

Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une structure SOI notamment adaptée pour les applications photoniques, et substrat support pour ladite structure

Domaine technique

- [0001] La présente invention vise le domaine des semi-conducteurs et de la microélectronique. Elle concerne un procédé de fabrication d'une structure SOI (Silicium sur Isolant), notamment adaptée pour les applications photoniques. L'invention concerne également un substrat support pour ladite structure.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION#:

- [0002] Dans le domaine de la photonique sur SOI, certaines techniques de couplage des fibres optiques avec les composants nécessitent de réaliser des tranchées en V (« V-groove » selon la terminologie anglo-saxonne) par gravure chimique anisotrope dans le substrat support de la structure SOI, à une profondeur de l'ordre de 50 à 80µm. En outre, il est de plus en plus recherché de co-intégrer des composants, en permettant de connecter électriquement la face avant et la face arrière de la structure SOI. Une telle connexion se fait classiquement à l'aide de vias conducteurs traversants (TSV pour « Through Silicon Via ») élaborés par gravure sèche du substrat support de la structure SOI, typiquement sur une profondeur de 50 à 100µm. Notons que le substrat support est plus épais que 100µm tout au long des procédés de fabrication de la structure SOI et d'élaboration des composants, mais il est habituellement aminci en face arrière dans ces gammes d'épaisseur, ce qui permet de récupérer le contact électrique par le ou les via(s) débouchants.
- [0003] La présence de défauts dans le substrat support, tels que notamment des micro-défauts (BMD pour « bulk micro-defect ») bien connus dans l'industrie du silicium monocristallin, peut perturber les gravures de tranchées en V ou de vias, et provoquer des défaillances ultérieures au niveau des composants. Ces micro-défauts BMD sont issus de la précipitation d'oxygène interstitiel sur des sites de nucléation préférentiels (par exemple, des lacunes), et ne sont pas favorables lorsque des gravures profondes telles que précitées sont prévues dans le substrat support.
- [0004] Par ailleurs, la fabrication des structures SOI nécessite des budgets thermiques à très hautes températures. Elle peut notamment mettre en œuvre le procédé Smart Cut™ pour le transfert de la couche utile en silicium monocristallin (c-Si) sur le substrat support, via une couche intermédiaire diélectrique. Le procédé Smart Cut, bien connu, est basé sur l'implantation d'ions légers dans un substrat donneur en c-Si pour former un plan fragile enterré qui définit, avec la face avant du substrat donneur, la couche

utile à transférer. Le substrat donneur implanté est ensuite assemblé sur le substrat support. En général, une couche diélectrique est formée sur le substrat donneur, sur le substrat support ou sur les deux substrats, préalablement à l'assemblage : cette couche diélectrique est destinée à former la couche isolante enterrée de la structure SOI. L'étape suivante consiste en une séparation le long du plan fragile enterré, donnant lieu, d'une part à une structure intermédiaire comprenant la couche utile transférée sur la substrat support via la couche diélectrique, et d'autre part, le reste du substrat donneur.

- [0005] Après la séparation de la couche utile et son report sur le substrat support, des traitements thermiques sont requis pour lisser la surface libre de la couche utile et guérir des défauts cristallins présents dans cette dernière. Cela implique que le substrat support de la structure SOI soit résistant aux modes de défaillance de type lignes de glissement (« slip lines »), marques ou autres déformations susceptibles d'être générées au cours du traitement thermique, du fait de gradients de température ou de points de contact entre le substrat et des éléments de maintien dans le four. Pour protéger le substrat support contre ces défaillances, il est avantageux qu'il présente une densité de micro-défauts BMD suffisante et homogène tant radialement qu'en profondeur, lesquels micro-défauts le rendent robuste à la déformation mécanique. En outre, les micro-défauts BMD permettent le piégeage d'espèces (notamment contamination métallique) dans le substrat support, limitant la diffusion de contaminants jusqu'à la couche utile lors de la fabrication des composants.

OBJET DE L'INVENTION#:

- [0006] Pour réconcilier les différentes contraintes liées à la présence de micro-défauts BMD dans le substrat support d'une structure SOI, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une structure SOI, notamment adaptée pour applications photoniques, dont le substrat support comprend :

- une couche de surface appauvrie en micro-défauts BMD, présentant une épaisseur supérieure à 40µm, typiquement comprise entre 40µm et 100µm, et
- une couche profonde riche en micro-défauts BMD, pour garantir un comportement mécanique stable du substrat support, et donc de la structure SOI, au cours de sa fabrication et au cours de l'élaboration des composants.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION#:

- [0007] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une structure SOI, comprenant les étapes suivantes :
- [0008] a) la fourniture d'un substrat initial en silicium monocristallin, présentant une teneur en oxygène interstitiel comprise entre 15 et 27 ppma selon la norme ASTM'79 et

une résistivité inférieure à 200 ohms.cm, le substrat initial étant destiné à former un substrat support pour la structure SOI après avoir subi l'étape b) subséquente :

- [0009] b) l'application d'une séquence de traitements thermiques au substrat initial alors qu'il est dépourvu, au moins sur une face avant, d'une couche d'oxyde de silicium autre qu'éventuellement une couche d'oxyde natif, ladite séquence consistant en :
- [0010] - un premier traitement thermique défini par un plateau à une température supérieure à 1200°C et inférieure à 1280°C et d'une durée comprise entre 1 seconde et 60 secondes, par une rampe de descente en température comprise entre 10°C/s et 70°C/s, et par une atmosphère de type argon ou argon-hydrogène, suivi par
- [0011] - un deuxième traitement thermique défini par un plateau à une température comprise entre 900°C et 1100°C, sans palier avant cette température, sous atmosphère neutre ou oxydante, pour former un substrat support comprenant :
- [0012] - une couche de surface dénudée, d'épaisseur supérieure à 40 µm et présentant une concentration en micro-défauts BMD inférieure à 10⁸/cm³, et
- [0013] - une couche profonde enrichie, sous la couche de surface dénudée, présentant une concentration en micro-défauts comprise entre 2.10⁸/cm³ et 5.10¹⁰/cm³.
- [0014] Selon des caractéristiques avantageuses de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison réalisable :
- la température du plateau du premier traitement thermique est comprise entre 1220°C et 1260°C ;
 - le deuxième traitement thermique est défini par des rampes de montée et de descente en température comprises entre 0,5°C/min et 10°C/min ;
 - la température du plateau du deuxième traitement thermique est comprise entre 950°C et 1000°C ;
 - l'atmosphère du deuxième traitement thermique est oxydante, au moins au cours du plateau, pour former, sur le substrat support, tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium, ladite couche diélectrique étant destinée à être disposée entre une couche utile et le substrat support dans la structure SOI ;
 - le procédé de fabrication comprend, après l'étape b) d'application de la séquence de traitements thermiques, une étape c) d'oxydation du substrat support pour former, sur le substrat support, tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium, ladite couche diélectrique étant destinée à être disposée entre une couche utile et le substrat support dans la structure SOI ;
 - le procédé de fabrication comprend en outre les étapes suivantes :

- d) la formation d'une structure intermédiaire comprenant la couche utile en silicium monocristallin disposée sur la couche diélectrique, elle-même disposée sur une face avant du substrat support, par une technique de transfert de couche mince,
- e) l'application d'un troisième traitement thermique à la structure intermédiaire, à une température comprise entre 900°C et 1250°C, sous atmosphère neutre ou réductrice, pour former la structure SOI.

- [0015] L'invention concerne également un substrat support en silicium monocristallin, présentant :
- [0016] - une résistivité inférieure à 200 ohm.cm,
- [0017] - une couche de surface dénudée, d'épaisseur supérieure à 40 μm , présentant une concentration en micro-défauts BMD inférieure à $10^8/\text{cm}^3$,
- [0018] - une couche profonde enrichie, sous la couche de surface dénudée, présentant une concentration en micro-défauts BMD comprise entre $2.10^8/\text{cm}^3$ et $5.10^{10}/\text{cm}^3$.
- [0019] Le substrat support peut comprendre une couche diélectrique en oxyde de silicium au moins sur sa face avant.
- [0020] L'invention concerne enfin une structure SOI comprenant une couche utile disposée sur la couche diélectrique, elle-même disposée sur un substrat support tel que précité.
- [0021] La couche diélectrique présente avantageusement une épaisseur comprise entre 500nm et 2000nm.

Brève description des dessins

- [0022] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquelles :
- [0023] [Fig.1a]
- [0024] [Fig.1b]
- [0025] [Fig.1c] Les figures 1a, 1b et 1c présentent les étapes du procédé de fabrication d'un substrat support pour une structure SOI, conformément à l'invention ;
- [0026] [Fig.2] La [Fig.2] présente une structure SOI comprenant un substrat support conforme à l'invention ;
- [0027] [Fig.3] La [Fig.3] présente des images en coupe de substrats supports conformes à l'invention, obtenues par tomographie par diffusion de la lumière (LST pour « Light Scattering Tomography ») ; la mesure, faite sur chaque substrat support clivé, est basée sur la collecte de la lumière diffusée par les micro-défauts BMD au niveau de la tranche dudit substrat support ;
- [0028] [Fig.4] La [Fig.4] présente des images en coupe de substrats supports non conformes à l'invention, images également obtenues par LST.

- [0029] Certaines 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.

Description des modes de réalisation

- [0030] L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure SOI 100 particulièrement adaptée pour des applications photoniques, lesquelles nécessitent en particulier la formation de tranchées en V et de vias conducteurs dans le substrat support 10 de ladite structure 100. La structure SOI 100 comporte une couche diélectrique enterrée épaisse, typiquement comprise entre 500nm et 2000nm.
- [0031] Le procédé comprend, en premier lieu, une étape a) correspondant à la fourniture d'un substrat initial 10' en silicium monocristallin CZ (processus de croissance de Czochralski). Le substrat initial 10' présente une face avant 10a et une face arrière 10b, sensiblement parallèles à un plan principal (x,y) ([Fig. 1a]). Il prend avantageusement la forme d'une plaquette de forme circulaire, de diamètre typiquement compris entre 200mm et 450mm. Son épaisseur totale, selon l'axe z normal au plan principal (x,y), peut varier entre quelques centaines de microns (par exemple 300 μm) et 1000 μm .
- [0032] Le substrat initial 10' présente une teneur en oxygène interstitiel comprise entre 15 et 27 ppma selon la norme ASTM'79. Sa résistivité est inférieure à 200 ohms.cm, typiquement comprise entre 1 ohm.cm et 100 ohms.cm. Le substrat initial 10' est destiné à former un substrat support 10 pour la structure SOI 100 après avoir subi l'étape b) subséquente.
- [0033] L'étape b) correspond à l'application d'une séquence de traitements thermiques au substrat initial 10' nu, c'est-à-dire dépourvu, au moins sur sa face avant 10a, de toute couche d'oxyde de silicium autre qu'éventuellement une couche d'oxyde natif. La séquence consiste en deux traitements thermiques successifs, sans autre cycle thermique intercalé.
- [0034] Le premier traitement thermique est effectué dans un équipement de recuit rapide RTA (« rapid thermal anneal ») et est défini par un plateau en température, des rampes de montée et descente en température et une atmosphère gazeuse. La température du plateau est supérieure à 1200°C et inférieure à 1280°C. Avantageusement, elle est comprise entre 1220°C et 1260°C, voire entre 1220°C et 1250°C. La durée du plateau peut être de 1 seconde à 60 secondes. La rampe de descente est comprise entre 10°C/s et 70°C/s. La rampe de montée est également rapide, mais peut être choisie dans une gamme plus large que la rampe de descente, en particulier entre 10°C/s et 100°C/s. L'atmosphère au cours de ce premier traitement thermique est de type argon ou argon-hydrogène (typiquement Ar > 70%). Une atmosphère azote n'est pas envisageable car un trop grand nombre de lacunes est injecté dans le substrat, notamment par la

face avant 10a, ce qui ne favorise pas l'appauvrissement en lacunes d'une couche de surface de grande épaisseur. Une atmosphère oxydante est également à proscrire car elle participe à compenser l'injection de lacunes, notamment dans une couche profonde du substrat que l'on souhaite au contraire enrichir en lacunes.

- [0035] Ce premier traitement thermique appliqué au substrat initial 10' nu permet de générer un profil de lacunes dans sa profondeur, à savoir une faible concentration de lacunes dans une couche de surface 11', 13' et une forte concentration de lacunes dans une couche profonde 12'.
- [0036] Par couche de surface 11', 13', on entend une couche dont l'épaisseur démarre au niveau d'une face libre 10a, 10b du substrat initial 10' (en particulier, sa face avant 10a, mais potentiellement également sa face arrière 10b) et s'étend sur une profondeur supérieure ou égale à 40µm dans le volume dudit substrat 10' ([Fig.1b]). Notons qu'une couche de surface 13' à faible concentration de lacunes peut être formée du côté de la face arrière 10b du substrat initial 10', si ladite face arrière 10b est – comme la face avant 10a – à nu, durant le premier traitement thermique.
- [0037] Par couche profonde 12', on entend une couche qui est située sous la couche de surface 11', 13' (en partant de la face libre de la couche de surface considérée), et qui s'étend dans le volume du substrat initial 10'. Cette couche profonde à forte concentration de lacunes peut par exemple s'étendre entre la couche de surface 11' en face avant 10a et celle 13' en face arrière 10b du substrat initial 10'. Plus tard dans la séquence thermique appliquée au substrat initial 10', les lacunes vont aider à fixer des précipités d'oxygène là où elles sont présentes, en constituant des sites préférentiels de nucléation.
- [0038] Pendant le plateau du premier traitement thermique, des lacunes peuvent être générées partout dans le substrat initial 10', en surface comme en profondeur, avec une densité dépendant du budget thermique appliqué. Lors de la descente en température, ces lacunes diffusant très vite, la probabilité qu'elles se recombinent à la surface est plus grande si on est proche de la surface, on a donc un gradient de lacunes à la surface, qui peut être modulé notamment par la vitesse de descente en température : plus on descend vite, plus on va figer les lacunes sur place et peu recombiner à la surface, ce qui donne lieu à une couche de surface appauvrie en lacunes de faible épaisseur ; plus on descend lentement, plus le gradient de concentration de lacunes sera prononcé, ce qui se traduit par une couche de surface de plus forte épaisseur. Cela étant, en dessous d'une certaine vitesse de descente en température, même les lacunes situées en profondeur tendent à diffuser et à se recombinaison en surface, ce qui impacte négativement la couche profonde attendue riche en lacunes. L'atmosphère de recuit a également un impact : comparée à une atmosphère argon, une ambiance argon-hydrogène ajoute une participation de l'hydrogène (qui diffuse vite dans le

substrat initial 10') à la passivation des lacunes, en surface mais également plus en profondeur, ce qui peut permettre d'augmenter l'épaisseur de la couche de surface. A contrario, dans certaines conditions d'application, une atmosphère Ar/H peut amoindrir la concentration en lacunes de la couche profonde, ce qui n'est pas souhaitable.

- [0039] Les conditions du premier traitement thermique précitées (températures du plateau, rampes, durées, atmosphères) apportent le bon compromis pour générer une épaisseur de couche de surface 11',13' appauvrie en lacunes, comprise typiquement entre 40 μm et 100 μm , et une couche profonde 12' très riche en lacunes. En outre, ces conditions évitent, ou tout au moins limitent, la création de défauts tels que des lignes de glissement SL (« slip lines ») ou des marques PM (« pinmarks ») dans ou sur le substrat initial 10', préjudiciables à la future structure SOI.
- [0040] Dans la séquence selon l'invention, le premier traitement thermique est suivi par un deuxième traitement thermique, défini par un plateau à une température comprise entre 900°C et 1100°C, sans palier avant cette température. Préférentiellement, la température du plateau est comprise entre 950°C et 1000°C. La durée du plateau est typiquement comprise entre 2h et plusieurs dizaines d'heures, par exemple 40h. Les rampes de montée et de descente en température sont avantageusement comprises entre 0,5°C/min et 10°C/min et peuvent éventuellement être différentes entre elles. L'atmosphère du deuxième traitement thermique peut être neutre ou oxydante. Ce deuxième traitement thermique est avantageusement opéré dans un four classique (avec tube vertical ou horizontal).
- [0041] Le deuxième traitement thermique favorise la précipitation d'oxygène sur les lacunes distribuées dans le substrat 10' selon le profil figé lors du premier traitement thermique. La précipitation est rendue possible par la présence d'oxygène interstitiel, ce qui rappelle l'importance du choix de la gamme de teneurs en oxygène interstitiel du substrat initial 10' fourni à l'étape a) du procédé.
- [0042] Le deuxième traitement thermique est également défini de manière à ne pas passiver ou recombinaison les lacunes avant qu'elles n'aient aidé à créer des micro-défauts BMD.
- [0043] Cette séquence de traitements thermiques est essentielle pour former le substrat support 10 visé, dont une couche de surface dénudée 11,13 (issue de la couche de surface 11',13'), d'épaisseur supérieure ou égale à 40 μm , présente une concentration en micro-défauts BMD inférieure à $10^8/\text{cm}^3$, et dont une couche profonde enrichie 12 (issue de la couche profonde 12'), sous la couche de surface dénudée 11,13, présente une concentration en micro-défauts BMD comprise entre $2.10^8/\text{cm}^3$ et $5.10^{10}/\text{cm}^3$. Rappelons que la densité et potentiellement la taille des micro-défauts BMD sont classiquement mesurées par tomographie par diffusion de la lumière (LST pour « Light

Scattering Tomography »), au niveau de la tranche (dans le plan (y,z) sur les figures) du substrat support 10.

- [0044] Le substrat support 10 obtenu présente en outre une excellente qualité mécanique, avec une très faible densité de défauts de type SL ou PM, voire aucun de ces défauts, à l'issue de la séquence de traitements thermiques. L'absence (ou la très faible densité) de ces défauts, et la concentration en micro-défauts BMD supérieure ou égale à $2 \times 10^8/\text{cm}^3$ vont conférer au substrat support 10 une grande robustesse mécanique lors de traitements thermiques ultérieurs à hautes températures, et éviter les défaillances de type lignes de glissement SL dans la future structure SOI (tant lors de son élaboration que lors de celle des composants). La couche de surface dénudée 11,13, qui peut s'étendre sur une épaisseur comprise entre 40 μm à 100 μm , est particulièrement adaptée à la formation de tranchées en V ou de vias, lors de la fabrication de composants sur et/ou dans la structure SOI 100.
- [0045] Selon un mode particulier de réalisation du procédé, l'atmosphère du deuxième traitement thermique est oxydante, au moins au cours du plateau, pour former, sur le substrat support 10, tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium, ladite couche diélectrique 20 étant destinée à être disposée entre une couche utile 30 et le substrat support 10 dans la structure SOI 100. Ce mode de réalisation est avantageux en ce qu'il permet de combiner deux fonctions du deuxième traitement thermique et de rationaliser les étapes thermiques appliquées au substrat support 10.
- [0046] A titre d'exemple, pour former une couche diélectrique de 2 μm sur le substrat support 10, le deuxième traitement thermique pourra être défini par des rampes de montée en température de quelques degrés par minute, jusqu'à 1000°C, sous atmosphère argon avec faible apport d'oxygène, un plateau à une température de 1000°C sous atmosphère oxydante, et une rampe de descente de quelques degrés par minute.
- [0047] Selon un autre mode de réalisation, le procédé de fabrication comprend, après l'étape b) d'application de la séquence de traitements thermiques, une étape c) d'oxydation du substrat support 10 pour former, sur ledit substrat support, tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium ; la couche diélectrique 20 est destinée à être disposée entre une couche utile 30 et le substrat support 10 dans la structure SOI 100. L'étape c) d'oxydation n'a pas d'influence négative sur la couche de surface dénudée 11,13 et la couche profonde enrichie 12, car la précipitation d'oxygène sur les lacunes s'est opérée lors du deuxième traitement thermique. L'étape c) peut alors induire une augmentation de la taille des micro-défauts BMD.
- [0048] Rappelons que les applications photoniques sur silicium requièrent en général des structures SOI comportant une couche diélectrique enterrée épaisse, typiquement comprise entre 500nm et 2000nm. Cette épaisseur étant significative, la couche

diélectrique 20 est crue préférentiellement (ou tout au moins en grande majorité) sur le substrat support 10, car une forte épaisseur de couche diélectrique sur la face avant du substrat donneur (en référence au procédé Smart Cut) rend difficile la formation du plan fragile enterré par implantation ionique.

[0049] La [Fig.3] montre deux exemples de substrat support 10 élaborés selon un procédé conforme à l'invention. En particulier, la séquence de l'étape b) a consisté en un premier traitement thermique défini par un plateau à une température comprise entre 1220°C et 1260°C, d'une durée comprise entre 1 seconde et 60 secondes, et par une rampe de descente en température comprise entre 10°C/s et 70°C/s, suivi par un deuxième traitement thermique défini par un plateau à une température comprise entre 950°C et 1000°C, sans palier avant cette température, sous atmosphère oxydante. Les images ont été obtenues par LST. On observe dans les deux cas, une couche de surface dénudée 11 et une couche profonde enrichie en BMD 12 ; l'épaisseur de la couche de surface dénudée 11 peut être supérieure grâce à l'implémentation d'une atmosphère Ar/H lors du premier traitement thermique : sur l'image de gauche de la [Fig.3], l'épaisseur de la couche de surface dénudée 11 est de 70 µm environ pour une atmosphère Ar, alors que sur l'image de droite, l'épaisseur de la couche dénudée 11 est de 90 µm environ pour une atmosphère Ar/H, avec une concentration d'hydrogène inférieure à 30%. Le substrat support 10, dans les deux exemples, présente une bonne qualité mécanique avec pas ou très peu de défauts SL et PM.

[0050] La [Fig.4] présente deux exemples de substrat support dont le procédé de fabrication n'est pas conforme à la présente invention. Une température de plateau au premier traitement thermique de 1200°C (ou inférieure), même sous atmosphère Ar/H et en utilisant une rampe de descente en température comprise entre 10°C/s et 70°C/s, ne permet pas de générer le profil de lacunes attendu : à l'issue de la séquence de traitements thermiques, le substrat support (hors de l'invention) ne présente pas de couche de surface dénudée (exemple à gauche sur la [Fig.4]). En outre, en utilisant un premier traitement thermique défini par un plateau à une température comprise entre 1220°C et 1280°C, d'une durée comprise entre 1 seconde et 60 secondes, même sous atmosphère Ar/H, il s'avère qu'une rampe de descente en température trop lente au cours du premier traitement thermique est préjudiciable à la conservation d'un profil de lacunes marqué : par exemple, avec une rampe de descente de 5°C/s, le substrat support à l'issue de la séquence de traitements thermiques ne présente pas de couche profonde enrichie (exemple à droite sur la [Fig.4]).

[0051] Après l'obtention du substrat support 10, le procédé de fabrication selon l'invention comprend en outre une étape d) correspondant à la formation d'une structure intermédiaire comprenant la couche utile 30 en silicium monocristallin disposée sur la couche diélectrique 20, elle-même disposée sur une face avant 10a dudit substrat

support 10, par une technique de transfert de couche mince telle que le procédé Smart Cut™.

- [0052] Un substrat donneur en silicium monocristallin est implanté par sa face avant, de manière à définir un plan fragile enterré sensiblement parallèle à ladite face avant et délimitant, avec cette dernière, la couche mince à reporter. L'implantation est habituellement faite avec des espèces légères telles que des ions d'hydrogène, d'hélium ou une combinaison de ces deux espèces. Le plan fragile est ainsi nommé car il comprend des nano-fissures sous forme lenticulaire générées par les espèces légères implantées.
- [0053] Selon une option préférentielle, évoquée précédemment, une couche diélectrique 20 est formée au moins sur la face avant 10a du substrat support 10. Il n'est pour autant pas exclu qu'une partie de la couche diélectrique enterrée de la future structure SOI soit élaborée sur le substrat donneur.
- [0054] Le substrat donneur et le substrat support 10 sont ensuite assemblés, par collage direct entre les faces avant desdits substrats, pour former un ensemble collé. Des nettoyages et/ou activations de surface, bien connus dans le domaine du collage par adhésion moléculaire, pourront être appliqués aux substrats préalablement à l'assemblage, pour obtenir une excellente qualité de collage. Un assemblage en atmosphère contrôlée est également possible.
- [0055] La séparation au niveau du plan fragile enterré s'effectue préférentiellement par application d'un traitement thermique à température moyenne, typiquement entre 350°C et 500°C, du fait de la croissance de microfissures par coalescence et mise sous pression des espèces gazeuses. Alternativement ou conjointement, la séparation peut être provoquée par l'application d'une contrainte mécanique à l'ensemble collé.
- [0056] A l'issue de cette séparation, on obtient une structure intermédiaire de type SOI, d'une part, et le reste du substrat donneur, d'autre part. Des séquences de finition, comprenant des nettoyages, des traitements de surface (gravure, polissage, etc.) et/ou des traitements thermiques, sont habituellement appliquées à la structure SOI intermédiaire, et visent à retirer une partie superficielle de la couche utile 30 reportée. Cela permet de restaurer un bon état de surface (défectivité et rugosité) et une bonne qualité cristalline à la couche utile 30 en silicium. La couche utile 30 présente typiquement une épaisseur comprise entre 50 nm et 500 nm.
- [0057] Le procédé de fabrication comprend ensuite une étape e) d'application d'un troisième traitement thermique à la structure intermédiaire, à une température comprise entre 900°C et 1250°C, sous atmosphère neutre ou réductrice, pour former la structure SOI. Un tel traitement thermique n'affecte pas la couche de surface dénudée 11, 13 et la couche profonde enrichie en BMD 12, induites par la séquence des premier et

deuxième traitements thermiques. Il peut avantageusement induire une augmentation de la taille des micro-défauts BMD.

- [0058] A la suite de quoi, la structure SOI 100 est disponible.
- [0059] L'invention concerne également un substrat support 10 en silicium monocristallin, particulièrement adapté aux structures SOI visant notamment des applications photoniques, le substrat support 10 présentant :
- [0060] - une résistivité inférieure à 200 ohm.cm,
- [0061] - une couche de surface dénudée 11,13, d'épaisseur supérieure à 40 μm , présentant une concentration en micro-défauts (BMD) inférieure à $10^8/\text{cm}^3$,
- [0062] - une couche profonde enrichie 12, sous la couche de surface, présentant une concentration en micro-défauts (BMD) comprise entre $2.10^8/\text{cm}^3$ et $5.10^{10}/\text{cm}^3$.
- [0063] Le substrat support 10 peut en outre comporter une couche diélectrique en oxyde de silicium sur sa face avant 10a et/ou sur sa face arrière 10b. Préférentiellement, ladite couche diélectrique présente une épaisseur comprise entre 500nm et 2000nm.
- [0064] Enfin, l'invention concerne une structure SOI comprenant une couche utile 30 en c-Si disposée sur la couche diélectrique 20, elle-même disposée sur le substrat support 10 précité. Cette structure SOI est particulièrement adaptée à la fabrication de composants photoniques sur et/ou dans la couche utile 30 ainsi que dans le substrat support 10 (en particulier, tranchées en V et vias conducteurs).
- [0065] Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ni au domaine des applications photoniques, et on peut y apporter des variantes de réalisation ou d'utilisation, sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication d'une structure SOI (100), comprenant les étapes suivantes :

a) la fourniture d'un substrat initial (10') en silicium monocristallin, présentant une teneur en oxygène interstitiel comprise entre 15 et 27 ppma selon la norme ASTM'79 et une résistivité inférieure à 200 ohms.cm, le substrat initial (10') étant destiné à former un substrat support (10) pour la structure SOI (100) après avoir subi l'étape b) subséquente :

b) l'application d'une séquence de traitements thermiques au substrat initial (10') alors qu'il est dépourvu, au moins sur une face avant (10a), d'une couche d'oxyde de silicium autre qu'éventuellement une couche d'oxyde natif, ladite séquence consistant en :

- un premier traitement thermique défini par un plateau à une température supérieure à 1200°C et inférieure à 1280°C et d'une durée comprise entre 1 seconde et 60 secondes, par une rampe de descente en température comprise entre 10°C/s et 70°C/s, et par une atmosphère de type argon ou argon-hydrogène, suivi par
- un deuxième traitement thermique défini par un plateau à une température comprise entre 900°C et 1100°C, sans palier avant cette température, sous atmosphère neutre ou oxydante, pour former un substrat support (10) comprenant :
 - une couche de surface dénudée (11), d'épaisseur supérieure à 40 µm et présentant une concentration en micro-défauts (BMD) inférieure à $10^8/\text{cm}^3$, et
 - une couche profonde enrichie (12), sous la couche de surface dénudée (11), présentant une concentration en micro-défauts (BMD) comprise entre $2.10^8/\text{cm}^3$ et $5.10^{10}/\text{cm}^3$.

[Revendication 2]

Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel la température du plateau du premier traitement thermique est comprise entre 1220°C et 1260°C.

[Revendication 3]

Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le deuxième traitement thermique est défini par des rampes de montée et de descente en température comprises entre 0,5°C/min et 10°C/min.

- [Revendication 4] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la température du plateau du deuxième traitement thermique est comprise entre 950°C et 1000°C.
- [Revendication 5] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'atmosphère du deuxième traitement thermique est oxydante, au moins au cours du plateau, pour former, sur le substrat support (10), tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium, ladite couche diélectrique (20) étant destinée à être disposée entre une couche utile (30) et le substrat support (10) dans la structure SOI (100).
- [Revendication 6] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant, après l'étape b) d'application de la séquence de traitements thermiques, une étape c) d'oxydation du substrat support (10) pour former, sur le substrat support (10), tout ou partie d'une couche diélectrique en oxyde de silicium, ladite couche diélectrique (20) étant destinée à être disposée entre une couche utile (30) et le substrat support (10) dans la structure SOI (100).
- [Revendication 7] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 5 et 6, comprenant en outre les étapes suivantes :
- d) la formation d'une structure intermédiaire comprenant la couche utile (30) en silicium monocristallin disposée sur la couche diélectrique (20), elle-même disposée sur une face avant (10a) du substrat support (10), par une technique de transfert de couche mince,
 - e) l'application d'un troisième traitement thermique à la structure intermédiaire, à une température comprise entre 900°C et 1250°C, sous atmosphère neutre ou réductrice, pour former la structure SOI (100).
- [Revendication 8] Substrat support (10) en silicium monocristallin, présentant :
- une résistivité inférieure à 200 ohm.cm,
 - une couche de surface dénudée (11,13), d'épaisseur supérieure à 40 μm , présentant une concentration en micro-défauts (BMD) inférieure à $10^8/\text{cm}^3$,
 - une couche profonde enrichie (12), sous la couche de surface dénudée (11,13), présentant une concentration en micro-défauts (BMD) comprise entre $2.10^8/\text{cm}^3$ et $5.10^{10}/\text{cm}^3$.

- [Revendication 9] Substrat support (10) selon la revendication 8, comprenant une couche diélectrique (20) en oxyde de silicium au moins sur sa face avant (10a).
- [Revendication 10] Structure SOI (100) comprenant une couche utile (30) disposée sur la couche diélectrique (20), elle-même disposée sur un substrat support (10) selon la revendication 9.
- [Revendication 11] Structure (100) selon la revendication précédente, dans laquelle la couche diélectrique (20) présente une épaisseur comprise entre 500nm et 2000nm.