

DESCRIPTION

TITRE : Procédé de fabrication d'une structure semi-conductrice ou piézoélectrique

5 **DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure semi-conductrice ou piézoélectrique.

ETAT DE LA TECHNIQUE

10 Le transfert d'une couche active, c'est-à-dire destinée à la formation de composants pour des dispositifs électroniques, optiques ou opto-électroniques, sur un substrat support par l'intermédiaire d'une couche électriquement isolante, est largement utilisé dans l'industrie microélectronique.

15 Dans certaines situations, la couche active est obtenue par amincissement d'un substrat donneur, ledit amincissement étant réalisé par un retrait de matière, tel qu'un meulage (« grinding » selon la terminologie anglo-saxonne). Pour améliorer l'état de surface de la couche active avant le collage, il est généralement nécessaire de procéder à un polissage mécano-chimique (CMP, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Mechanical
20 Polishing »).

Tel est le cas notamment pour la fabrication d'un dispositif radiofréquence (RF), tel qu'un résonateur ou filtre, sur un substrat comprenant successivement, de sa base vers sa surface, un substrat support, généralement en un matériau semi-conducteur tel que du
25 silicium, une couche électriquement isolante et une couche piézoélectrique.

La couche piézoélectrique est typiquement obtenue par transfert d'un substrat épais en un matériau piézoélectrique sur un substrat support.

30 Le transfert de la couche de piézoélectrique implique un collage du substrat piézoélectrique épais sur le substrat support, suivi d'un amincissement du substrat piézoélectrique épais, de sorte à ne laisser sur le substrat support qu'une couche piézoélectrique mince, de l'épaisseur souhaitée pour la fabrication du dispositif RF.

35 Pour une bonne adhésion du substrat piézoélectrique sur le substrat support, on procède généralement à la formation d'une couche d'oxyde (par exemple un oxyde de silicium) sur chacun des deux substrats, et on colle lesdits substrats par l'intermédiaire desdites couches d'oxyde.

La couche d'oxyde formée à la surface du substrat support peut être formée par oxydation thermique. Par exemple, s'il s'agit d'un substrat de silicium, on peut ainsi former une couche d'oxyde de silicium. Toutefois, l'oxydation thermique présente plusieurs
5 inconvénients. Elle peut être incompatible avec certains matériaux, par exemple avec les couches de piégeage de charges en silicium polycristallin. En outre, l'oxydation thermique génère des couches d'oxyde qui ne permettent pas une bonne diffusion, par exemple du lithium ou de l'hydrogène.

10 Ainsi, le dépôt d'une couche d'oxyde par PECVD est souvent préféré à l'oxydation thermique. La couche d'oxyde peut ensuite être polie, par exemple par polissage mécano-chimique.

Pour renforcer le collage oxyde-oxyde entre le substrat piézoélectrique et le substrat
15 support, il est connu d'effectuer, après le collage, un recuit de consolidation. Ledit recuit de consolidation est typiquement réalisé à une température comprise entre 100 °C et 300 °C.

Or, le matériau piézoélectrique et le matériau du substrat support présentant des coefficients de dilatation thermique très différents, la mise en œuvre d'un tel recuit peut
20 engendrer une déformation importante de l'assemblage.

Pour pallier ce type de problème, il est connu de recourir à un pseudo-substrat donneur, c'est-à-dire une hétérostructure dans laquelle le substrat piézoélectrique est collé sur un substrat de manipulation (« handle substrate » en anglais).
25

Le procédé de fabrication du pseudo-substrat donneur comprend généralement plusieurs étapes. Ainsi, une couche en un matériau piézoélectrique épaisse est collée sur le substrat de manipulation. Puis, la couche en matériau piézoélectrique est amincie et éventuellement détournée. Enfin, la surface libre de la couche en matériau piézoélectrique
30 amincie est polie, par exemple dans un procédé de polissage mécano-chimique (CMP) et éventuellement recouverte d'une fine couche d'oxyde de sorte à réaliser le collage oxyde-oxyde précédemment décrit.

Après collage dudit pseudo-substrat donneur et du substrat support, le substrat
35 piézoélectrique est maintenu entre le substrat de manipulation et le substrat support. Le choix des matériaux et des épaisseurs du substrat de manipulation et du substrat support permet d'assurer une certaine symétrie des coefficients de dilatation thermique, et ainsi de minimiser la déformation de l'assemblage lors de l'application de traitements thermiques.

Toutefois, lors de la mise en œuvre d'un tel procédé de fabrication d'une structure de type piézoélectrique sur isolant, les demandeurs observent des imperfections de collage entre le pseudo-substrat donneur et le substrat support, sous la forme de trous, dénommés
5 « edge bonding voids » en anglais, dans lesquels le collage ne se produit pas à la périphérie des substrats.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

Un but de l'invention est d'améliorer, lors de la fabrication d'une structure de type
10 couche active sur isolant, le procédé de collage entre un substrat donneur et un substrat receveur, la surface à coller du substrat donneur et/ou la surface à coller du substrat receveur ayant été polie préalablement audit collage.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une structure
15 semiconductrice ou piézoélectrique, comprenant les étapes successives suivantes :

- (a) fourniture d'un substrat donneur comprenant une couche semiconductrice ou piézoélectrique,
- (b) fourniture d'un substrat receveur,
- (c) traitement d'une surface libre du substrat donneur et/ou d'une surface libre du substrat
20 receveur,
- (d) collage du substrat donneur sur le substrat receveur, ladite au moins une surface traitée étant à l'interface entre le substrat donneur et le substrat receveur, et
- (e) transfert d'une portion de la couche semiconductrice ou piézoélectrique (5) du substrat donneur sur le substrat receveur,
- 25 le traitement de la surface libre du substrat donneur et/ou de la surface libre du substrat receveur comprenant les étapes successives suivantes :
- (c1) un polissage mécano-chimique,
- (c2) un retrait de matière dans une région périphérique de la surface polie.

30 Le retrait de matière dans une région périphérique de la surface à coller de l'un et/ou l'autre des substrats qui a été préalablement polie, permet d'améliorer la planéité de ladite surface préalablement au collage de sorte que la qualité du collage s'en trouve améliorée.

Selon d'autres caractéristiques optionnelles de l'invention prises seules ou en
35 combinaison lorsque cela est techniquement possible :

- à l'issue de l'étape de polissage mécano-chimique du substrat donneur et/ou du substrat receveur (c1), la surface polie présente un relief à la périphérie dudit substrat, de

sorte que l'étape de retrait de matière (c2) dans la région périphérique de ladite surface est effectuée pour aplanir ledit relief,

- le retrait de matière périphérique est réalisé par abrasion par un faisceau d'ions focalisé sur une zone de la périphérie de la couche semiconductrice ou piézoélectrique polie,
5 le faisceau d'ions balayant l'ensemble de ladite périphérie,

- le retrait de matière périphérique est réalisé après enregistrement du profil topographique de la surface polie par profilométrie et mis en œuvre de sorte que le profil modifié après retrait de matière ne présente qu'un seul maximum et que ledit maximum est le point le plus au centre de la surface polie du profil modifié,

10 - la portion de la couche semiconductrice ou piézoélectrique du substrat donneur à transférer sur le substrat receveur est délimitée par formation d'une zone de fragilisation préalablement au collage (d) du substrat donneur sur le substrat receveur, de sorte que le transfert de ladite portion sur le substrat receveur comprend le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation,

15 - la zone de fragilisation dans le substrat donneur est formée par implantation d'hydrogène et/ou d'hélium,

- le substrat donneur comprend une couche piézoélectrique, la surface du substrat donneur à traiter et à coller étant une surface libre de la couche piézoélectrique et la portion du substrat donneur transférée étant une portion de la couche piézoélectrique,

20 - la fourniture du substrat donneur comprend les étapes successives suivantes :

(a1) collage d'une couche piézoélectrique épaisse sur un substrat de manipulation,

(a2) amincissement de la couche piézoélectrique épaisse par sa face opposée au substrat de manipulation,

de sorte que le polissage mécano-chimique (c1) est réalisé sur la surface libre de la couche piézoélectrique amincie, opposée au substrat de manipulation,

25 - la couche piézoélectrique épaisse présente une épaisseur comprise entre 100 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1mm et en ce que la couche piézoélectrique amincie et polie présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 100 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre 5 μm et 50 μm ,

30 - la fourniture du substrat donneur comprend en outre une étape (a3) de retrait d'une portion périphérique du substrat donneur préalablement au polissage mécano-chimique (c1) de la surface libre de la couche piézoélectrique amincie,

- le substrat donneur comprend une couche semi-conductrice, la surface du substrat donneur à traiter et à coller étant une surface libre de la couche semi-conductrice et la
35 portion du substrat donneur transférée étant une portion de la couche semi-conductrice,

- le procédé comprend en outre une étape de formation d'une couche d'oxyde sur la surface libre de la couche piézoélectrique ou semi-conductrice, de sorte que le collage (d) du

substrat donneur sur le substrat receveur est réalisé par l'intermédiaire de ladite couche d'oxyde,

- la couche d'oxyde formée à la surface de la couche piézoélectrique ou semiconductrice polie présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μ m, 5
préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μ m,

- l'étape (c) comprend un traitement de la surface libre de la couche piézoélectrique ou semi-conductrice du substrat donneur et dans lequel la formation de la couche d'oxyde sur ladite surface libre est réalisé après ladite étape de traitement (c) et préalablement au collage (d),

- 10 - la fourniture du substrat receveur (b) comprend la formation d'une couche électriquement isolante, préférentiellement une couche d'oxyde, la surface du substrat receveur à traiter et à coller étant une surface libre de la couche électriquement isolante,

- la couche électriquement isolante formée à la surface du substrat receveur présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μ m, préférentiellement une épaisseur comprise 15
entre 30 nm et 5 μ m,

- la couche électriquement isolante est formée par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD),

- l'étape de retrait de matière (c2) est réalisée sur l'ensemble de la surface polie du substrat receveur,

- 20 - la quantité de matière à retirer localement à la surface de la couche électriquement isolante lors de l'étape de retrait de matière à la surface de ladite couche électriquement isolante est déterminée à partir de mesures d'épaisseur de ladite couche électriquement isolante par ellipsométrie et/ou réflectométrie.

25 **BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue en coupe d'une structure multicouche de type piézoélectrique sur isolant préparée selon un mode de réalisation du procédé conforme à 30
l'invention comprenant le collage d'un substrat donneur sur un substrat receveur,

- la figure 2 représente une vue en coupe du substrat donneur,

- la figure 3 représente une vue en coupe d'une étape de la préparation du substrat donneur comprenant le collage d'une couche piézoélectrique épaisse sur un substrat de manipulation,

- 35 - la figure 4 représente une vue en coupe d'une étape de la préparation du substrat donneur comprenant l'amincissement de la couche piézoélectrique épaisse collée sur le substrat de manipulation,

- la figure 5 représente le relief périphérique observée sur la surface de la couche piézoélectrique amincie opposée au substrat de manipulation après une étape supplémentaire de polissage mécano-chimique,

- la figure 6 représente une vue en coupe du substrat receveur,

5 - la figure 7 représente une vue en coupe d'une étape de la préparation du substrat receveur comprenant le collage d'une couche électriquement isolante sur un substrat support,

- la figure 8 représente une vue en coupe de la formation d'une zone de fragilisation dans la couche piézoélectrique amincie du substrat donneur,

10 - la figure 9 représente une vue en coupe du collage du substrat donneur sur le substrat receveur,

- la figure 10 représente une vue en coupe de la formation d'une zone de fragilisation dans la couche piézoélectrique amincie du substrat donneur, le substrat donneur comprenant en outre une couche d'oxyde préalablement formée sur la surface libre, éventuellement polie et aplanie, de la couche piézoélectrique amincie,

15 - la figure 11 représente une vue en coupe du collage du substrat donneur sur le substrat receveur, le substrat donneur lorsque le substrat donneur comprend en outre la couche d'oxyde sur la couche piézoélectrique amincie du côté opposé au substrat de manipulation.

20 Pour des raisons de lisibilité, les dessins ne sont pas nécessairement réalisés à l'échelle.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

25 L'invention concerne un procédé de fabrication de composants multicouches comprenant le transfert d'une couche active d'un substrat donneur sur un substrat receveur.

Pour améliorer la qualité de collage entre le substrat donneur et le substrat receveur lors de la mise en œuvre dudit transfert, il peut être favorable de réaliser, préalablement
30 audit collage, un polissage mécano-chimique d'au moins une des deux surfaces formant l'interface de collage si la rugosité de ladite surface est trop importante pour induire un bon collage. C'est par exemple le cas si une des surfaces de collage a été formée lors de l'amincissement d'une couche par meulage. Néanmoins, les structures multicouches issues d'un tel procédé présentent de nombreux trous à leur périphérie, au niveau de leur interface
35 de collage, qui diminuent la qualité du collage entre la couche active transférée et le substrat receveur.

Les inventeurs ont observé que, lors de la fabrication de telles structures multicouches, des microgouttes d'eau de condensation restent bloquées en périphérie des substrats, au moment du collage desdits substrats, à la limite de la propagation de l'onde de collage. Les inventeurs suspectent que ces microgouttes de condensation engendrent les trous visibles
5 dans les structures multicouches finales.

Les inventeurs ont également observé que les surfaces libres des substrats qui ont été polies par polissage mécano-chimique présentent un relief, sous la forme d'une surépaisseur, sur leur périphérie. Les inventeurs proposent que ce soit ce relief périphérique
10 qui bloque l'eau de condensation en périphérie des substrats lors de leur collage, ce qui génère les trous observés dans la structure finale multicouche.

A ce titre, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure multicouche comprenant le transfert d'une couche active d'un substrat donneur sur un substrat receveur,
15 au moins une des deux interfaces de collage ayant été polie préalablement au collage des deux substrats, le procédé comprenant en outre une étape de retrait de matière périphérique sur l'au moins une des deux surfaces polies.

Dans la suite, on décrit un mode particulier de réalisation de l'invention, dans lequel on
20 prépare une structure multicouche de type piézoélectrique sur isolant 10 représentée sur la figure 1, la structure comprenant successivement, de sa face arrière vers sa face avant :

- un substrat support 1,
- une couche électriquement isolante 2, préférentiellement une couche d'oxyde,
- une couche piézoélectrique 3.

25

A titre d'exemple, la couche piézoélectrique 3 est fabriquée dans un matériau tel que le tantalate de lithium (LiTaO_3), le niobate de lithium (LiNbO_3), le titanate de baryum (BaTiO_3) et/ou le titano-zirconate de plomb (PZT). La couche piézoélectrique 3 présente une épaisseur comprise entre 50 nm et 20 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre
30 100 nm et 10 μm .

La couche électriquement isolante 2 peut comprendre un oxyde, un nitrure et/ou un carbure de silicium (SiO_x , SiO_xN_y , SiN_x , SiC_x , SiO_xC_y), x et y étant des nombres réels compris entre 0 et 2, et/ou des polymères. La couche électriquement isolante présente une épaisseur
35 comprise entre 10 nm et 10 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μm .

Enfin, le substrat support 1 est par exemple un substrat de silicium (Si), saphir, alumine (Al_2O_3), nitrure d'aluminium (AlN), verre, quartz, mullite, molybdène (Mo), tungstène (W), phosphure d'indium (InP), arséniure de gallium (GaAs) et/ou carbure de silicium (SiC). Le substrat support 1 présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1 mm.

De telles structures de type piézoélectrique sur isolant 10 trouvent des applications dans le domaine des composants radiofréquences et des filtres.

Dans ce mode de réalisation particulier, le procédé selon l'invention comprend la fourniture d'un substrat donneur 11 comprenant une couche piézoélectrique à transférer 3, la fourniture d'un substrat receveur 12 comprenant le substrat support 1 et la couche électriquement isolante 2, et le transfert de la couche piézo-électrique à transférer 3 du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12, la couche électriquement isolante 2 étant à l'interface de collage (voir figure 9).

Selon ce mode de réalisation, le substrat donneur 11 représenté sur la figure 2 est une hétérostructure couramment qualifiée de substrat pseudo- donneur qui comprend, de sa face arrière vers sa face avant :

- un substrat de manipulation 4,
- une couche piézoélectrique amincie 5 dans laquelle va être délimitée la couche piézoélectrique à transférer 3 sur le substrat receveur 12,
- de manière optionnelle, une couche électriquement isolante 6, préférentiellement une couche d'oxyde.

Le matériau piézoélectrique de la couche piézoélectrique 3 et le matériau du substrat support 1 présentent des coefficients de dilatation thermique très différents. Le dépôt d'une couche en matériau piézoélectrique sans substrat de manipulation sur le substrat support, une couche électriquement isolante étant à l'interface, exposerait la structure multicouche résultante à des déformations importantes lors de la mise en œuvre de recuits thermiques, par exemple pour renforcer l'interface de collage entre couche en matériau piézoélectrique et substrat support.

Le substrat de manipulation 4 est donc fabriqué dans un matériau dont le coefficient de dilatation thermique est proche de celui du matériau du substrat support 1 sur lequel la couche piézoélectrique 3 est destinée à être transférée. Par proche, on entend une différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation 4 et le matériau du substrat support 1 inférieure ou égale à 5 %, et de

préférence égale ou voisine de 0 %. Des matériaux adaptés sont par exemple le silicium, le saphir, le nitrure d'aluminium polycristallin, ou encore l'arséniure de gallium. Préférentiellement, le substrat de manipulation 4 est fabriqué dans le même matériau que le substrat support 1. Dans la présente invention, on s'intéresse au coefficient de dilatation thermique dans un plan parallèle à la surface principale des substrats. Le substrat de manipulation 4 présente une épaisseur comprise entre 100 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1 mm. Préférentiellement, le substrat de manipulation 4 présente une épaisseur proche de celle du substrat support 1, afin que la structure obtenue après collage du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12 soit la plus symétrique et la plus équilibrée possible en termes de comportements mécanique et thermique. Un coefficient de dilatation thermique et une épaisseur du substrat de manipulation 4 proches respectivement du coefficient de dilatation thermique et de l'épaisseur du substrat support 1 permettent de minimiser les contraintes sur la structure multicouche et sa déformation sous l'effet des variations de température.

15

La couche électriquement isolante 6 est par exemple une couche d'oxyde, de nitrure et/ou de carbure de silicium (SiO_x , SiO_xN_y , SiN_x , SiC_x , SiO_xC_y), x et y étant des nombres réels compris entre 0 et 2, et/ou un polymère. La couche électriquement isolante 6 présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μm .

20

Fourniture du substrat donneur et éventuels traitements d'une surface libre du substrat donneur

Comme représenté sur la figure 3, la formation du substrat donneur 11 comprend le collage d'une couche piézoélectrique épaisse 8 sur un substrat de manipulation 4.

25

La couche piézoélectrique épaisse 8 présente une épaisseur comprise entre 100 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1 mm. La couche piézoélectrique épaisse 8 est formée du matériau piézoélectrique qui constitue la couche piézoélectrique 3 dans la structure piézoélectrique sur isolant finale 10. La couche piézoélectrique épaisse 8 peut donc comprendre du LiTaO_3 , LiNbO_3 , BaTiO_3 et/ou PZT.

30

Le collage de la couche piézoélectrique épaisse 8 sur le substrat de manipulation 4 est par exemple réalisé à l'aide d'une couche adhésive photo-polymérisable préalablement déposée sur une face exposée du substrat de manipulation 4 ou de la couche piézoélectrique épaisse 8. Le dépôt de la couche adhésive photo-polymérisable est avantageusement effectué par enduction centrifuge, ou « spin coating » selon la terminologie

35

anglo-saxonne. Le collage par une couche adhésive photo-polymérisable présente l'avantage de comprendre moins d'étapes de fabrication que le collage moléculaire. En outre, le polymère, initialement liquide, va combler les défauts de planéité et compenser en partie la tombée de bord due au chanfreinage des substrats. Le collage par une couche adhésive photo-polymérisable permet donc de coller les substrats plus proches de leur

5 périphérie que le collage moléculaire.

Alternativement, le collage de la couche piézoélectrique épaisse 8 sur le substrat de manipulation 4 est réalisé par collage moléculaire, par collage par abrasion moléculaire sous

10 ultra vide ou par collage métal/métal par thermocompression.

Après le collage de la couche piézoélectrique épaisse 8 sur le substrat de manipulation 4, on amincit la couche piézoélectrique épaisse 8 par sa face opposée au substrat de manipulation, comme représenté sur la figure 4, de sorte que la couche piézoélectrique

15 amincie 5 présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 100 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre 5 μm et 50 μm .

L'amincissement de la couche piézoélectrique épaisse 8 est par exemple réalisé par un meulage (« grinding » selon la terminologie anglo-saxonne) grossier, qui permet de

20 réduire rapidement l'épaisseur du substrat donneur 11. Puis, un meulage plus fin peut être mis en œuvre pour continuer à réduire l'épaisseur du substrat donneur 11, mais en diminuant la rugosité de la surface dudit substrat donneur 11.

Enfin, un polissage mécano-chimique (CMP, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Mechanical Polishing ») est réalisé pour lisser la surface libre 7 de la couche piézoélectrique amincie 5 opposée au substrat de manipulation 4, de sorte à atteindre la

25 rugosité souhaitée pour le collage du pseudo-substrat donneur 11 sur le substrat support 12 et ainsi améliorer la qualité de collage.

Préalablement au polissage mécano-chimique, le procédé peut comprendre en outre une étape de détournage de la couche piézoélectrique 8, 5. L'étape de détournage peut être

30 mise en œuvre avant, pendant (par exemple entre deux meulages de finesses différentes) ou après l'étape d'amincissement de la couche piézoélectrique 8, 5. Le détournage comprend un retrait de matière périphérique sur au moins l'épaisseur de la couche piézoélectrique 8, 5.

35

La couche piézoélectrique épaisse 8 présente un chanfrein périphérique C sur chacune de ses faces principales (non représenté sur les figures). L'objectif de l'étape de détournage est de supprimer l'angle vif généré par l'amincissement du substrat donneur 11 au

niveau du chanfrein lorsque l'épaisseur e de la couche piézoélectrique amincie 5 est inférieure à l'épaisseur du chanfrein C de la couche piézoélectrique amincie 5 et de générer un angle droit (ou obtus). En effet, un tel angle vif est susceptible de se briser lors de la manipulation du substrat donneur 11, de générer de l'écaillage ou « flaking » selon la terminologie anglo-saxonne et de polluer la ligne de fabrication avec les débris.

Le détourage peut être réalisé à l'aide d'une roue abrasive, par exemple une roue diamantée, entraînée en rotation autour d'un axe Y, le substrat donneur 11 étant lui-même fixé sur un support entraîné en rotation autour d'un axe X, l'axe Y pouvant être parallèle ou perpendiculaire à l'axe X.

Quelle que soit la technique utilisée, le détourage peut générer des défauts que le polissage mécano-chimique va permettre en partie de résorber.

Le polissage mécano-chimique permet d'obtenir une surface libre 7 de la couche piézoélectrique amincie 5 présentant une rugosité compatible avec un collage sur le substrat receveur 12. Toutefois, à l'issue d'une telle étape de polissage mécano-chimique, les inventeurs ont remarqué que la surface polie 7 de la couche piézoélectrique amincie 5 présente un relief périphérique. La Figure 5 rapporte une analyse par profilométrie de la surface 7. L'analyse profilométrique est menée à l'aide d'une pointe dont on enregistre le déplacement vertical durant le balayage de la surface 7, de sorte à obtenir le profil topographique de la surface le long du chemin suivi par la pointe. La profilométrie de la surface 7 permet donc de mettre en évidence le relief périphérique précédemment mentionné (carré noir sur la Figure 5).

Plus les profils s'écartent de la planéité, plus l'impact sur le collage est négatif. Le procédé selon l'invention comprend donc un retrait de matière dans la région périphérique de ladite surface.

L'étape de retrait de matière dans la région périphérique de la surface polie 7 de la couche piézoélectrique amincie 5 est préférentiellement réalisée de sorte à aplanir le relief périphérique formé lors de l'étape de polissage mécano-chimique. L'objectif est d'éviter que, lors du collage sur le substrat receveur 12, ledit relief ne bloque l'eau de condensation et n'empêche son élimination sous l'effet de la propagation de l'onde de collage.

Les inventeurs observent que le relief périphérique peut atteindre plusieurs micromètres d'épaisseur et plusieurs millimètres de largeur et que les dimensions dudit relief dépendent des paramètres de meulage (tels que les vitesses de rotation de la meule et du

plateau de meulage, la vitesse de descente et l'inclinaison de la meule) et des paramètres de polissage mécano-chimique (tels que la répartition de la pression appliquée sur les plaques, l'hydrodynamique du mélange colloïdal utilisé, la vitesse de rotation relative de la tête de polissage et du plateau). Il s'avère très difficile de décorrélérer l'effet de chacun de ces paramètres sur les caractéristiques du relief périphérique qui en résulte et donc d'identifier des valeurs de paramètres n'entraînant pas la formation d'un tel relief. Le retrait de matière périphérique selon l'invention apporte une solution extérieure au procédé d'aminçissement et de polissage qui permet de supprimer le relief périphérique quels que soient les paramètres de meulage et de polissage mécano-chimique utilisés.

10

Le retrait de matière périphérique peut être réalisé par abrasion par un faisceau d'ions focalisé sur une zone de la périphérie de la surface 7 de la couche piézoélectrique amincie et polie 5, le faisceau d'ions balayant l'ensemble de ladite périphérie. Lors de la mise en œuvre de l'abrasion par faisceau d'ions, on peut régler plusieurs paramètres, tels que la largeur du faisceau, l'angle d'incidence, le courant (correspondant au flux d'ions constituant le faisceau), la vitesse de balayage (définissant le temps pendant lequel une zone de la surface se situe sous le faisceau) et la vitesse d'abrasion (correspondant à la vitesse d'enlèvement de la matière), afin de contrôler de manière très précise ledit retrait de matière périphérique. Il est en effet possible de moduler la vitesse d'abrasion jusqu'à des valeurs très faibles (de l'ordre de 10^{-3} m³/s). Le contrôle combiné de la vitesse d'abrasion et de la vitesse de balayage permet d'atteindre une précision du profil de surface au nanomètre près.

L'abrasion par faisceau d'ions est une technique classiquement utilisée pour ajuster l'épaisseur d'un substrat piézoélectrique afin d'en améliorer les performances. L'invention propose d'utiliser cette technique pour rectifier la topologie de la surface du substrat et en améliorer la planéité. L'abrasion par faisceau d'ions présente l'avantage de permettre de corriger le profil de la surface avec suffisamment de précision pour éviter un retrait de matière trop important et la formation d'un creux. En effet, un tel creux affecterait également la qualité de collage entre le substrat donneur et le substrat receveur en augmentant la largeur de la surface périphérique sur laquelle les substrats ne sont pas correctement collés, surface qui se forme classiquement lors du collage de deux substrats notamment à cause des chanfreins que présentent les deux substrats.

En pratique, on enregistre préalablement le profil topographique par profilométrie. Puis, l'épaisseur à supprimer est déterminée de sorte à ce que le profil modifié ne présente qu'un seul maximum, donc un point de dérivée nulle, et que ce point soit le point le plus au centre du substrat (point le plus à droite des profils de la figure 5).

Optionnellement enfin, la formation du substrat donneur 11 représenté sur la figure 2 comprend en outre une étape de formation de la couche électriquement isolante 6 sur la surface libre 7 de la couche piézoélectrique amincie 5, du côté opposé au substrat de manipulation 4. Dans le cas où on a réalisé un polissage mécano-chimique suivi d'un retrait
5 d'une portion périphérique de ladite surface 7, la couche électriquement isolante 6 est préférentiellement formée postérieurement à ces traitements sur la couche piézoélectrique amincie 5, polie et aplanie.

La couche électriquement isolante 6 est préférentiellement formée par dépôt chimique
10 en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) ou par dépôt physique en phase vapeur (PVD).

Selon un mode de réalisation alternatif de l'invention non développé ici, le substrat donneur comprend une couche semi-conductrice, la surface du substrat donneur à traiter
15 (par polissage mécano-chimique et par retrait périphérique de matière) et à coller étant une surface libre de la couche semi-conductrice et la portion du substrat donneur transférée étant une portion de la couche semi-conductrice. Dans ce mode de réalisation également, l'abrasion par faisceau laser assure un retrait de matière périphérique avec une très grande précision.

20 Selon ce mode de réalisation également, une couche d'oxyde peut être formée sur la surface libre de la couche semi-conductrice, ladite couche pouvant avoir été préalablement traitée par polissage mécano-chimique et retrait de matière périphérique.

25 Selon ce mode de réalisation, le procédé permet d'obtenir une structure multicouche de type semi-conducteur sur isolant par transfert de la couche semi-conductrice sur un substrat receveur tel que le substrat 12

30 Fourniture d'un substrat receveur et éventuels traitements de la surface libre du substrat receveur.

Selon le mode de réalisation détaillé ici, le substrat receveur 12 représenté sur la figure 6 comprend, de sa face arrière vers sa face avant :

- un substrat support qui forme le substrat support 1 dans la structure de type piézoélectrique
35 sur isolant 10 finale,
- une couche électriquement isolante qui forme la couche électriquement isolante 2 dans la structure de type piézoélectrique sur isolant 10 finale.

Le substrat support 1 est donc fabriqué en un matériau tel que le silicium (Si), le saphir, l'alumine (Al_2O_3), le nitrure d'aluminium (AlN), le verre, le quartz, la mullite, le molybdène (Mo), le tungstène (W), le phosphore d'indium (InP), l'arséniure de gallium (GaAs) et/ou le carbure de silicium (SiC). Le substrat support 1 présente une épaisseur comprise entre 10
5 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1 mm.

La couche électriquement isolante 2 comprend par exemple un oxyde, un nitrure et/ou un carbure de silicium (SiO_x , SiO_xN_y , SiN_x , SiC_x , SiO_xC_y), x et y étant des nombres réels compris entre 0 et 2, et/ou un polymère. La couche électriquement isolante 2 du substrat
10 receveur présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μm , préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μm .

La fourniture du substrat receveur 12 comprend la formation de la couche électriquement isolante 2 sur une surface libre du substrat support 1, de sorte à obtenir le
15 substrat receveur 12. La couche électriquement isolante 2 est préférentiellement formée par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD). Une représentation d'un tel dépôt est donnée sur la figure 7. Le procédé PECVD engendre une non-uniformité et une rugosité importantes non compatibles avec un collage de bonne qualité. Par ailleurs, même si d'autres procédés de dépôt peuvent procurer de meilleurs résultats en termes d'uniformité
20 et de rugosité, une rugosité excessive de la couche électriquement isolante peut également provenir de la surface libre du substrat support, par exemple lorsque le substrat support comprend à sa surface une couche de silicium polycristallin qui n'a pas été planarisée.

On réalise donc un polissage mécano-chimique de la surface libre 9 de la couche
25 électriquement isolante 2 opposée au substrat support 1.

Dans ce cas également, les inventeurs observent la formation d'un relief périphérique sur la surface libre 9 de la couche électriquement isolante 2 à l'issue du polissage, ledit relief pouvant atteindre plusieurs centaines de nanomètres d'épaisseur et plusieurs millimètres de
30 largeur. Les inventeurs remarquent en outre que ces dimensions varient en fonction des paramètres utilisés pour la mise en œuvre du polissage mécano-chimique, tels que l'hydrodynamique du mélange colloïdal utilisé, la répartition de la pression appliquée sur les plaques et la vitesse de rotation relative de la tête et du plateau de polissage mécano-chimique. Le procédé selon l'invention comprend donc, outre le polissage mécano-chimique,
35 un retrait de matière dans la région périphérique.

Le retrait de matière dans la région périphérique de ladite surface est préférentiellement effectué pour aplanir ledit relief, quels que soient les paramètres utilisés pour la mise en œuvre du polissage mécano-chimique.

5 Tout comme précédemment décrit, le retrait de matière périphérique est préférentiellement réalisé par abrasion par un faisceau d'ions focalisé sur une zone de la périphérie de la surface polie 9 de la couche électriquement isolante 2, le faisceau d'ions balayant l'ensemble de ladite périphérie. En pratique, de la même façon que pour la réalisation de l'aplanissement de la surface 7 de la couche piézoélectrique amincie et polie
10 5, on enregistre préalablement un profil topographique de la surface polie 9 de la couche électriquement isolante 2 par profilométrie. Puis, l'épaisseur à supprimer est déterminée de sorte à ce que le profil modifié ne présente qu'un seul maximum, donc un point de dérivée nulle, et que ce point soit le point le plus au centre du substrat.

15 Optionnellement, l'étape de retrait est réalisée sur l'ensemble de la surface polie 9 du substrat receveur 12, de sorte à améliorer l'uniformité de la couche électriquement isolante 2. Dans ce cas, la quantité de matière à retirer localement à la surface 9 de la couche électriquement isolante 2 lors de l'étape de retrait de matière sur ladite surface 9 peut être déterminée à partir de mesures de l'épaisseur locale de ladite couche électriquement
20 isolante 2 par ellipsométrie et/ou réflectométrie.

Transfert d'une portion du substrat donneur sur le substrat receveur

Dans la suite, on transfère une portion 3 de la couche piézoélectrique amincie 5 du
25 substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12.

A titre d'exemple, le transfert peut comprendre la formation d'une zone de fragilisation dans la couche piézoélectrique amincie 5, de sorte à délimiter la couche piézoélectrique à transférer 3, le collage du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12, la couche
30 piézoélectrique à transférer 3 étant à l'interface de collage, et le détachement du substrat donneur 11 le long de la zone de fragilisation.

Selon un mode de réalisation préféré représenté sur la figure 8, la zone de fragilisation est formée par implantation d'espèces atomiques dans la couche piézoélectrique amincie 5, l'implantation (flèches de la figure 8) étant réalisée à travers la surface libre 7 de ladite
35 couche 5. Les espèces atomiques sont implantées à une profondeur déterminée, cette profondeur fixant l'épaisseur de la couche piézoélectrique à transférer 3. Les espèces atomiques implantées sont de préférence de l'hydrogène et/ou de l'hélium.

Par la suite, le collage du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12 tel qu'illustré sur la figure 9, est réalisé entre la surface libre 7 de la couche piézo-électrique amincie 5 ayant été exposée à l'implantation et la surface libre 9 de la couche électriquement isolante 2 du substrat receveur 12, au moins une des deux surfaces de collage 7,9 ayant
5 préalablement subi le traitement de surface préalablement décrit, ledit traitement comprenant un polissage mécano-chimique suivi d'un retrait périphérique de matière.

Le collage du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12 est préférentiellement
10 réalisé par adhésion moléculaire, car il permet d'obtenir un collage résistant et stable mécaniquement à une température supérieure à 400 °C. De telles propriétés du collage sont particulièrement utiles lorsque le transfert de la portion 3 de la couche piézoélectrique amincie 5 du substrat donneur 11 sur le substrat receveur 12 est réalisé selon le procédé Smart Cut TM (qui comprend la formation d'une zone de fragilisation par implantation
15 d'espèces atomiques). En effet, le procédé Smart Cut TM génère dans le substrat des défauts qu'un recuit thermique à haute température permet de guérir. De telles propriétés de collage ne sont pas atteignables par collage avec un polymère ou par collage métal/métal. Les polymères sont pour l'immense majorité complètement dégradés au-delà de 300°C. Le collage métal/métal quant à lui évolue en température (augmentation de la taille des grains)
20 et conduit la plupart du temps à la déformation du substrat, sans compter la diffusion des atomes de métal dans les couches ce qui perturbe les propriétés électriques de l'empilement de départ.

Le collage moléculaire nécessite une surface extrêmement plane car tout défaut de
25 planéité empêche la mise en contact intime des deux substrats et donc la formation d'un défaut de collage qui, par la suite, provoquera un manque dans la surface transférée. L'invention trouve donc un avantage particulier dans ce mode de réalisation et dans tout mode de réalisation où le collage entre substrat donneur et substrat receveur est préférentiellement mis en œuvre par adhésion moléculaire.

30

Dans ce mode de réalisation, au moment du collage, les inventeurs n'observent pas la formation de microgouttes d'eau à la fin de l'onde de collage, en périphérie des substrats.

Après collage, on détache le substrat donneur 11 le long de la zone de fragilisation. Le
35 détachement le long de la zone de fragilisation peut être déclenché par une action mécanique et/ou un apport d'énergie thermique.

On obtient alors la structure de type piézo-électrique sur isolant finale 10 représentée sur la figure 1 comprenant, de la face arrière vers la face avant, le substrat support 1, la couche électriquement isolante 2 et la couche piézoélectrique transférée 3.

5 Dans le cas où une couche d'oxyde 6 a été formée à la surface du substrat donneur 10, l'implantation des espèces atomiques représentée sur la figure 10 est réalisée à travers la couche d'oxyde 6 et le collage représenté sur la figure 11 est réalisé entre la surface libre 13 de ladite couche d'oxyde 6 et la surface libre 9 de la couche électriquement isolante 2 du substrat receveur 12, de sorte que la couche d'oxyde 6 est transférée en même temps que la
10 couche piézoélectrique à transférer 3. Dans ce mode de réalisation, la couche électriquement isolante de la structure finale comprend la couche d'oxyde 6 formée sur le substrat donneur 11 préalablement au collage.

La formation d'une couche électriquement isolante 6 à la surface du substrat donneur
15 11 permet donc de réaliser avantageusement un collage oxyde-oxyde. Dans le cas où un collage par adhésion moléculaire est mis en œuvre, le collage entre deux couches d'oxyde peut facilement être renforcé, simplement en portant ledit collage à une température supérieure à 200 °C. En outre, dans une atmosphère ayant une hygrométrie non nulle, les couches d'oxyde permettent d'absorber l'eau naturellement présente à leur surface et ainsi
20 d'éviter que cette eau ne forme des bulles de gaz à l'interface de collage quand ledit collage est recuit au-delà de 200 °C pour son renforcement.

De manière alternative au procédé Smart Cut™ décrit ci-dessus, le transfert de couche peut être réalisé en amincissant le substrat donneur par sa face opposée à la face collée sur
25 le substrat support, jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée pour la première couche semi-conductrice. Toutefois, le procédé Smart Cut™ est préféré pour le transfert de couches d'épaisseur inférieure au micromètre.

Une analyse de détection des défauts par balayage laser révèle que la structure finale
30 de type piézoélectrique sur isolant 10 ne comprend pratiquement pas de trous entre la couche piézoélectrique 2 et la couche électriquement isolante 3 en périphérie de ladite structure. Lors de la mise en œuvre d'un collage moléculaire notamment, toute particule à l'interface de collage génère un trou. La périphérie étant plus sensible à la présence de particules, les quelques trous encore détectés en périphérie suite à la mise en œuvre du
35 procédé selon l'invention sont attribués, non pas à des microgouttes d'eau à la fin de l'onde de collage au moment du collage des deux couches (elles ne sont d'ailleurs pas observées), mais à la présence de particules à l'interface de collage.

Les inventeurs estiment que c'est le retrait de matière périphérique sur les surfaces de collage ayant subi un polissage qui permet d'éliminer le relief généré en bordure lors dudit polissage préalablement au collage desdites surfaces, et qu'en conséquence, l'eau de condensation n'est pas retenue en périphérie des substrats lors de la propagation de l'onde de collage, ce qui évite la formation des microgouttes. La qualité du collage s'en trouve améliorée puisque le nombre de trous est beaucoup plus faible dans la structure finale.

Le procédé selon l'invention permet donc d'améliorer la qualité de collage entre deux substrats dans un procédé où l'application d'un polissage mécano-chimique d'au moins une des deux surfaces de collage était nécessaire préalablement audit collage.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure semiconductrice ou piézoélectrique (10), comprenant les étapes successives suivantes :
- 5 (a) fourniture d'un substrat donneur (11) comprenant une couche semiconductrice ou piézoélectrique (5),
(b) fourniture d'un substrat receveur (12),
(c) traitement d'une surface libre (7) du substrat donneur (11) et/ou d'une surface libre (9) du substrat receveur (12),
- 10 (d) collage du substrat donneur (11) sur le substrat receveur (12), ladite au moins une surface traitée (7, 9) étant à l'interface entre le substrat donneur (11) et le substrat receveur (12), et
(e) transfert d'une portion (3) de la couche semiconductrice ou piézoélectrique (5) du substrat donneur (11) sur le substrat receveur (12),
- 15 le traitement de la surface libre (7) du substrat donneur (11) et/ou de la surface libre (9) du substrat receveur (12) comprenant les étapes successives suivantes :
(c1) un polissage mécano-chimique,
(c2) un retrait de matière dans une région périphérique de la surface polie (7,9).
- 20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, à l'issue de l'étape de polissage mécano-chimique du substrat donneur (11) et/ou du substrat receveur (12) (c1), la surface polie (7,9) présente un relief à la périphérie dudit substrat (11,12), de sorte que l'étape de retrait de matière (c2) dans la région périphérique de ladite surface (7,9) est effectuée pour aplanir ledit relief.
- 25 3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel le retrait de matière périphérique est réalisé par abrasion par un faisceau d'ions focalisé sur une zone de la périphérie de la couche semiconductrice ou piézoélectrique (5) polie, le faisceau d'ions balayant l'ensemble de ladite périphérie.
- 30 4. Procédé selon la revendication 1 à 3, dans lequel le retrait de matière périphérique est réalisé après enregistrement du profil topographique de la surface polie (7,9) par profilométrie et mis en œuvre de sorte que le profil modifié après retrait de matière ne présente qu'un seul maximum et que ledit maximum est le point le plus au centre de la surface polie (7,9) du profil modifié.
- 35 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la portion (3) de la couche semiconductrice ou piézoélectrique (5) du substrat donneur (11) à transférer sur le substrat receveur (12) est délimitée par formation d'une zone de fragilisation préalablement

au collage (d) du substrat donneur (11) sur le substrat receveur (12), de sorte que le transfert de ladite portion (3) sur le substrat receveur (12) comprend le détachement du substrat donneur (11) le long de la zone de fragilisation.

- 5 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la zone de fragilisation dans le substrat donneur (11) est formée par implantation d'hydrogène et/ou d'hélium.

- 10 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le substrat donneur (11) comprend une couche piézoélectrique (5), la surface du substrat donneur à traiter et à coller étant une surface libre (7) de la couche piézoélectrique (5) et la portion du substrat donneur transférée étant une portion (3) de la couche piézoélectrique (5).

- 15 8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la fourniture du substrat donneur (11) comprend les étapes successives suivantes :
(a1) collage d'une couche piézoélectrique épaisse (8) sur un substrat de manipulation (4),
(a2) amincissement de la couche piézoélectrique épaisse (8) par sa face opposée au substrat de manipulation (4),
de sorte que le polissage mécano-chimique (c1) est réalisé sur la surface libre (7) de la couche piézoélectrique amincie (5), opposée au substrat de manipulation (4).

- 20 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la couche piézoélectrique épaisse (8) présente une épaisseur comprise entre 100 μm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 μm et 1mm et en ce que la couche piézoélectrique amincie et polie (5) présente une épaisseur comprise entre 1 μm et 100 μm ,
25 préférentiellement une épaisseur comprise entre 5 μm et 50 μm .

- 10 10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel la fourniture du substrat donneur (11) comprend en outre une étape (a3) de retrait d'une portion périphérique du substrat donneur (11) préalablement au polissage mécano-chimique (c1) de la surface libre (7) de la couche piézoélectrique amincie (5).

- 35 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le substrat donneur (11) comprend une couche semi-conductrice, la surface du substrat donneur à traiter et à coller étant une surface libre de la couche semi-conductrice et la portion du substrat donneur transférée étant une portion de la couche semi-conductrice.

12. Procédé selon l'une des revendications 7 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de formation d'une couche électriquement isolante (6) sur la surface libre de la couche piézoélectrique (5) ou semi-conductrice, de sorte que le collage (d) du substrat

donneur (11) sur le substrat receveur (12) est réalisé par l'intermédiaire de ladite couche électriquement isolante (6).

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que la couche
5 électriquement isolante (6) formée à la surface de la couche piézoélectrique (5) ou semiconductrice polie présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μ m, préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μ m.

14. Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, dans lequel l'étape (c)
10 comprend un traitement de la surface libre (7) de la couche piézoélectrique (5) ou semiconductrice du substrat donneur (11) et dans lequel la formation de la couche électriquement isolante (6) sur ladite surface libre (7) est réalisé après ladite étape de traitement (c) et préalablement au collage (d).

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel la fourniture du
15 substrat receveur (12) (b) comprend la formation d'une couche électriquement isolante (2), préférentiellement une couche d'oxyde, la surface du substrat receveur (12) à traiter et à coller étant une surface libre (9) de la couche électriquement isolante (2).

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la couche
20 électriquement isolante (2) formée à la surface du substrat receveur (12) présente une épaisseur comprise entre 10 nm et 10 μ m, préférentiellement une épaisseur comprise entre 30 nm et 5 μ m.

17. Procédé selon l'une des revendications 15 ou 16, dans lequel la couche
25 électriquement isolante (2) est formée par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD).

18. Procédé selon l'une des revendications 15 à 17, dans lequel l'étape de retrait de
30 matière (c2) est réalisée sur l'ensemble de la surface polie (9) du substrat receveur (12).

19. Procédé selon la revendication 18, dans lequel la quantité de matière à retirer
localement à la surface de la couche électriquement isolante (2) lors de l'étape de retrait de
matière à la surface (9) de ladite couche électriquement isolante (2) est déterminée à partir
35 de mesures d'épaisseur de ladite couche électriquement isolante (9) par ellipsométrie et/ou réflectométrie.