

DESCRIPTION

TITRE : PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE UTILE SUR UNE
SUBSTRAT SUPPORT

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine de la microélectronique. Elle concerne en particulier un procédé de transfert d'une couche utile sur un substrat support.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

On connaît de l'état de la technique un procédé de transfert d'une couche utile 3 sur un substrat support 4, représenté sur la figure 1 ; ce procédé décrit notamment dans les documents WO2005043615 et WO2005043616 et désigné par la dénomination « Smart Cut™ » comprend les étapes suivantes :

- la formation d'un plan fragile enterré 2 par implantation d'espèces légères dans un substrat donneur 1 de manière à former une couche utile 3 entre ce plan et une surface du substrat donneur ;
- puis, l'assemblage du substrat donneur 1 sur un substrat support 4 pour former une structure collée 5 ;
- puis, l'application d'un traitement thermique à la structure collée 5 pour fragiliser le plan fragile enterré ;
- et enfin, l'initiation et propagation auto-entretenue d'une onde de fracture dans le substrat donneur 1, le long du plan fragile enterré 2.

Dans ce procédé, les espèces implantées au niveau du plan fragile enterré 2 sont à l'origine du développement de microcavités. Le

traitement thermique de fragilisation a pour effet de favoriser la croissance et la mise sous pression de ces microcavités. Par l'intermédiaire d'efforts extérieurs additionnels (impulsion d'énergie), appliqués après le traitement thermique, l'initiation d'une onde de fracture dans le plan fragile enterré 2 est opérée, laquelle onde se propage de manière auto-entretenue, menant au transfert de la couche utile 3 par détachement au niveau du plan fragile enterré 2. Un tel procédé, permet notamment de diminuer la rugosité de surface après transfert.

Ce procédé peut être utilisé pour la fabrication de substrats de silicium sur isolant (SOI - « Silicon on insulator »). Dans ce cas, le substrat donneur 1 et le substrat support 4 sont chacun formés d'une plaquette de silicium dont le diamètre normalisé est typiquement de 200mm, 300mm, voire même 450 mm pour les prochaines générations. L'un et/ou l'autre du substrat donneur 1 et du substrat support 4 sont oxydés en surface.

Les substrats SOI doivent respecter des spécifications très précises. C'est particulièrement le cas pour l'épaisseur moyenne et l'uniformité d'épaisseur de la couche utile 3. Le respect de ces spécifications est requis pour le bon fonctionnement des dispositifs semi-conducteurs qui seront formés dans et sur cette couche utile 3.

Dans certains cas, l'architecture de ces dispositifs semi-conducteurs nécessite de disposer de substrats SOI présentant une épaisseur moyenne de la couche utile 3 très faible, par exemple inférieure à 50 nm, et présentant une très bonne uniformité d'épaisseur de la couche utile 3. L'uniformité d'épaisseur attendue peut être de l'ordre de 5% au maximum, correspondant à des variations allant typiquement de +/- 0,3nm à +/- 1nm sur toute la surface de la couche utile 3. Même si des étapes complémentaires de finition, comme des gravures ou des traitements thermiques de lissage de surface, sont réalisées

après que la couche utile 3 soit transférée sur le substrat support 4, il est important que les propriétés morphologiques de surface (en particulier, uniformité d'épaisseur et rugosité de surface) soient les plus favorables possibles après transfert, pour garantir la tenue des spécifications finales.

La demanderesse a observé que, lorsque l'initiation de l'onde de fracture est réalisée après le traitement thermique, à température ambiante, par une impulsion d'énergie appliquée au plan fragile enterré 2, certaines couches utiles 3 peuvent comporter, après transfert, des motifs irréguliers de type marbrure se traduisant par des variations locales d'épaisseur dont l'amplitude est de l'ordre du nm ou du demi-nanomètre. Ces marbrures peuvent être réparties sur la totalité de la couche utile 3, ou sur une partie seulement. Elles contribuent à la non-uniformité de la couche utile 3.

Ce type de non-uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 est très difficile à éliminer par les techniques usuelles de finition (gravure, oxydation sacrificielle, traitement thermique de lissage) car ces dernières ne sont pas efficaces pour gommer des motifs irréguliers de cette amplitude.

OBJET DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de transfert d'une couche utile sur un substrat support et vise notamment à améliorer l'uniformité d'épaisseur des couches utiles transférées.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche utile sur un substrat support, comprenant les étapes suivantes :

- a) la fourniture d'un substrat donneur comportant un plan fragile enterré, la couche utile étant délimitée par une face avant du substrat donneur et le plan fragile enterré ;
- b) la fourniture d'un substrat support ;
- c) l'assemblage, selon une interface de collage, du substrat donneur, au niveau de sa face avant, et du substrat support, pour former une structure collée ;
- d) le recuit de la structure collée pour lui appliquer un budget thermique de fragilisation et amener le plan fragile enterré jusqu'à un niveau de fragilisation défini, ledit recuit atteignant une température de palier maximale ;
- e) l'initiation d'une onde de fracture dans le plan fragile enterré, par application d'une contrainte à la structure collée, l'onde de fracture se propageant de manière auto-entretenu le long du plan fragile enterré pour mener au transfert de la couche utile sur le substrat support ;

Le procédé de transfert est remarquable en ce que l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la structure collée subit un gradient thermique définissant une région chaude et une région froide de ladite structure collée, la contrainte étant localement exercée dans la région froide, et la région chaude subissant une température inférieure à la température de palier maximale.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toutes combinaisons techniquement réalisables :

- le gradient thermique est choisi entre 20°C et 100°C, préférentiellement entre 60°C et 90°C, encore préférentiellement autour de 80°C ;

- la température de palier maximale est comprise entre 300°C et 600°C ;
- l'étape d) de recuit est opérée dans un équipement de traitement thermique et l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la structure collée sort dudit équipement de traitement thermique ;
- l'équipement de traitement thermique est un four de configuration horizontale ou verticale, adapté pour le traitement collectif d'une pluralité de structures collées ;
- l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la région chaude de la structure collée subit une température comprise entre 150°C et 250°C ;
- le budget thermique de fragilisation est compris entre 40% et 95% d'un budget thermique de fracture, le budget thermique de fracture étant celui qui mène à une initiation spontanée de l'onde de fracture dans le plan fragile enterré au cours du recuit ;
- la contrainte est exercée en périphérie de la structure collée, par insertion d'un biseau, en vis-à-vis de l'interface de collage de la structure collée, entre des bords chanfreinés respectivement du substrat donneur et du substrat support de ladite structure collée ;
- le substrat donneur et le substrat support sont en silicium monocristallin, et dans lequel le plan

fragile enterré est formé par implantation ionique d'espèces légères dans le substrat donneur, lesdites espèces légères étant choisies parmi l'hydrogène et l'hélium ou une combinaison d'hydrogène et d'hélium.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

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

[Fig. 1] La figure 1 présente un procédé de transfert d'une couche mince selon l'état de la technique ;

[Fig. 2] La figure 2 présente un procédé de transfert conforme à l'invention ;

[Fig. 3a]

[Fig. 3b] Les figures 3a et 3b présentent des cartographies de « haze » en surface de couches utiles comportant des non-uniformités d'épaisseur après transfert ;

[Fig. 4] La figure 4 présente une cartographie de « haze » en surface d'une couche utile transférée par un procédé de transfert conforme à l'invention ;

[Fig. 5] La figure 5 présente une étape d'un procédé de transfert conforme à l'invention ;

[Fig. 6] La figure 6 présente un graphe montrant l'évolution des températures et du gradient thermique vus par une structure collée dans une étape d'un procédé de transfert conforme à l'invention ;

[Fig. 7] La figure 7 présente une étape d'un procédé de transfert conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Dans la partie descriptive, les mêmes références sur les figures pourront être utilisées pour des éléments de même type. Les figures sont des représentations schématiques qui, dans un objectif de lisibilité, ne sont pas à l'échelle. En particulier, les épaisseurs des couches selon l'axe z ne sont pas à l'échelle par rapport aux dimensions latérales selon les axes x et y ; et les épaisseurs relatives des couches entre elles ne sont pas nécessairement respectées sur les figures. Notons que le repère (x,y,z) de la figure 1 s'applique à la figure 2.

L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche utile 3 sur un substrat support 4. La couche utile 3 est ainsi nommée car elle est destinée à être utilisée pour la fabrication de composants dans les domaines de la microélectronique ou des microsystèmes. La couche utile et le substrat support peuvent être de natures variées selon le type de composant et l'application visés. Le silicium étant le matériau semi-conducteur le plus utilisé actuellement, la couche utile et le substrat support peuvent en particulier être en silicium monocristallin mais ne sont bien-sûr pas limités à ce matériau.

Le procédé de transfert selon l'invention comprend tout d'abord une étape a) de fourniture d'un substrat donneur 1, duquel sera issu la couche utile 3. Le substrat donneur 1 comporte un plan fragile enterré 2 (figure 2 - a)). Ce dernier est avantageusement formé par implantation ionique d'espèces légères dans le substrat donneur 1, à une profondeur définie. Les espèces légères sont préférentiellement choisies parmi l'hydrogène et l'hélium,

ou une combinaison d'hydrogène et d'hélium, car ces espèces sont favorables à la formation de microcavités autour de la profondeur définie d'implantation, donnant lieu au plan fragile enterré 2. La couche utile 3 est délimitée par une face avant 1a du substrat donneur 1 et le plan fragile enterré 2.

Le substrat donneur 1 peut être formé par au moins un matériau choisi parmi le silicium, le germanium, le carbure de silicium, les semi-conducteurs composés IV-IV, III-V ou II-VI, les matériaux piézoélectriques (par exemple, LiNbO₃, LiTaO₃,...), etc. Il peut en outre comporter une ou plusieurs couche(s) superficielle(s) disposée(s) sur sa face avant 1a et/ou sur sa face arrière 1b, de toutes natures, par exemple diélectrique(s).

Le procédé de transfert comprend également une étape b) de fourniture d'un substrat support 4 (figure 2 - b)).

Le substrat support peut par exemple être formé par au moins un matériau choisi parmi le silicium, le carbure de silicium, le verre, le saphir, le nitrure d'aluminium, ou tout autre matériau susceptible d'être disponible sous forme de substrat. Il peut également comporter une ou plusieurs couche(s) superficielle(s) de toutes natures, par exemple diélectrique(s).

Comme énoncé précédemment, une application intéressante du procédé de transfert selon l'invention est la fabrication de substrats SOI. Dans ce cas particulier, le substrat donneur 1 et le substrat support 4 sont en silicium monocristallin, et l'un et/ou l'autre desdits substrats comporte une couche superficielle d'oxyde de silicium 6 sur sa face avant.

Le procédé de transfert comprend ensuite une étape c) d'assemblage selon une interface de collage 7, du substrat donneur 1, au niveau de sa face avant 1a, et du substrat support 4, pour former une structure collée 5 (figure 2 - c)).

L'assemblage peut être réalisé par toute méthode connue, notamment par collage direct par adhésion moléculaire, par thermocompression, par collage électrostatique, etc. Ces techniques bien connues de l'état de la technique ne seront pas décrites en détail ici. On rappelle néanmoins que, préalablement à l'assemblage, les substrats donneur 1 et support 4 auront subi des séquences de nettoyages et/ou d'activation de surface, de manière à garantir la qualité de l'interface de collage 7 en termes de défektivité et d'énergie de collage.

Dans le procédé de transfert selon l'invention, une étape d) de recuit de la structure collée 5 est alors effectuée, pour appliquer à ladite structure 5 un budget thermique de fragilisation et amener le plan fragile enterré jusqu'à un niveau de fragilisation défini (figure 2 - d)). Les couples temps / température appliqués au cours du recuit déterminent le budget thermique subi par la structure collée 5.

La gamme de températures dans laquelle le recuit peut être opéré pour cette fragilisation du plan enterré 2 dépend essentiellement du type de structure collée 5 (homo-structure ou hétéro-structure) et de la nature du substrat donneur 1.

A titre d'exemple, dans le cas d'un substrat donneur 1 et d'un substrat support 4 en silicium, le recuit de l'étape d) atteint une température de palier maximale typiquement comprise entre 200°C et 600°C, avantageusement entre 300 et 500°C, et encore plus avantageusement entre 350°C et 450°C. La température de palier maximale pourra plus généralement, pour des matériaux utilisés pour le substrat donneur 1 et/ou pour le substrat support 4 autres que le silicium, être comprise typiquement entre 200°C et 800°C.

Le recuit peut comporter une rampe de montée en température (typiquement entre 200°C et la température de palier maximale) et un palier à la température maximale. En général, un tel recuit va avoir une durée comprise entre quelques dizaines de minutes

et plusieurs heures, en fonction de la température de palier maximale du recuit.

Le niveau de fragilisation du plan fragile enterré 2 est défini par la surface occupée par les microcavités présentes dans le plan fragile enterré 2. Dans le cas d'un substrat donneur 1 en silicium, la caractérisation de cette surface occupée par les microcavités peut s'effectuer par microscopie infrarouge.

Le niveau de fragilisation peut augmenter depuis un niveau faible (<1%, sous le seuil de détection des instruments de caractérisation) jusqu'à plus de 80%, en fonction du budget thermique appliqué à la structure collée 5 au cours du recuit. Le budget thermique de fragilisation est toujours maintenu en-deçà d'un budget thermique de fracture, pour lequel on obtient l'initiation spontanée de l'onde de fracture dans le plan fragile enterré 2, au cours du recuit. Préférentiellement, le budget thermique de fragilisation est compris entre 40% et 95% du budget thermique de fracture.

Notons que l'équipement de traitement thermique 20 dans lequel est réalisé le recuit de l'étape d) est préférentiellement un four de configuration horizontale ou verticale, adapté pour le traitement collectif d'une pluralité de structures collées 5.

Dans le procédé de transfert selon l'invention, une étape e) d'initiation d'une onde de fracture le long du plan fragile enterré 2 est ensuite opérée, par application d'une contrainte à la structure collée 5 (figure 2 - d)). Après initiation, l'onde de fracture se propage de manière auto-entretenu, menant à la séparation de la structure collée 5 au niveau du plan fragile enterré 2. Une propagation auto-entretenu traduit le fait qu'une fois initiée, l'onde de fracture se propage par elle-même, sans application de contrainte extérieure et sur toute l'étendue du plan fragile enterré 2, de manière à détacher

complètement la couche utile 3 du substrat donneur 1 et à la transférer sur le substrat support 4. On obtient ainsi un ensemble transféré 5a et le reste 5b du substrat donneur 1 (figure 2 - e)).

Avantageusement, la contrainte est locale et appliquée à la périphérie de la structure collée 5. Elle pourra être d'origine mécanique ou de toute autre origine comme par exemple un chauffage localisé réalisé par un laser ou un apport d'énergie par ultrason.

Préférentiellement, une sollicitation mécanique locale peut être réalisée par insertion d'un biseau, en vis-à-vis de l'interface de collage 7 de la structure collée 5, entre des bords chanfreinés respectivement du substrat donneur 1 et du substrat support 4 de ladite structure collée 5. Cela a pour effet de générer une contrainte en tension dans le plan fragile enterré 2.

On rappelle que, en appliquant le procédé de transfert de l'état de la technique énoncé en introduction, consistant en l'initiation mécanique de l'onde de fracture à température ambiante, la demanderesse a observé des motifs irréguliers de type marbrure dégradant l'uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 après transfert. La demanderesse a identifié que ces motifs irréguliers étaient liés à une instabilité de la propagation de l'onde de fracture du fait d'une trop faible énergie emmagasinée dans le système [structure collée 5 / plan fragile enterré 2].

Pour pallier ces problèmes et améliorer l'uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 après transfert, le procédé de transfert selon la présente invention prévoit que l'initiation de l'onde de fracture à l'étape e) est opérée par application d'une contrainte extérieure au plan fragile enterré 2 alors que la structure collée 5 subit un gradient thermique définissant une

région chaude et une région froide de ladite structure collée 5. Selon l'invention, la contrainte extérieure est localement exercée dans la région froide de la structure collée 5. La température maximale vue par la région chaude est toujours inférieure à la température de palier maximale du recuit. Avantageusement, on choisit d'opérer l'initiation de l'étape e) lorsque la structure collée 5 subit un gradient thermique supérieur à 20°C et inférieur à 100°C, en particulier compris entre 60°C et 90°C, préférentiellement de l'ordre de 80°C.

Cette configuration particulière permet de limiter les variations d'épaisseur de la couche utile 3, susceptibles d'apparaître sous forme de motifs réguliers ou irréguliers d'amplitude de l'ordre du nm ou du demi-nanomètre.

En effet, la demanderesse a identifié que les non-uniformités d'épaisseur causées par la propagation de l'onde de fracture peuvent avoir deux origines distinctes : d'une part, un excès d'énergie libérée en début de propagation (créant des motifs réguliers de pas environ 1cm), d'autre part, un manque d'énergie libérée en fin de propagation créant une instabilité de la fracture (causant un motif irrégulier). Or, l'énergie libérée par la fracture est directement proportionnelle à la température du matériau dans lequel elle se propage. Ainsi, si l'on initie dans la région chaude de la structure collée 5, la fracture va libérer d'abord beaucoup d'énergie (ce qui est défavorable en termes de motifs réguliers) puis va libérer moins d'énergie en fin de propagation (ce qui est défavorable en termes de motifs irréguliers). En initiant dans la région froide de la structure collée 5, la fracture libère d'abord peu d'énergie (ce qui est favorable en termes de motifs réguliers) puis libère en fin de propagation plus d'énergie (ce qui est favorable en termes de motifs irréguliers).

A titre d'exemple, les figures 3a et 3b présentent des cartographies de « haze » de couches utiles 3 après une fracture, respectivement spontanée intervenue lors du recuit, et mécanique initiée à température ambiante après un recuit de fragilisation. Notons que l'initiation de la fracture mécanique précitée a été faite par sollicitation mécanique locale exercée sur la structure collée 5 et générant une contrainte dans le plan fragile enterré 2. On remarque, dans chacun des cas, des motifs (réguliers ou irréguliers) qui dégradent l'uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 après transfert (entre 0,5 et 1,5nm d'amplitude). Ces motifs ont été rendus apparents par la mesure de bruit de fond diffus (« haze » selon la terminologie anglo-saxonne communément employée) correspondant à l'intensité de la lumière diffusée par la surface de la couche utile 3, à l'aide de l'outil d'inspection Surfscan™ de la société KLA-Tencor. Sur la figure 3a (fracture spontanée), des motifs réguliers, périodiques de longueur d'onde de l'ordre de 2cm conduisent à une non uniformité locale du signal de haze de 4%. Sur la figure 3b (fracture mécanique à température ambiante), des motifs irréguliers conduisent à une non-uniformité locale du signal de haze de plus de 12%.

La figure 4 présente une cartographie de « haze » en surface d'une couche utile 3 transférée par un procédé de transfert conforme à l'invention : en l'occurrence, après une fracture initiée alors que la structure collée 5 subit un gradient thermique d'environ 80°C, par une sollicitation mécanique locale exercée dans la région froide de la structure collée 5 générant une contrainte dans le plan fragile enterré 2. Aucun motif, ni régulier, ni irrégulier de type marbrure n'est présent, la non-uniformité locale du signal de haze n'excède pas 2%. L'uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 est ainsi fortement améliorée.

De manière générale, une onde de fracture initiée dans la région froide de la structure collée 5, lorsqu'un gradient thermique

supérieur à 20°C et inférieur à 100°C s'applique à ladite structure 5, mène à une bonne uniformité d'épaisseur de la couche utile 3 après transfert.

La structure collée 5 peut se trouver dans l'équipement de traitement thermique 20 (comme illustré sur la figure 2 - d)) ou à l'extérieur dudit équipement 20 (figure 7), lorsque l'initiation de l'onde de fracture de l'étape e) est opérée.

Selon un mode avantageux de l'invention, l'initiation de l'onde de fracture est opérée lorsque la structure collée 5 sort de l'équipement de traitement thermique 20 dans lequel a été effectué le recuit de l'étape d) : un gradient thermique existe en général sur la structure collée 5 lors de sa sortie dudit équipement (figures 5 et 6). Ce gradient est en général dû à la géométrie du four 20 et à la présence d'un système de maintien des structures collées 5, qui influencent la dissipation thermique. Par exemple, dans le cas d'un four de configuration horizontale 20, dans lequel les structures collées 5 sont placées verticalement dans des nacelles 22, lesquelles sont supportées par une pelle de chargement 21, on observe que la région inférieure B des structures collées 5 (c'est-à-dire la plus proche du système de maintien formé par la nacelle 22 et la pelle de chargement 21) est plus froide que la région supérieure H des structures collées 5. La sollicitation mécanique locale est alors exercée dans la région inférieure B (région froide) de la structure collée 5, conformément à la présente invention.

Préférentiellement, l'initiation de l'étape e) est opérée à la sortie de l'équipement de traitement thermique 20 lorsque la région chaude (ou typiquement le point le plus chaud) de la structure collée 5 est à une température comprise entre 150°C et 250°C, préférentiellement autour de 200°C. Lorsque l'initiation de l'onde de fracture est faite dans la gamme de températures

précitée, l'énergie emmagasinée dans le système (structure collée 5 + plan fragile enterré 2), et notamment l'énergie emmagasinée dans le plan fragile enterré 2 du fait de la présence d'espèces gazeuses sous pression dans les microcavités, est adaptée à une propagation auto-entretenu efficace, améliorant encore l'état de surface de la couche utile 3 après transfert.

Exemple d'application :

Le procédé de transfert selon l'invention peut être utilisé pour la fabrication de substrats SOI dont la couche utile 3 est très mince, en particulier comprise entre quelques nanomètres et 50nm.

Prenons l'exemple de substrats donneur 1 et support 4 en silicium monocristallin, se présentant chacun sous forme de plaquette de 300mm de diamètre. Le substrat donneur est recouvert d'une couche d'oxyde de silicium 6 de 50nm d'épaisseur. Le plan fragile enterré 2 est formé dans le substrat donneur 1 par co-implantation d'ions d'hydrogène et d'hélium dans les conditions suivantes :

- H : énergie d'implantation 38 keV, dose $1E16$ H/cm²,
- He : énergie d'implantation 25 keV, dose $1E16$ He/cm².

Le plan fragile enterré 2 se situe à une profondeur d'environ 290 nm, à partir de la surface 1a du substrat donneur 1. Il délimite, avec la couche d'oxyde 6, une couche utile 3 d'environ 240 nm.

L'assemblage du substrat donneur 1 et du substrat support 4 est fait par collage direct par adhésion moléculaire, pour former la structure collée 5. Préalablement à l'assemblage, les substrats donneur 1 et support 4 auront subi des séquences de nettoyages et/ou d'activation de surface connues, de manière à garantir la

qualité de l'interface de collage 7 en termes de défektivité et d'énergie de collage.

Un four 20 de configuration horizontale est utilisé pour réaliser collectivement le recuit d'une pluralité de structures collées 5 telles que celle décrite ci-dessus. Ce type d'équipement de traitement thermique 20 comprend une pelle de chargement 21 qui supporte des nacelles 22 dans lesquelles sont positionnées les structures collées 5 (figure 7). La pelle de chargement 21 se déplace entre une position rentrée, dans laquelle les structures collées 5 sont à l'intérieur du four 20 et une position sortie, dans laquelle elles sont à l'extérieur du four 20.

Un système de biseaux 10 peut être positionné sur chaque nacelle 22, en-dessous des structures collées 5. La pelle de chargement 21 se déplace en position rentrée pour la réalisation du recuit. Le recuit comprend une rampe de montée en température de 200°C à 380°C, un palier à 380°C de 2 min et une rampe de descente en température jusqu'à 225°C.

A l'issue du recuit, la pelle de chargement 21 se déplace vers sa position sortie.

Comme illustré sur la figure 6, à partir du moment où chaque structure collée 5 sort du four 20, la température qu'elle subit décroît et un gradient thermique apparaît. La zone froide de la structure collée 5 est située dans une région basse B, c'est-à-dire proche de la nacelle 21 et de la pelle de chargement 22. Chaque structure collée 5 va transiter dans une zone de sortie 23 dans laquelle elle subit un gradient thermique préférentiellement compris entre 60°C et 90°, et en particulier de l'ordre de 80°C +/-10°C, voire 80°C +/-5°C. Dans cette zone de sortie 23, un dispositif d'appui 11 situé au-dessus des structures collées 5 va venir exercer une force d'appui successivement sur chaque structure collée 5, de sorte que le biseau 10 en-dessous de celle-ci (dans la région froide)

s'insère, en vis-à-vis de l'interface de collage 7, entre les bords chanfreinés des substrats assemblés de la structure collée 5 (figure 7). L'insertion du biseau 10 génère une contrainte locale et en tension au niveau du plan fragile enterré 2 permettant d'initier l'onde de fracture dans la région froide de chaque structure collée 5, successivement, au fur et à mesure de leur passage sous le dispositif d'appui 11.

Bien-sûr, des outils autres que l'ensemble formé par le système de biseaux 10 et le dispositif d'appui 11 pourraient être mis en œuvre pour opérer l'initiation de l'onde de fracture dans les structures collées 5 conformément à la présente invention.

L'initiation de l'onde de fracture est ainsi opérée pour chaque structure collée, dans sa région froide (région basse B) lorsqu'elle subit un gradient thermique de l'ordre de 80°C (environ 70°C dans l'exemple de la figure 6).

Sur l'exemple de la figure 6, la zone de sortie 23 dans laquelle l'initiation de l'onde de fracture est opérée, correspond à une zone dans laquelle chaque structure collée 5 subit, dans sa région la plus froide (région basse B) une température de l'ordre de 130°C, sa région centrale C voyant une température intermédiaire de l'ordre de 180°C et sa région haute H une température de l'ordre de 200°C.

Suite à la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture, on obtient le substrat SOI après transfert (ensemble transféré 5a) et le reste 5b du substrat donneur. Une très bonne uniformité d'épaisseur des couches utiles 3 transférées est obtenue (similaire au résultat de la figure 4).

Des étapes de finition appliquées aux ensembles transférés 5a comprennent des nettoyages chimiques et au moins un traitement thermique de lissage à haute température. A l'issue de ces étapes, les substrats SOI comportent une couche utile 3 d'épaisseur 50nm, dont la non-uniformité d'épaisseur finale est

de l'ordre de 0,45nm. Notons que comparativement, des substrats SOI dont la couche utile 3 comporte des motifs réguliers ou irréguliers après fracture, peuvent présenter des non-uniformités d'épaisseur finales supérieures ou égales à 0,7nm.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de mise en œuvre et exemples décrits, et on peut y apporter des variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transfert d'une couche utile (3) sur un substrat support (4), comprenant les étapes suivantes :
 - a) la fourniture d'un substrat donneur (1) comportant un plan fragile enterré (2), la couche utile (3) étant délimitée par une face avant (1a) du substrat donneur (1) et le plan fragile enterré (2) ;
 - b) la fourniture d'un substrat support (4) ;
 - c) l'assemblage, selon une interface de collage (7), du substrat donneur (1), au niveau de sa face avant (1a), et du substrat support (4), pour former une structure collée (5) ;
 - d) le recuit de la structure collée (5) pour lui appliquer un budget thermique de fragilisation et amener le plan fragile enterré (2) jusqu'à un niveau de fragilisation défini, ledit recuit atteignant une température de palier maximale ;
 - e) l'initiation d'une onde de fracture dans le plan fragile enterré (2), par application d'une contrainte à la structure collée (5), l'onde de fracture se propageant de manière auto-entretenu le long du plan fragile enterré (2) pour mener au transfert de la couche utile (3) sur le substrat support (4) ;

Le procédé de transfert étant caractérisé en ce que l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la structure collée (5) subit un gradient thermique définissant une région chaude et une région froide de ladite structure collée (5), la contrainte étant localement exercée dans la région froide, et la région chaude subissant une température inférieure à la température de palier maximale.

2. Procédé de transfert selon la revendication précédente, dans lequel le gradient thermique est choisi entre 20°C et 100°C, préférentiellement entre 60°C et 90°C, encore préférentiellement autour de 80°C.
3. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la température de palier maximale est comprise entre 300°C et 600°C.
4. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape d) de recuit est opérée dans un équipement de traitement thermique (20) et l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la structure collée (5) sort dudit équipement de traitement thermique (20).
5. Procédé de transfert selon la revendication précédente, dans lequel l'équipement de traitement thermique (20) est un four de configuration horizontale ou verticale, adapté pour le traitement collectif d'une pluralité de structures collées (5).
6. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'initiation de l'étape e) est opérée lorsque la région chaude de la structure collée (5) subit une température comprise entre 150°C et 250°C.
7. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le budget thermique de fragilisation est compris entre 40% et 95% d'un budget thermique de fracture, le budget thermique de fracture menant à une initiation spontanée de l'onde de fracture dans le plan fragile enterré (2) au cours du recuit.

8. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la contrainte est exercée en périphérie de la structure collée (5), par insertion d'un biseau (10), en vis-à-vis de l'interface de collage (7) de la structure collée (5), entre des bords chanfreinés respectivement du substrat donneur (1) et du substrat support (4) de ladite structure collée (5).
9. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le substrat donneur (1) et le substrat support (4) sont en silicium monocristallin, et dans lequel le plan fragile enterré (2) est formé par implantation ionique d'espèces légères dans le substrat donneur (1), lesdites espèces légères étant choisies parmi l'hydrogène et l'hélium ou une combinaison d'hydrogène et d'hélium.