

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 046 877

②① N° d'enregistrement national : **16 50279**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 L 21/461 (2017.01)**

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 14.01.16.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.07.17 Bulletin 17/29.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SOITEC* — FR.

⑦② Inventeur(s) : LANDRU DIDIER, KONONCHUK
OLEG et DAVID CAROLE.

⑦③ Titulaire(s) : *SOITEC*.

⑦④ Mandataire(s) : *IP TRUST*.

⑤④ **PROCEDE DE LISSAGE DE LA SURFACE D'UNE STRUCTURE.**

⑤⑦ L'invention concerne un procédé de lissage d'une
structure de silicium sur isolant comprenant l'exposition
d'une surface de la structure à un flux de gaz neutre ou ré-
ducteur et à une température élevée au cours d'un traite-
ment thermique, le procédé comportant:

une première étape de traitement thermique à une pre-
mière température et sous un premier flux de gaz défini par
un premier débit;

Le procédé étant remarquable en ce qu'il comporte:
une deuxième étape de traitement thermique à une
deuxième température inférieure à la première température
et sous un deuxième flux de gaz défini par un deuxième dé-
bit inférieur au premier débit.

FR 3 046 877 - A1



PROCEDE DE LISSAGE DE LA SURFACE D'UNE STRUCTURE

DOMAINE DE L'INVENTION

5 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une structure comprenant successivement une couche utile semi-conductrice, une couche diélectrique et un substrat support. Elle concerne en particulier un procédé de lissage de la surface de la couche utile. Ces structures trouvent notamment leur
10 application dans les domaines de la microélectronique, de la micromécanique, de la photonique, etc.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

15 On connaît de l'état de la technique différents procédés permettant de former une structure intermédiaire comprenant en succession une couche superficielle semi-conductrice, une couche diélectrique, et un substrat support. Il peut s'agir par exemple de procédés de fabrication par transfert de couche (tels que les
20 procédés connus sous les dénominations Smart Cut™ ou Eltran™) ou encore du procédé de fabrication par implantation d'oxygène (et connu sous l'acronyme SIMOX : Séparation par implantation d'oxygène).

Cette structure intermédiaire, au cours d'une étape suivante
25 de finition, subit différents traitements afin de transformer la couche superficielle en une couche utile présentant toutes les caractéristiques attendues notamment en terme d'épaisseur moyenne, d'uniformité d'épaisseur, de rugosité, de qualité cristalline, etc.

30 Ces procédés connus sont notamment employés pour la fabrication de structures de silicium sur isolant (SOI pour « Silicon on Insulator » selon la terminologie anglo-saxonne). Dans ce cas, la couche superficielle qui deviendra la couche
35 utile et le support sont typiquement constitués de silicium et la couche diélectrique de dioxyde de silicium.

Ces structures SOI doivent respecter des spécifications très précises. C'est notamment le cas pour la rugosité finale de la
40 couche utile et les uniformités d'épaisseur de la couche utile

et de la couche diélectrique sous-jacente. Le respect de ces spécifications est requis pour le bon fonctionnement des dispositifs semi-conducteurs qui seront formés dans et sur la couche utile.

5

Parmi les traitements usuels de finition appliqués à une structure intermédiaire, on connaît les traitements de recuit lissant consistant à exposer la couche superficielle à une atmosphère neutre ou réductrice portée à une température élevée, typiquement supérieure à 1100°C. Ce traitement permet entre autres, par reconstruction de surface, de réduire la rugosité de la couche exposée à l'atmosphère haute température.

Ces recuits peuvent être effectués dans des fours aptes à traiter une pluralité de structures SOI simultanément, sous un flux de gaz neutre ou réducteur contrôlé pour favoriser l'homogénéité thermique du four. Ce gaz est filtré afin d'être extrêmement pur (moins de 1 ppm d'impuretés) car tout contaminant (O₂, H₂O, CO₂...) susceptible de réagir avec le silicium perturbe le lissage de surface. Un lissage imparfait est caractérisé par un niveau de rugosité résiduel ou non uniforme à la surface de la couche utile.

Rappelons que les mesures de rugosité sont généralement effectuées grâce à un microscope à force atomique (AFM selon l'acronyme correspondant à l'appellation anglo-saxonne de « Atomic Force Microscope »). Avec ce type d'appareil, la rugosité est mesurée sur des surfaces balayées par la pointe du microscope AFM, allant de 1x1 µm² à 10x10 µm² et plus rarement 50x50 µm², voire 100x100 µm². Il est également possible de mesurer la rugosité de surface par d'autres méthodes, en particulier par le biais d'une mesure de « haze » selon la terminologie anglo-saxonne répandue. Cette méthode présente notamment l'avantage de caractériser rapidement l'uniformité de la rugosité sur toute la surface de la couche utile. Ce « haze », mesuré en ppm, est issu d'une méthode utilisant les propriétés de réflectivité optique de la surface à caractériser, et correspond à un signal optique diffusé par la surface, en raison de sa microrugosité. On précise que les valeurs de « haze » qui seront exposées dans ce texte sont exprimées en unités arbitraires et ont été effectuées selon un même protocole

et par un même dispositif, en l'occurrence par un instrument de type KLA Tencor Surfscan SP (marque déposée).

5 Dans les gammes de températures élevées et de temps de recuit utilisés pour lisser les surfaces des structures SOI dont la couche superficielle est fine, un phénomène de dissolution de la couche d'oxyde sous-jacente est susceptible de se produire. Le phénomène de dissolution est notamment reporté dans le document « Novel trends in SOI Technology for CMOS
10 applications » de O. Kononchuck et Al. paru dans la revue Solid State Phenomena, volume 156 - 158 (2010) p 69 à 76. Ce document explique en effet que, dans l'atmosphère de traitement neutre ou réductrice à haute température, les atomes d'oxygène de la couche diélectrique sont susceptibles de diffuser à travers la
15 couche superficielle et de réagir avec la surface de celle-ci pour produire des espèces volatiles (monoxyde de silicium gazeux SiO) qui sont évacuées dans l'atmosphère du four par le flux de gaz neutre. Ce document explique également que pour des structures SOI présentant une couche superficielle fine, la
20 diffusion de l'oxygène à travers la couche superficielle est limitée par la capacité d'évacuation des espèces volatiles de la surface de la structure, et donc que l'ampleur du phénomène de dissolution est localement liée à la vitesse de gaz de l'atmosphère du four à proximité de la surface.

25 Si le monoxyde de silicium gazeux (SiO) s'accumule à la surface de la couche superficielle pendant le traitement thermique, il freine donc localement la dissolution, entraînant des différences d'épaisseur de la couche superficielle et de la couche diélectrique sur le produit final, ce qui est
30 particulièrement dommageable. Afin de limiter l'accumulation locale de SiO, il est nécessaire de maintenir un flux important de gaz dans le four, car le SiO est justement évacué via le flux de gaz neutre ou réducteur circulant dans le four.

35 La demanderesse a remarqué que malgré l'uniformité et la pureté contrôlées du flux de gaz dans le four lors d'un traitement thermique de lissage à température élevée et sous un fort flux de gaz neutre ou réducteur, certaines structures SOI présentent des niveaux de « haze » supérieurs au niveau attendu.
40 C'est en particulier vrai sur les bords de ces structures, comme

illustré en figure 1. Des zones périphériques 100 de rugosité résiduelle élevée sont présentes sur la couche utile : elles se traduisent sur la cartographie de « haze » de la figure 1 par des zones plus sombres, représentatives d'une plus forte rugosité (notons que la partie centrale de la cartographie présente des régions plus sombres en forme d'ailes de papillon, également nommé « haze cross », qui ne correspondent pas à une plus forte rugosité mais à un artefact du mode de mesure utilisé). Les zones périphériques 100 sont un problème pour le produit final pour lequel la rugosité de surface et son uniformité à la surface de la structure SOI sont des paramètres clé.

Ainsi, un recuit de lissage selon l'état de l'art permet de lisser globalement la surface des structures SOI, en garantissant une bonne uniformité d'épaisseur des structures SOI finales (grâce à une évacuation suffisante des espèces volatiles liées à la dissolution) mais génère sur certaines structures traitées des zones périphériques 100 de rugosité résiduelle, incompatibles avec les spécifications de rugosité du produit final.

OBJET DE L'INVENTION

Un objet de l'invention est donc de proposer un procédé obviant les inconvénients de l'art antérieur. Un objet de l'invention est notamment un procédé de lissage de la surface d'une structure de silicium sur isolant permettant de limiter l'apparition de zones périphériques de rugosité résiduelle, sans dégrader l'uniformité d'épaisseur de la couche superficielle et du diélectrique enterré.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de lissage d'une structure de silicium sur isolant comprenant l'exposition d'une surface de la structure à un flux de gaz neutre ou réducteur et à une température élevée au cours d'un traitement thermique, le procédé comportant une première étape de traitement thermique à une première température et sous un

premier flux de gaz défini par un premier débit. Le procédé est remarquable en ce qu'il comporte en outre, une deuxième étape de traitement thermique à une deuxième température inférieure à la première température et sous un deuxième flux de gaz défini par un deuxième débit inférieur au premier débit.

La première étape du procédé permet le lissage efficace de surface en parallèle avec un phénomène de dissolution uniforme. Lors de la deuxième étape du procédé, un lissage de la surface peut également s'opérer et rectifier les zones périphériques de rugosité résiduelle générée lors de la première étape. Les conditions de température du deuxième traitement thermique sont telles que le phénomène de dissolution est très lent voire inexistant, ce qui permet de diminuer le flux de gaz et ainsi de limiter les contaminants injectés dans le four et susceptibles de gêner le lissage (notamment en créant lesdites zones périphériques de rugosité résiduelle) : la deuxième étape du procédé permet donc d'améliorer le lissage de la surface, notamment au niveau des zones périphériques, sans dégrader l'uniformité d'épaisseur de la couche superficielle et du diélectrique enterré.

Selon des caractéristiques avantageuses de l'invention, prises seules ou en combinaison :

- Le procédé comporte une étape préliminaire de fourniture de la structure SOI comprenant une couche superficielle mince disposée sur une couche diélectrique, elle-même disposée sur un substrat support, la couche superficielle ayant une épaisseur inférieure à 500nm ;
- la première température est supérieure à une température seuil et la deuxième température est inférieure à ladite température seuil qui est comprise entre 1150°C et 1170°C ;
- la première température est comprise entre 1160°C et 1200°C, préférentiellement entre 1170°C et 1200°C ;
- la deuxième température est comprise entre 1130°C et 1170°C, préférentiellement entre 1130°C et 1160°C ;
- la deuxième étape de traitement thermique comporte un palier à la deuxième température d'une durée déterminée ;
- la durée du palier est comprise entre 1 min et 2h ;

- la deuxième étape de traitement thermique comporte une rampe de descente en température comprise entre 0.1°/min et 20°/min, à partir de la deuxième température ;
- le premier débit est supérieur à 20 slm ;
- 5 • le deuxième débit est inférieur à 15 slm ;
- le gaz neutre est choisi parmi l'argon ou un mélange d'argon et d'hydrogène ;
- la première étape et la deuxième étape de traitement thermique s'enchainent au cours d'un même traitement
- 10 thermique.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- la figure 1 présente une cartographie de « haze » mesuré sur la surface d'une structure SOI comportant des zones
20 périphériques de rugosité résiduelle ;
- la figure 2 présente des étapes de fabrication d'une structure SOI selon le procédé Smart Cut® ;
- la figure 3 présente un graphe avec le niveau de rugosité maximum mesuré sur chaque structure SOI après un procédé
25 de lissage de l'état de l'art ;
- la figure 4 présente un graphe avec le niveau de rugosité maximum mesuré sur chaque structure SOI après un procédé de lissage selon l'invention ;
- la figure 5 présente un graphe avec le niveau de rugosité
30 maximum mesuré sur chaque structure SOI après un procédé de lissage selon l'invention ;

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

35 La figure 2 présente des étapes de fabrication d'une structure de silicium sur isolant (SOI) 11' selon un mode de réalisation du procédé Smart Cut®. Un substrat donneur 1 de silicium subit une étape d'oxydation thermique (figure 2a) pour faire croître la future couche diélectrique 2 enterrée de la
40 structure SOI. L'épaisseur de l'oxyde pourra par exemple varier

entre quelques nanomètres et quelques centaines de nanomètres. Le substrat donneur 1 est ensuite implanté avec des ions légers 3 (figure 2b). A titre d'exemple, une co-implantation d'hélium ($1^{e}16/cm^2$) et d'hydrogène ($1^{e}16/cm^2$) pourra être effectuée, à une
5 énergie adaptée à l'épaisseur souhaitée de la future couche superficielle de silicium. Cette étape d'implantation forme un plan fragile enterré 4 dans le substrat donneur 1. Le substrat donneur 1 implanté est ensuite assemblé avec un substrat support 5, par exemple par collage par adhésion moléculaire (figure 2c).
10 Un recuit de détachement, par exemple dans la gamme de température 350-600°C, permet alors de faire croître des cavités dans le plan fragile enterré 4 pour provoquer la séparation du substrat donneur 1 au niveau de ce plan 4. Une structure SOI intermédiaire 11 est alors formée (figure 2d) : elle comporte
15 une couche superficielle 10 issue du substrat donneur 1, disposée sur la couche diélectrique 2, elle-même assemblée au substrat support 5. A ce stade, la surface de la couche superficielle 10 est rugueuse (par exemple, de l'ordre de 3 à 10nm RMS - mesure AFM). Pour que cette couche superficielle 10
20 soit compatible avec les applications microélectroniques, il est nécessaire de réduire sa rugosité, uniformément sur toute la surface de la structure SOI, jusqu'à une valeur de l'ordre de 0,05 à 0,5nm RMS (mesure AFM).

Pour cela, différents traitements peuvent être réalisés,
25 notamment des étapes d'oxydation sacrificielle et de polissage mécano-chimique. Il apparaît néanmoins que, pour des couches superficielles 10 minces (par exemple d'épaisseur inférieure à 500nm voire inférieure à 300nm) dont l'uniformité en épaisseur sur le substrat est critique (typiquement PV (peak-to-valley)
30 <3nm), le polissage, bien qu'efficace pour réduire la rugosité, souffre d'une trop forte non uniformité d'enlèvement pour être compatible avec les spécifications des structures SOI finales 11'.

Il est donc particulièrement intéressant d'appliquer des
35 traitements thermiques de lissage, permettant d'obtenir une plus grande uniformité d'épaisseur finale de la couche utile 10' (figure 2e).

Durant ces traitements thermiques de lissage, la surface d'une structure SOI intermédiaire 11 est exposée à un flux de
40 gaz neutre ou réducteur, à une température typiquement

supérieure à 1100°C : dans ces conditions, la mobilité de surface des atomes de silicium est importante et conduit à un lissage de la surface de la couche superficielle 10 exposée. Plus la température est importante, plus le lissage de la surface sera efficace et rapide. L'atmosphère neutre ou réductrice à laquelle la structure est exposée sera préférentiellement composée d'argon ou d'un mélange d'argon et d'hydrogène (par exemple <1% d'hydrogène).

Ces traitements thermiques sont avantageusement réalisés dans des fours de grande dimension pouvant contenir une pluralité de structures SOI intermédiaires 11.

La demanderesse a remarqué que certaines structures SOI positionnées à proximité de l'injection de gaz dans le four présentent des niveaux de « haze » supérieur au niveau obtenu dans le reste du four. C'est en particulier vrai sur les bords des structures (illustré en figure 1). Ces zones périphériques 100 de rugosité résiduelle élevée sur la couche utile 10' sont un problème pour le produit final pour lequel la rugosité de surface et son uniformité à la surface de la structure SOI 11' sont des paramètres clé.

Cette rugosité résiduelle peut être identifiée sur les cartographies de « haze » (figure 1) et à partir des valeurs maximales de « haze » mesurées sur chaque structure SOI 11' après le traitement de lissage. La figure 3 présente en ordonnées les valeurs maximales de « haze » mesurées sur les structures positionnées à différents emplacements (abscisses) dans le four. Il apparaît clairement que les structures dans les positions 74 à 86 présentent un niveau de « haze » plus élevé comparativement aux autres positions : en particulier, un niveau de « haze » supérieur à 0,17 (unités arbitraires) n'est pas compatible avec les applications visées.

La demanderesse a déduit de différents essais que ces zones 100 de rugosité résiduelle, préférentiellement sur les bords des structures SOI, étaient dues à l'exposition de ceux-ci au gaz frais comportant, même en très faible quantité, des contaminants (par exemple O₂, H₂O, CO₂...). En effet, la présence de ce type de contaminants perturbe le phénomène de lissage en bloquant localement la mobilité des atomes de silicium à la surface. Il reste alors des zones périphériques 100 sur la couche utile 10' traitée, sur lesquelles la rugosité est supérieure au niveau

attendu, ce qui rend les structures SOI finales 11' incompatibles avec les applications visées.

5 Le procédé de lissage d'une structure SOI 11 selon l'invention comprend l'exposition de la surface de la structure 11 à un flux de gaz neutre ou réducteur et à une température élevée, au cours d'un traitement thermique. Il comporte une première étape de traitement thermique à une première
10 température et sous un premier flux de gaz défini par un premier débit. Au cours de cette première étape, un premier lissage de la surface de la couche superficielle 10 s'opère ainsi qu'une première dissolution de la couche d'oxyde 2 sous-jacente. La première température est choisie dans une gamme de températures
15 élevées, en particulier entre 1160°C et 1200°C, et préférentiellement entre 1170°C et 1200°C. On est ainsi dans un domaine de budget thermique où le lissage de surface est efficace sur une couche superficielle de silicium : le premier lissage permet de diminuer la rugosité, à la surface de la
20 couche superficielle 10, sur toute la gamme de fréquences spatiales recherchées, de 0,1nm à quelques microns, et ce dans un temps raisonnablement court, pouvant aller de 5min à 1200°C jusqu'à environ 2h à 1170°C.

Comme évoqué précédemment, dans cette gamme de températures
25 élevées, un phénomène de dissolution de la couche d'oxyde enterrée 2 peut se produire. Pour éviter de dégrader les uniformités d'épaisseur des couches superficielle 10 et diélectrique 2, il est donc important de maintenir pendant le recuit de lissage un flux de gaz suffisant pour évacuer les
30 espèces volatiles SiO formées par le phénomène de dissolution.

Pendant cette première étape, le flux de gaz dans le four est maintenu à un premier débit important, pour éviter toute accumulation d'espèces volatiles liées au phénomène de dissolution de la couche d'oxyde 2. Préférentiellement, le
35 premier débit de gaz est supérieur à 20 slm (« standard litre per minute »). Le phénomène de dissolution est ainsi suffisamment homogène pour ne pas détériorer les uniformités d'épaisseur des couches superficielle 10 et d'oxyde 2 enterré, au point de les rendre incompatibles avec l'application visée.

Cette première étape de traitement thermique du procédé de lissage selon l'invention permet d'éliminer une grande partie de la rugosité de la couche superficielle 10 et d'atteindre un bon niveau moyen de rugosité sur l'ensemble des structures traitées dans le four. Néanmoins, il subsiste des zones périphériques de rugosité résiduelle, notamment sur les structures SOI localisées à proximité de l'injection des gaz dans le four : cette rugosité résiduelle locale rend lesdites structures SOI incompatibles avec les spécifications attendues (les valeurs maximales de « haze » sur ces structures dépassant 0,17 (u.a.)).

Le procédé de lissage selon l'invention comporte donc une deuxième étape de traitement thermique à une deuxième température inférieure à la première température et sous un deuxième flux de gaz défini par un deuxième débit inférieur au premier débit. Au cours de cette deuxième étape, un deuxième lissage de la surface de la couche superficielle 10 s'opère. La deuxième température est inférieure à la première température ; en particulier, elle est choisie dans une gamme de températures entre 1130°C et 1170°C, et préférentiellement entre 1130°C et 1160°C. On est dans un domaine de budget thermique où le lissage de surface est toujours actif mais où la cinétique du phénomène de dissolution est très lente. Les phénomènes de lissage de surface de la couche superficielle 10 et de dissolution de la couche d'oxyde 2 enterré sont tous les deux activés thermiquement, c'est-à-dire qu'ils sont d'autant plus rapides que la température est élevée. Le phénomène de lissage a une cinétique thermique définie par l'énergie d'activation de la diffusion de surface des atomes de silicium qui vaut 2eV. Le phénomène de dissolution a une cinétique thermique définie par l'énergie d'activation de la diffusion des atomes d'oxygène dans le silicium qui vaut 4eV. La dissolution est donc beaucoup plus sensible à la température que le lissage. Ainsi, pendant cette deuxième étape du procédé, à une température inférieure à 1170°C et préférentiellement inférieure à 1160°C, la dissolution est quasiment nulle (vitesse du phénomène très faible) alors que le lissage reste significatif, même si d'une efficacité moindre qu'à des températures plus élevées.

Pendant cette deuxième étape, le flux de gaz dans le four est avantageusement défini par un deuxième débit faible, pour

limiter la quantité de contaminants en contact avec les surfaces des structures SOI. Préférentiellement, le deuxième débit de gaz est inférieur à 15 slm (« standard litre per minute ») ;
5
avantageusement, le deuxième débit est de l'ordre de 5 slm. La vitesse de dissolution étant très faible, l'accumulation de SiO₂ à la surface des structures SOI pendant cette étape est négligeable et il n'y a donc pas de dégradation des uniformités d'épaisseur des couches, malgré les conditions de faible flux de gaz.

10 La demanderesse a constaté de manière surprenante que cette deuxième étape de traitement thermique du procédé de lissage selon l'invention permet d'abaisser significativement le niveau de rugosité dans les zones périphériques 100 de rugosité résiduelle, jusqu'à le rendre compatible avec les spécifications
15 attendues du produit final. La diminution de la quantité de contaminants liée au faible débit de gaz (deuxième flux) permet ainsi au phénomène de lissage de s'opérer avec un bon niveau d'efficacité sur les zones périphériques 100, malgré une deuxième température inférieure à la première température.

20 La première étape et la deuxième étape sont réalisées respectivement à une première température supérieure à une température seuil et à une deuxième température inférieure à une température seuil. Ladite température seuil est comprise entre
25 1150°C et 1170°C, dans le cas d'une structure silicium sur isolant dont l'épaisseur de couche superficielle 10 est préférentiellement comprise entre 200nm et 500nm. Pour des épaisseurs en dehors de cette fourchette, la température seuil pourra être sensiblement différente, notamment du fait de la
30 dépendance du phénomène de dissolution avec l'épaisseur de couche superficielle 10.

Dans le cas d'autres structures, comportant notamment une couche superficielle 10 de nature différente (par exemple, SiGe, Si dopé carbone, etc), la température seuil pourra être comprise
35 dans une fourchette de températures différente, puisque dépendante des phénomènes de lissage (diffusion de surface des atomes) et de dissolution (diffusion de l'oxyde à travers la couche superficielle 10).

Selon un premier mode de mise en œuvre du procédé de lissage selon l'invention, la première étape et la deuxième étape de traitement thermique consistent en deux recuits différents, entre lesquels les structures SOI 11 traitées reviennent à température ambiante.

Selon un deuxième mode de mise en œuvre du procédé de lissage selon l'invention, la première étape et la deuxième étape de traitement thermique s'enchainent au cours d'un même recuit. Selon une première variante, à la fin de la première étape, la température suit une rampe de descente passant de la première température à la deuxième température, par exemple, en maintenant le premier flux de gaz. De manière alternative, le flux de gaz pourra être graduellement diminué au cours de la descente en température, jusqu'à atteindre la deuxième température.

La deuxième étape démarre alors, sous le deuxième flux de gaz, avec un palier à la deuxième température, pendant une durée définie. Ladite durée pourra varier par exemple de quelques minutes à quelques heures, en particulier de 5min à 2h.

Selon une variante, la deuxième étape démarre lorsque la température passe de la première température à la deuxième température. Le flux de gaz passe alors du premier flux au deuxième flux. La deuxième étape ne comporte pas de palier mais s'opère pendant la rampe de descente en température comprise par exemple entre $0.1^{\circ}/\text{min}$ et $20^{\circ}/\text{min}$, à partir de la deuxième température.

Rappelons que l'accumulation d'espèces volatiles (SiO) liée au phénomène de dissolution est d'autant plus rapide que l'épaisseur de la couche superficielle 10 est mince. Le procédé de lissage selon l'invention présente donc un intérêt d'autant plus important que la couche superficielle 10 de la structure SOI 11 est mince et que les spécifications de rugosité et d'uniformité d'épaisseur des couches utile 10' et diélectrique 2 de la structure finale 11' sont exigeantes. Préférentiellement, le procédé de lissage selon l'invention présente un intérêt pour des couches superficielles inférieures à 500nm.

Deux exemples de mise en œuvre vont maintenant être décrits, en référence aux figures 4 et 5.

Exemple 1 :

Le procédé de lissage selon l'invention est appliqué à des structures SOI intermédiaires 11 comportant une couche superficielle 10 de 300nm, une couche d'oxyde 2 enterré de 30nm et un substrat support 5.

La première étape et la deuxième étape de traitement thermique sont enchaînées dans un même recuit.

La première étape de traitement thermique consiste en un recuit pendant 135 min à 1175°C (première température) sous un premier flux d'Argon dont le débit volumétrique est 50 slm. Les structures SOI 11 situées en position haute dans le four, c'est-à-dire à proximité de l'injection de gaz, présentent un niveau de « haze » important, lié à la présence de zones périphériques 100 de rugosité résiduelle.

Le graphe de la figure 4 présente en ordonnées la valeur maximale de « haze » mesuré sur chaque structure, les structures SOI 11 étant situées dans différentes positions (en abscisses) dans le four. La courbe en pointillé correspond aux valeurs maximales de « haze » après un recuit équivalent à la première étape de traitement thermique du procédé. On peut remarquer que plusieurs structures, notamment celles dans les positions 85 à 110, présentent des valeurs maximales de « haze » supérieures à 0,15-0,17 (u.a.), ce qui les rend incompatibles avec l'application visée dont la spécification requiert un « haze » maximal inférieur à 0,17.

Lorsque le palier à 1175°C de la première étape est terminé, la température suit une rampe descendante, sous le premier flux d'argon : la deuxième étape de traitement thermique du procédé de lissage démarre dès que la température atteint 1160°C (deuxième température) ; le flux d'argon est alors défini par un deuxième débit volumétrique de 5 slm. La deuxième étape comprend dans ce cas une rampe de descente en température à partir de 1160°C, sous le deuxième flux de gaz.

A la sortie du four, les structures SOI 11' traitées présentent un niveau de « haze » fortement amélioré par rapport à leur état après la première étape de traitement thermique ; cette amélioration correspond à la forte réduction de la rugosité résiduelle dans les zones périphériques 100, en particulier pour les structures SOI situées dans les positions

70 à 110 dans le four. La courbe en trait plein correspond au niveau maximum de « haze » des structures SOI traitées avec le procédé de lissage selon l'invention.

On constate avantageusement que le procédé de lissage selon l'invention diminue le niveau de rugosité sur l'ensemble des structures SOI traitées, ramenant le niveau de « haze » maximum à des valeurs inférieures à 0,15 (u.a.).

Exemple 2 :

Le procédé de lissage selon l'invention est appliqué à des structures SOI intermédiaires 11 comportant une couche superficielle 10 de 300nm, une couche d'oxyde 2 enterré de 30nm et un substrat support 5.

La première étape de traitement thermique consiste en un recuit pendant 5 min à 1200°C (première température) sous un premier flux d'Argon dont le débit volumétrique est 25 slm. Les structures SOI situées en positions hautes dans le four, c'est-à-dire à proximité de l'injection de gaz, présentent un niveau de « haze » important, lié à la présence de zones périphériques 100 de rugosité résiduelle.

La figure 5 présente sous forme de diagramme en boîtes, les valeurs maximales de « haze » mesurées sur chaque structure, les structures SOI étant situées dans différentes positions dans le four. La boîte à gauche correspond aux valeurs maximales de « haze » mesurées après un recuit correspondant à la première étape de traitement thermique du procédé. On peut remarquer une forte dispersion de ces valeurs de « haze » dans la gamme 0,18-0,24 (u.a.), ce qui rend les structures SOI correspondantes incompatibles avec l'application visée dont la spécification requiert un « haze » maximum inférieur à 0,17 (u.a.).

La deuxième étape de traitement thermique du procédé de lissage selon l'invention consiste en un recuit pendant 2h à 1160°C (deuxième température) sous un deuxième flux d'Argon dont le débit volumétrique est 5 slm.

A la sortie du four, les structures SOI 11' traitées présentent un niveau de « haze » fortement amélioré (correspondant à la forte réduction de la rugosité résiduelle dans les zones périphériques 100). La boîte à droite sur la figure 5 inclut les valeurs de « haze » maximum mesuré sur

chaque structure SOI traitée avec le procédé de lissage selon l'invention. On remarque que toutes les valeurs ont été abaissées en dessous de 0,17 (u. a.), qui est la valeur maximale de « haze » attendue pour les produits visés. On remarque également une très nette diminution de la dispersion des valeurs de « haze » maximum : le procédé de lissage selon l'invention diminue donc bien le niveau de rugosité sur l'ensemble des structures SOI traitées.

La première étape et la deuxième étape de traitement thermique peuvent être enchaînées dans un même recuit ou consister en deux recuits distincts.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation 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 lissage d'une structure de silicium sur isolant
5 (11) comprenant l'exposition d'une surface de la structure
(11) à un flux de gaz neutre ou réducteur et à une
température élevée au cours d'un traitement thermique, le
procédé comportant :
- une première étape de traitement thermique à une
10 première température et sous un premier flux de gaz
défini par un premier débit ;
- le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte :
- une deuxième étape de traitement thermique à une
15 deuxième température inférieure à la première
température et sous un deuxième flux de gaz défini par
un deuxième débit inférieur au premier débit.
2. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon la
revendication précédente, comportant une étape préliminaire
20 de fourniture de la structure SOI (11) comprenant une couche
superficielle mince (10) disposée sur une couche diélectrique
(2), elle-même disposée sur un substrat support (5), la
couche superficielle (10) ayant une épaisseur inférieure à
500nm.
- 25
3. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des
revendications précédentes, dans lequel la première
température est supérieure à une température seuil et la
deuxième température est inférieure à ladite température
30 seuil qui est comprise entre 1150°C et 1170°C.
4. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des
revendications précédentes, dans lequel la première
température est comprise entre 1160°C et 1200°C,
35 préférentiellement entre 1170°C et 1200°C.
5. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des
revendications précédentes, dans lequel la deuxième
température est comprise entre 1130°C et 1170°C,
40 préférentiellement entre 1130°C et 1160°C.

- 5 6. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la deuxième étape de traitement thermique comporte un palier à la deuxième température d'une durée déterminée.
- 10 7. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon la revendication précédente, dans lequel la durée du palier est comprise entre 5 min et 2h.
- 15 8. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la deuxième étape de traitement thermique comporte une rampe de descente en température comprise entre $0.1^{\circ}/\text{min}$ et $20^{\circ}/\text{min}$, à partir de la deuxième température.
- 20 9. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier débit est supérieur à 20 slm.
- 25 10. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le deuxième débit est inférieur à 15 slm.
- 30 11. Procédé de lissage d'une structure SOI (11) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le gaz neutre est choisi parmi l'argon ou un mélange d'argon et d'hydrogène.
12. Procédé de lissage d'une structure SOI selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la première étape et la deuxième étape de traitement thermique s'enchainent au cours d'un même traitement thermique.

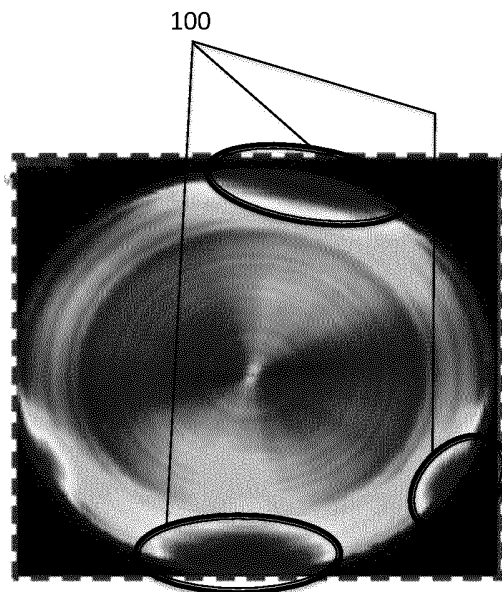


FIG.1 – Etat de la technique

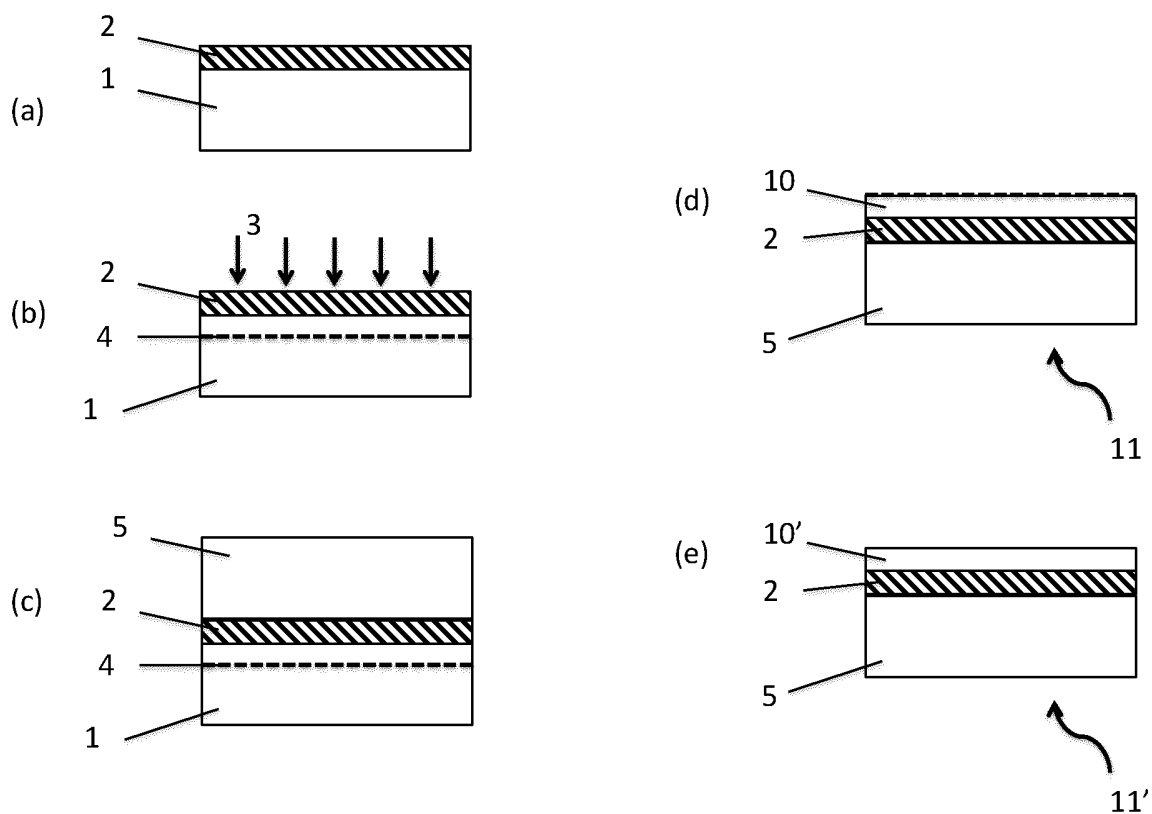


FIG.2 : Etat de la technique

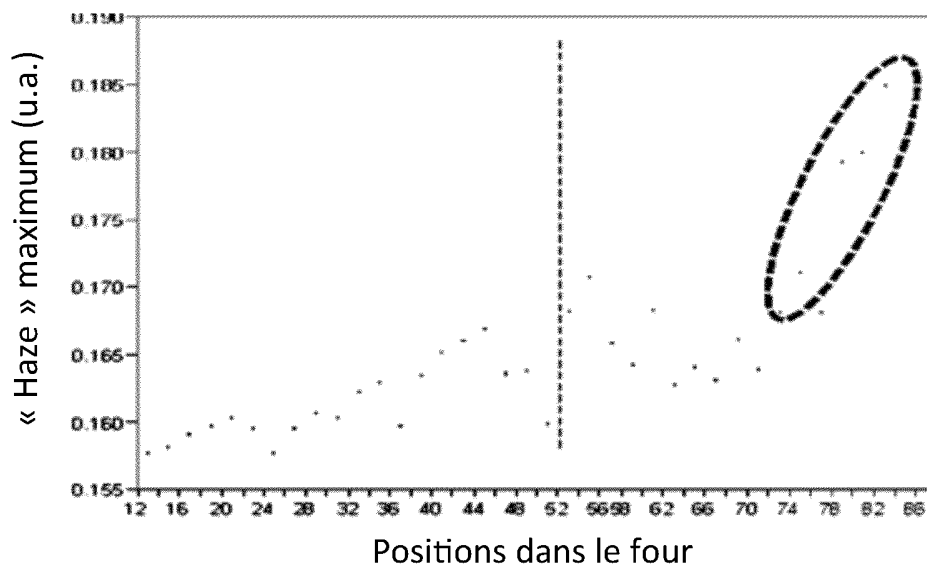


FIG.3 : Etat de la technique

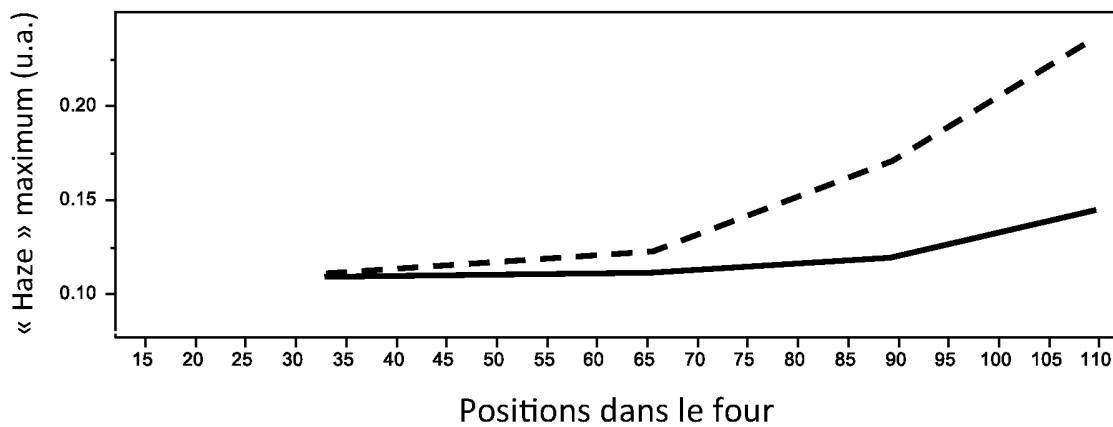


FIG.4

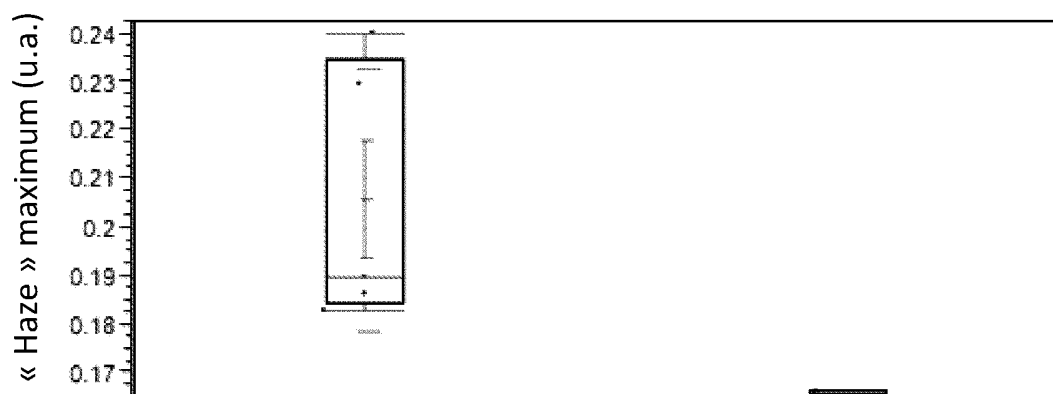


FIG.5



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 820454
FR 1650279

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2014/030877 A1 (LANDRU DIDIER [FR] ET AL) 30 janvier 2014 (2014-01-30) * alinéas [0078] - [0104] * -----	1-12	H01L21/461
A	WO 2014/202866 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 24 décembre 2014 (2014-12-24) * abrégé; revendications * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		7 septembre 2016	Gori, Patrice
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>			
<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1650279 FA 820454**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 07-09-2016

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014030877 A1	30-01-2014	CN 102292809 A	21-12-2011
		CN 105006448 A	28-10-2015
		EP 2382657 A1	02-11-2011
		FR 2941324 A1	23-07-2010
		JP 5596053 B2	24-09-2014
		JP 2012516045 A	12-07-2012
		KR 20110091587 A	11-08-2011
		SG 173060 A1	29-08-2011
		TW 201034076 A	16-09-2010
		US 2011275226 A1	10-11-2011
		US 2014030877 A1	30-01-2014
		WO 2010083933 A1	29-07-2010

WO 2014202866 A1	24-12-2014	CN 105324840 A	10-02-2016
		EP 3011590 A1	27-04-2016
		FR 3007194 A1	19-12-2014
		KR 20160021785 A	26-02-2016
		WO 2014202866 A1	24-12-2014
