 A	30-08-2006
			TW 530378 B	01-05-2003
			US 2004115905 A1	17-06-2004
			US 2005208322 A1	22-09-2005
			WO 0115218 A1	01-03-2001
-----				
US 2005148163	A1	07-07-2005	AUCUN	
-----				