

DESCRIPTION

TITRE : PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE UTILE SUR UN 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 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 ;
- l'application d'un traitement thermique à la structure collée 5 pour fragiliser le plan fragile enterré ;
- et enfin, l'initiation d'une onde de fracture par une impulsion d'énergie appliquée au niveau du plan fragile enterré 2 et la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture dans le substrat donneur 1, le long dudit 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 soient les plus favorables possibles après transfert, pour garantir la tenue des spécifications finales.

La demanderesse a observé que les couches utiles 3 transférées selon le procédé précité, issues de structures collées préparées dans des conditions similaires et ayant subi le même traitement thermique de fragilisation, ne présentaient pas des propriétés morphologiques de surface (rugosité, uniformité d'épaisseur) reproductibles de plaque à plaque. La non-reproductibilité des propriétés morphologiques de surface des couches utiles après transfert peut impacter les rendements de production car les étapes de finition ne parviennent pas toujours à ramener la rugosité et l'uniformité d'épaisseur de toutes les couches utiles au niveau requis de spécification.

Pour limiter l'amplitude de motifs périodiques de variation d'épaisseur de la couche mince après fracture, le document EP2933828 propose de mettre en contact avec l'ensemble à fracturer, un élément absorbant pour dissiper les vibrations acoustiques émises lors de l'initiation et la propagation auto-entretenue de l'onde de fracture.

OBJET DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de transfert d'une couche utile sur un substrat support. Le procédé propose une solution alternative à celles de l'état de la technique, visant à obtenir une faible rugosité de surface et une bonne uniformité d'épaisseur des couches utiles après transfert et à améliorer la reproductibilité plaque à plaque des propriétés morphologiques de surface 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 augmenter le niveau de fragilisation du plan fragile enterré.

Le procédé de transfert est remarquable en ce que :

- une contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré au cours de l'étape d) de recuit, pendant une période de temps, la contrainte prédéterminée étant choisie de manière à initier l'onde de fracture lorsqu'un niveau donné de fragilisation est atteint,
- au bout de la période de temps, le niveau donné de fragilisation étant atteint, la contrainte prédéterminée provoque l'initiation et la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture le long dudit plan fragile enterré, menant au transfert de la couche utile sur le substrat support.

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

- la période de temps est comprise entre 1 minute à 5 heures ;
- la période de temps est une fraction de la durée du recuit comprise entre 1% et 100% ;
- le procédé de transfert est appliqué au traitement collectif d'une pluralité de structures collées, et la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré de chacune des structures collées, de manière à initier l'onde de fracture lorsque le niveau donné de fragilisation est atteint pour chaque structure collée ;
- le recuit de l'étape d) est réalisé dans un équipement de traitement thermique de configuration horizontale ou verticale, adapté pour le traitement collectif d'une pluralité de structures collées ;
- la contrainte prédéterminée est localement appliquée au plan fragile enterré de la structure collée au moyen d'un biseau positionné en vis-à-vis de l'interface de collage et exerçant une force d'appui contre des bords chanfreinés des substrats donneur et support de ladite structure collée, pour générer une contrainte en tension dans le plan fragile enterré ;
- la force d'appui est comprise entre 0.5 N et 50 N ;
- le niveau donné de fragilisation est défini par la surface occupée par des microcavités dans le plan fragile enterré et est choisi entre 1% et 90% préférentiellement entre 5% et 40% ;

- le recuit de l'étape d) atteint une température maximale comprise entre 300°C et 600°C ;
- la contrainte prédéterminée est appliquée dès le début du recuit de l'étape d) ;
- 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 :

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

La figure 2 présente un procédé de transfert conforme à l'invention ;

La figure 3 présente un exemple de traitement collectif d'une pluralité de structures, dans 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 couches superficielles 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, ou par thermocompression, ou encore par collage électrostatique. 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 augmenter le niveau de fragilisation du plan fragile enterré 2. 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 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.

Le recuit peut comporter une rampe de montée en température (typiquement entre 200°C et la température 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 maximale du recuit. Le couple temps / température détermine le budget thermique appliqué à la structure collée 5 au cours 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 bien-sûr toujours

maintenu en-deçà du 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.

On rappelle que, dans le procédé de transfert de l'état de la technique énoncé en introduction en référence à la figure 1, la structure collée 5 est prélevée après l'étape de recuit, alors que le plan fragile enterré 2 présente un certain niveau de fragilisation. Une impulsion d'énergie est alors appliquée au plan fragile enterré 2, pour provoquer l'initiation de l'onde de fracture : en se propageant, l'onde de fracture génère le transfert de la couche utile 3 sur le substrat support 4. Comme précédemment énoncé, la demanderesse a identifié des problèmes de reproductibilité des propriétés morphologiques de surface des couches utiles 3 après transfert, alors même que les étapes du procédé étaient opérées dans des conditions identiques.

Ce défaut de reproductibilité est notamment lié aux variabilités des étapes d'implantation des espèces légères pour former le plan fragile enterré, et de recuit. Ces variabilités peuvent venir de non-homogénéités de dose implantée ou d'énergie d'implantation, ou encore de non-uniformités de température sur une structure ou entre plusieurs structures. L'évolution du niveau de fragilisation au cours du recuit, pour un même budget thermique, peut ainsi être différente, pour des structures collées similaires, recuites collectivement ou séparément.

Pour remédier à ce problème, le procédé de transfert selon la présente invention prévoit que, au cours de l'étape d) de recuit, une contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2, pendant une période de temps (figure 2 - d)). Par contrainte prédéterminée, on entend une contrainte d'amplitude définie et constante. La contrainte prédéterminée peut être appliquée notamment en exerçant une sollicitation mécanique

contrôlée sur la structure collée 5, comme cela sera décrit plus en détail par la suite.

La contrainte prédéterminée est choisie de manière à initier une onde de fracture dont la propagation est auto-entretenu, lorsque qu'un niveau donné de fragilisation est atteint dans le 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 additionnelle 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.

La période de temps pendant laquelle la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2 est typiquement supérieure à 1 min. En particulier, elle est comprise entre 1 minute et 5 heures. Dit autrement, la période de temps est une fraction de la durée du recuit comprise entre 1% et 100%.

Au bout de la période de temps, le niveau donné de fragilisation est atteint : la contrainte prédéterminée provoque alors l'initiation et la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture le long du plan fragile enterré 2, menant au transfert de la couche utile 3 sur le substrat support 4 (figure 2 - e)). Dans le procédé de transfert selon l'invention, l'initiation de l'onde de fracture dans le plan fragile enterré 2 n'est pas concomitante à l'application de la contrainte prédéterminée audit plan 2. Dit autrement, la contrainte mécanique n'est pas adaptée pour provoquer l'initiation et la propagation de l'onde de fracture au moment de son application, quel que soit le niveau de fragilisation du plan fragile enterré 2. La contrainte mécanique prédéterminée selon l'invention ne permet pas l'initiation et la propagation de l'onde de fracture au moment de son application ; l'initiation de l'onde de fracture n'est provoquée par la contrainte prédéterminée qu'au moment où le plan fragile enterré atteint le niveau donné de fragilisation,

au bout d'une période de temps suivant l'application de la contrainte.

Le fait d'appliquer ainsi une contrainte prédéterminée à la structure collée 5 lors de l'étape d) de recuit, pendant une période de temps, permet d'initier l'onde de fracture dans le plan fragile enterré 2 au moment de l'atteinte d'un niveau de fragilisation donné, constant et reproductible, quelle que soit la structure collée 5. L'onde de fracture n'est donc plus initiée à budget thermique constant (comme dans le procédé de transfert de l'état de la technique précédemment énoncé) mais à niveau constant de fragilisation du plan fragile enterré 2. Même si des variabilités dans les conditions d'implantation ou de recuit existent entre des structures collées 5 traitées dans un même lot ou dans des lots différents, la même contrainte prédéterminée appliquée au plan fragile enterré 2 de chaque structure 5 initiera l'onde de fracture pour un même niveau donné de fragilisation, à l'issue d'une période de temps propre à chaque structure 5. Cela permet de garantir une bonne reproductibilité des propriétés morphologiques de surface des couches utiles 3, lesquelles sont très dépendantes du niveau de fragilisation du plan fragile enterré 2 au moment de l'initiation et de la propagation de l'onde de fracture.

Selon une première variante, la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2 dès le début de l'étape d) de recuit : la période de temps (pendant laquelle la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2) s'étend donc depuis le début du recuit (ou potentiellement avant) jusqu'à ce que le niveau donné de fragilisation soit atteint, moment où l'onde de fracture est initiée.

Selon une deuxième variante, la contrainte prédéterminée est appliquée après une durée déterminée du recuit, sans interruption dudit recuit. Cette variante peut favoriser la

consolidation de l'interface de collage 7 de la structure collée 5 en début de recuit, préalablement à l'application de la contrainte prédéterminée au plan fragile enterré 2. La période de temps s'étend dans ce cas depuis un moment intermédiaire au cours du recuit jusqu'à ce que le niveau donné de fragilisation soit atteint, moment où l'onde de fracture est initiée.

Selon le procédé de l'invention, la contrainte prédéterminée est choisie en fonction du niveau de fragilisation pour lequel on souhaite que l'onde de fracture se propage. Une contrainte élevée permettra d'initier l'onde de fracture pour un niveau de fragilisation faible du plan fragile enterré 2 ; une contrainte plus faible permettra d'initier l'onde de fracture pour un niveau de fragilisation plus important du plan fragile enterré 2. Le niveau donné de fragilisation est défini par la surface occupée par des microcavités dans le plan fragile enterré 2 et peut être choisi entre 1% et 90%, préférentiellement entre 5% et 40%. Des niveaux relativement faibles de fragilisation, par exemple inférieurs à 25%, sont favorables à une rugosité de surface réduite après transfert et à une bonne uniformité d'épaisseur des couches utiles 3 transférées.

Avantageusement, le procédé de transfert est appliqué au traitement collectif d'une pluralité de structures collées 5, dans lequel la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2 de chacune des structures collées 5, de manière à initier l'onde de fracture lorsque le niveau donné de fragilisation est atteint pour chaque structure collée 5. Dans ce cas, le recuit de l'étape d) peut être réalisé dans un équipement de traitement thermique de configuration horizontale ou verticale, adapté pour le traitement collectif d'une pluralité de structures collées 5.

Compte tenu des variabilités dans les conditions d'implantation ou de recuit entre des structures collées 5, la période de temps

pendant laquelle la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2 et à l'issue de laquelle l'onde de fracture sera initiée pourra être plus ou moins longue pour chacune des structures collées 5 : en effet, les plans fragiles enterrés 2 n'atteindront pas tous au même moment le niveau donné de fragilisation pour lequel la contrainte prédéterminée appliquée provoquera l'initiation. La durée du recuit est définie pour tenir compte de ces variabilités et permettre une initiation et une propagation auto-entretenu dans le plan fragile enterré 2 pour toutes les structures collées 5. Chaque structure collée 5 aura alors vu son plan fragile enterré 2 se fracturer pour le niveau donné de fragilisation, soit à niveau constant et reproductible.

Le procédé de transfert selon l'invention autorise le choix du niveau de fragilisation auquel l'onde de fracture va se propager et assure une initiation de ladite onde à niveau de fragilisation constant pour toutes les structures collées 5 : cela permet l'obtention de propriétés morphologiques de surfaces favorables (faible rugosité, bonne uniformité et reproductibilité de plaque à plaque) pour les couches utiles 3 transférées.

Selon un mode de réalisation avantageux, la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré 2 de manière locale, en exerçant une sollicitation mécanique ponctuelle sur la structure collée 5, au moyen d'un biseau 10. Le biseau 10 est positionné en vis-à-vis de l'interface de collage 7 et exerce une force d'appui contre des bords chanfreinés des substrats donneur 1 et support 4 de la structure collée 5. Cela a pour effet de générer une contrainte en tension dans le plan fragile enterré 2. La force d'appui présente une amplitude prédéterminée et constante. A titre d'exemple, la force d'appui peut être comprise entre 0.5 N et 50 N.

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 1 est recouvert d'une couche d'oxyde de silicium 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 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 3). 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 est positionné sur chaque nacelle 22, en dessous ou au-dessus des structures collées 5, de manière à exercer une force d'appui ponctuelle constante contre les bords chanfreinés des substrats assemblés de chaque structure collée 5.

Notons que dans le cas où le biseau 10 est situé en dessous des structures collées 5, le poids de chaque structure collée pourra constituer ladite force d'appui. Alternativement, un dispositif additionnel 11 peut être prévu pour appliquer une force d'appui supplémentaire, localement en bord et au-dessus des structures collées 5.

Cette sollicitation mécanique exercée par le système de biseau 10 (avec ou sans le dispositif additionnel 11) sur les structures collées 5 génère une contrainte prédéterminée, locale et en tension au niveau du plan fragile enterré 2. La sollicitation mécanique peut être exercée dès le début du recuit ou après une durée déterminée. Cette durée déterminée est toujours bien inférieure à la durée nécessaire pour atteindre le niveau donné de fragilisation pour lequel la contrainte prédéterminée induira l'initiation de l'onde de fracture.

Pour un recuit dont la température maximale est 350°C, une fracture spontanée survient en moyenne au bout de 200min.

Lorsqu'un poids de 500g (correspondant à une force d'appui d'environ 5N) est appliqué via le dispositif additionnel 11 sur chacune des structures collées 5, l'initiation de l'onde de fracture intervient en moyenne au bout de 160min, pour un niveau de fragilisation de l'ordre de 16%.

Lorsqu'un poids de 1500g (correspondant à une force d'appui d'environ 15N) est appliqué via le dispositif additionnel 11 sur chacune des structures collées 5, l'initiation de l'onde de

fracture intervient en moyenne au bout de 110min, pour un niveau de fragilisation de l'ordre de 12%.

Suite à la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture dans chacune des structures collées 5, on obtient le substrat SOI après transfert (ensemble transféré 5a) et le reste 5b du substrat donneur.

Pour les deux exemples précités d'initiation de l'onde de fracture à maturité constante, on obtient des propriétés morphologiques de surfaces des couches utiles 3 transférées très favorables (faible rugosité, bonne uniformité) et reproductibles de plaque à plaque.

Les 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 est inférieure à 2% et présentant une rugosité de surface inférieure à 0,3nm RMS.

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 augmenter le niveau de fragilisation du plan fragile enterré (2) ;Le procédé de transfert étant caractérisé en ce que :
 - une contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré (2) au cours de l'étape d) de recuit, pendant une période de temps, la contrainte prédéterminée étant choisie de manière à initier l'onde de fracture lorsqu'un niveau donné de fragilisation est atteint,
 - au bout de la période de temps, le niveau donné de fragilisation étant atteint, la contrainte prédéterminée provoque l'initiation et la propagation auto-entretenu de l'onde de fracture le long dudit plan fragile enterré (2), menant au transfert de la couche utile (3) sur le substrat support (4).
2. Procédé de transfert selon la revendication précédente, dans lequel la période de temps est comprise entre 1 minute à 5 heures.

3. Procédé de transfert selon la revendication 1, dans lequel la période de temps est une fraction de la durée du recuit comprise entre 1% et 100%.
4. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, appliqué au traitement collectif d'une pluralité de structures collées (5), dans lequel la contrainte prédéterminée est appliquée au plan fragile enterré (2) de chacune des structures collées (5), de manière à initier l'onde de fracture lorsque le niveau donné de fragilisation est atteint pour chaque structure collée (5).
5. Procédé de transfert selon la revendication précédente, dans lequel le recuit de l'étape d) est réalisé dans un équipement de traitement thermique (20) 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 la contrainte prédéterminée est localement appliquée au plan fragile enterré (2) de la structure collée (5) au moyen d'un biseau (10) positionné en vis-à-vis de l'interface de collage (7) et exerçant une force d'appui contre des bords chanfreinés des substrats donneur (1) et support (4) de ladite structure collée (5), pour générer une contrainte en tension dans le plan fragile enterré (2).
7. Procédé de transfert selon la revendication précédente, dans lequel la force d'appui est comprise entre 0.5 N et 50 N.

8. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le niveau donné de fragilisation est défini par la surface occupée par des microcavités dans le plan fragile enterré (2) et est choisi entre 1% et 90% préférentiellement entre 5% et 40%.
9. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le recuit de l'étape d) atteint une température maximale comprise entre 300°C et 600°C.
10. Procédé de transfert selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la contrainte prédéterminée est appliquée dès le début du recuit de l'étape d).
11. 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, lesdites espèces légères étant choisies parmi l'hydrogène et l'hélium ou une combinaison d'hydrogène et d'hélium.