

STRUCTURE HYBRIDE POUR DISPOSITIF A ONDES ACOUSTIQUES DE
SURFACE ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE

5

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine des dispositifs à ondes acoustiques de surface. Elle concerne en particulier une structure hybride adaptée pour la fabrication
10 de dispositifs à ondes acoustiques de surface.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

15

Les structures de résonateurs acoustiques tels que les dispositifs à ondes acoustiques de surface (« SAW » pour « Surface Acoustic Wave » selon la terminologie anglo-saxonne) utilisent un ou plusieurs transducteurs interdigités élaborés sur un substrat piézoélectrique pour convertir des signaux
20 électriques en ondes acoustiques et vice versa. De tels dispositifs ou résonateurs SAW sont souvent utilisés dans les applications de filtrage. La technologie SAW à radiofréquences (RF) fournit d'excellentes performances telles qu'une haute isolation et de faibles pertes d'insertion. Pour cette raison,
25 elle est utilisée pour les duplexeurs RF dans les applications de communication sans fil.

30

L'amélioration des performances des dispositifs SAW RF, passe notamment par l'obtention d'une réponse en fréquence stable vis-à-vis de la température. La dépendance de la fréquence de fonctionnement des dispositifs SAW vis-à-vis de la température, ou le coefficient de fréquence thermique (« TCF » pour « Temperature Coefficient of Frequency »), dépend d'une part des variations de l'espacement entre les

électrodes interdigitées des transducteurs, qui sont généralement dues aux coefficients de dilatation thermique (« CTE » pour « Coefficient of Thermal Expansion ») relativement élevés des substrats piézoélectriques utilisés ;
5 d'autre part, le TCF dépend du coefficient de vitesse thermique car la dilatation ou la contraction du substrat piézoélectrique s'accompagne d'une augmentation ou d'une diminution de la vitesse de l'onde acoustique de surface. Pour minimiser le coefficient de fréquence thermique (TCF), un
10 objectif est donc de minimiser la dilatation/contraction du substrat piézoélectrique, notamment dans la zone de surface dans laquelle les ondes acoustiques vont se propager.

L'article de K.Hashimoto, M.Kadota et al, « Recent development of temperature compensated SAW devices », IEEE
15 Ultrason. Symp. 2011, pages 79 à 86, 2011, donne une vue d'ensemble des approches couramment utilisées pour surmonter le problème de dépendance, vis-à-vis de la température, de la réponse en fréquence des dispositifs SAW.

Une approche intéressante consiste à utiliser un
20 substrat hybride, par exemple composé d'une couche de matériau piézoélectrique disposée sur un substrat de silicium. Le CTE faible du silicium permet de limiter la dilatation/contraction de la couche piézoélectrique en température. Dans le cas d'une couche piézoélectrique de Tantalate de Lithium (LiTaO3),
25 l'article précédemment cité indique qu'un ratio de 10 entre l'épaisseur de LiTaO3 et l'épaisseur du substrat de silicium permet d'améliorer convenablement le coefficient de fréquence thermique (TCF). L'un des inconvénients de cette approche vient de la présence d'ondes acoustiques parasites (appelées
30 « spurious acoustic modes » dans l'article « Characterization of bonded wafer for RF filters with reduced TCF », B.P.Abbott et al, Proc 2005 IEEE International Ultrasonics Symposium, Sept 19-21, 2005, pp.926-929) qui impactent négativement les caractéristiques en fréquence du résonateur élaboré sur le

substrat hybride. Ces résonances parasites sont notamment liées à des réflexions parasites de l'onde acoustique principale (se propageant principalement dans une zone superficielle de la couche de LiTaO₃) sur les interfaces sous-
5 jacentes, dont notamment l'interface entre le LiTaO₃ et le silicium. Une solution pour diminuer ces résonances parasites est d'augmenter l'épaisseur de la couche de LiTaO₃ ; cela supposant d'augmenter également l'épaisseur du substrat de Si pour conserver les améliorations du TCF, l'épaisseur totale du
10 substrat hybride n'est plus compatible avec les besoins de réduction d'épaisseur des composants finaux, notamment pour adresser le marché des téléphones cellulaires. Une autre solution, proposée par K.Hashimoto et al. (Article précédemment cité) est de rugosifier la surface inférieure de
15 la couche de LiTaO₃ (à l'interface de collage avec le substrat) de façon à limiter les réflexions de l'onde acoustique sur celle-ci.

20

OBJET DE L'INVENTION

Un objet de la présente invention est de proposer une solution alternative aux solutions de l'état de l'art. Un objet de l'invention est notamment de proposer une structure
25 hybride permettant la réduction et/ou l'élimination desdites ondes acoustiques parasites.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

30

La présente invention concerne une structure hybride pour dispositif à ondes acoustiques de surface comprenant une couche utile de matériau piézoélectrique assemblée à un substrat support présentant un coefficient de dilatation

thermique inférieur à celui de la couche utile, et une couche intermédiaire située entre la couche utile et le substrat support. La structure hybride est remarquable en ce que la couche intermédiaire est une couche composite frittée, formée
5 à partir de poudres d'au moins un premier matériau et un deuxième matériau différent du premier.

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

- 10 • le premier matériau présente une impédance acoustique similaire à celle de la couche utile ; le rapport entre l'impédance acoustique de la couche utile et l'impédance acoustique du deuxième matériau est supérieur à 2 ; et la
15 taille moyenne des particules des poudres du premier et du deuxième matériau est supérieure ou égale au quart de la longueur d'onde du signal acoustique destiné à se propager en surface du dispositif à ondes acoustiques de surface.
- 20 • le premier matériau et le deuxième matériau sont choisis de manière à former une couche d'adaptation d'impédance acoustique entre la couche utile et le substrat support ; la taille moyenne des particules des poudres du premier et du deuxième matériau est inférieure au quart de la
25 longueur d'onde du signal acoustique destiné à se propager en surface du dispositif à ondes acoustiques de surface.
- le substrat support comprend un matériau choisi parmi le silicium, le verre, la silice, le saphir, l'alumine, le nitrure d'aluminium.
- 30 • la couche utile comprend un matériau piézoélectrique choisi parmi le tantalate de lithium (LiTaO₃), le niobate de lithium (LiNbO₃), le quartz, l'oxyde de zinc (ZnO).
- les premier et deuxième matériaux sont choisis parmi l'oxyde de silicium, le nitrure de silicium, le silicium,

le carbure de silicium, l'alumine, le germanium, le sapphire, le zirconium.

- la couche composite présente une épaisseur comprise entre quelques centaines de nanomètres et plusieurs dizaines de microns.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure hybride pour un dispositif à ondes acoustiques de surface comprenant les étapes suivantes :

- i) La fourniture d'une couche utile de matériau piézoélectrique et d'un substrat support présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile ;
- ii) Le dépôt d'une couche formée d'un mélange de poudres d'au moins un premier matériau et un deuxième matériau différent du premier, sur une première face de la couche utile et/ou sur une première face du substrat support ;
- iii) Le frittage de la couche formée du mélange de poudres pour obtenir une couche composite frittée solidaire de la première face de la couche utile et/ou de la première face du substrat support ;
- iv) L'assemblage de la couche utile et du substrat support, de sorte que la couche composite soit disposée entre la couche utile et le substrat support.

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

- la première face de la couche utile et/ou la première face du substrat support comporte une couche de protection, préalablement au dépôt de la couche formée du mélange de poudres de l'étape ii).

- la couche de protection est formée par au moins un matériau choisi parmi le nitrure de silicium, un oxynitrure de silicium, un oxyde de silicium et l'alumine.
- 5 • le mélange de poudres se présente sous la forme d'une pâte visqueuse, et le dépôt de la couche formée par ledit mélange à l'étape ii) est réalisé par enduction centrifuge.
- le dépôt de la couche formée par le mélange de poudres
10 est suivi d'un traitement thermique à basse température pour évacuer au moins un composant liquide de la pâte visqueuse.
- une couche de collage est déposée sur la couche composite frittée, préalablement à l'étape iv) d'assemblage.
- 15 • la couche utile fournie à l'étape i) est un substrat donneur de matériau piézoélectrique.
- le procédé de fabrication comprend une étape v)
d'amincissement du substrat donneur jusqu'à l'épaisseur
souhaitée de la couche utile pour la fabrication du
20 dispositif à ondes acoustiques.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- la figure 1 présente une structure hybride conforme à
30 l'invention ;
- le tableau 1a présente une liste de matériaux adaptés pour former une couche composite frittée d'une structure hybride conforme à l'invention ;

- le tableau 1b présente une liste de matériaux pour former une couche utile d'une structure hybride conforme à l'invention ;
- les figures 2a et 2b présentent des structures hybrides conformes à l'invention ;
- la figure 3 présente une structure hybride conforme à l'invention, comportant un dispositif SAW ;
- les figures 4a à 4e présentent un procédé de fabrication d'une structure hybride conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Dans la partie descriptive, les mêmes références sur les figures pourront être utilisées pour des éléments de même nature. Les figures sont des représentations schématiques qui, dans un objectif de lisibilité, ne sont pas à l'échelle. En particulier, les épaisseurs des couches selon l'axe z ne sont pas à l'échelle par rapport aux dimensions latérales selon les axes x et y.

L'invention concerne une structure hybride adaptée pour la fabrication des dispositifs à ondes acoustiques de surface (SAW) ; elle est notamment adaptée à la fabrication de dispositifs dont la fréquence est comprise dans la gamme de quelques dizaines de MHz à quelques dizaines de GHz.

La structure hybride 10 selon l'invention comprend une couche utile 1 de matériau piézoélectrique, présentant une première face 1a et une seconde face 1b, comme illustré sur la figure 1. La couche utile 1 est ainsi nommée car elle sera utilisée pour l'élaboration ultérieure des dispositifs à ondes acoustiques de surface. A titre d'exemple, la couche utile 1

de la structure hybride 10 pourra être composée d'un matériau choisi dans le groupe : tantalate de lithium LiTaO_3 (LTO dans le tableau 1b), niobate de lithium LiNbO_3 (LNO dans le tableau 1b), nitrure d'aluminium AlN (tableau 1b), oxyde de zinc (ZnO).

La structure hybride 10 inclut également une couche intermédiaire 3 disposée sous la couche utile 1 (selon l'axe z représenté sur la figure 1). La couche intermédiaire est une couche composite frittée 3, formée à partir de poudres d'au moins deux matériaux différents. Par couche frittée, on entend une couche issue de la consolidation d'un mélange de poudres : cette consolidation est obtenue par apport d'énergie thermique et éventuellement mécanique, mais sans fusion d'au moins un des matériaux pulvérulents du mélange. Le caractère fritté de la couche composite peut donc être détecté par analyse structurale de ladite couche (par exemple par microscopie électronique à balayage). Les particules ou grains des poudres de matériaux apparaissent soudés entre eux et la densité de la couche composite dépend du niveau de compactage du mélange lors de l'apport d'énergie pour la consolidation.

Les particules formant la poudre de chacun des matériaux de la couche composite frittée 3 présentent des dimensions suivant une distribution typiquement gaussienne. Dans la suite de la description, la taille moyenne des particules sera assimilée au diamètre équivalent moyen des particules d'un matériau donné. La taille moyenne des particules peut typiquement varier entre quelques dizaines de nanomètres et quelques microns.

30

La couche composite frittée 3 peut en particulier être formée à partir d'au moins un premier et un deuxième matériau, choisis parmi l'oxyde de silicium, le nitrure de silicium, le silicium, le carbure de silicium, l'alumine, le germanium, le

saphir, le zirconium, dont certaines propriétés sont indiquées dans le tableau 1.

La couche composite frittée 3 pourra éventuellement comprendre trois matériaux différents ou plus.

5

La couche composite frittée 3 présente, selon les modes de réalisation, une épaisseur comprise entre quelques centaines de nanomètres et plusieurs microns.

10 Enfin, la structure hybride 10 comprend un substrat support 2 présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile 1, disposé sous la couche composite 3 (selon l'axe z représenté sur la figure 1), permettant de limiter la dilatation/contraction de la couche
15 utile 1 en température (et ainsi d'améliorer le coefficient de fréquence thermique des dispositifs qui seront élaborés sur ladite couche utile 1). Le substrat support 2 pourra notamment être composé d'un matériau choisi dans le groupe : silicium, semi-conducteurs III-V, carbure de silicium, verre, saphir.

20

Comme illustré sur les figures 2a et 2b, la structure hybride 10 comprend préférentiellement des couches additionnelles 4 disposées sur la première face 1a de la couche utile 1 et/ou sur la première face 2a du substrat support 2, et potentiellement sur la deuxième face 2b du substrat support 2 et sur les tranches dudit substrat 2 (figure 2b). Comme nous le verrons lors de la description du procédé de fabrication de la structure hybride 10, ces couches additionnelles 4 ont notamment une fonction de protection du
25 substrat support 2 et sur les tranches dudit substrat 2 (figure 2b). Comme nous le verrons lors de la description du procédé de fabrication de la structure hybride 10, ces couches additionnelles 4 ont notamment une fonction de protection du
30 substrat support 2 et/ou de la couche utile 1, contre la diffusion d'impuretés contenues dans la couche composite frittée 3 ou présentes lors de l'élaboration de ladite couche 3.

La structure hybride 10 selon l'invention est adaptée à la fabrication de dispositifs à ondes acoustiques de surface (SAW), comportant notamment des électrodes métalliques 20 sur la couche utile 1, entre lesquelles se propage un signal acoustique (schématisé par la flèche blanche sur la figure 3), dans le plan (x,y), à proximité de la surface de la deuxième face 1b de la couche utile 1.

10 Selon un premier mode de réalisation de la structure hybride 10 de l'invention, la couche composite frittée 3 est configurée pour maximiser la diffusion d'une onde acoustique incidente, issue du signal acoustique et qui se propagerait dans le volume de la couche utile 1, jusqu'à la couche
15 composite 3.

Pour cela, dans la couche composite frittée 3, formée à partir de poudres d'au moins un premier et un deuxième matériau, le premier matériau présente une impédance acoustique similaire à celle de la couche utile 1. Par
20 similaire, on entend présentant un écart maximum de +/- 20% autour de la valeur d'impédance acoustique de la couche utile 1, et préférentiellement un écart inférieur à +/-15%, voire +/-10%. A titre d'exemple, pour une couche utile 1 en LiTaO₃, le premier matériau peut être de l'alumine, dont l'impédance
25 acoustique (40.6×10^6 Pa.s/m) est sensiblement la même que celle du tantalate de lithium (44.8×10^6 Pa.s/m).

De plus, le rapport entre l'impédance acoustique de la couche utile 1 et l'impédance acoustique du deuxième matériau de la couche composite frittée 3, est choisi supérieur ou égal
30 à 2, de manière à garantir un coefficient de réflexion de plus de 10%. A titre d'exemple, si le premier matériau est du tantalate de lithium (44.8×10^6 Pa.s/m), le deuxième matériau pourra être du SiO₂, dont l'impédance acoustique est de 13.2×10^6 Pa.s/m, permettant d'obtenir un coefficient de

réflexion de l'ordre de 30% à l'interface entre les particules de la couche composite 3, et produisant des réflexions dans de multiples directions (diffusion).

Enfin, la taille des particules des poudres du premier
5 et du deuxième matériau est supérieure ou égale au quart de la longueur d'onde de l'onde acoustique incidente. Cette caractéristique assure que l'onde acoustique incidente puisse subir l'influence des particules. Par exemple, pour une onde acoustique incidente présentant une longueur d'onde autour de
10 6 microns (soit une fréquence d'environ 1 GHz), la taille moyenne des particules sera choisie autour de 2 microns. La couche composite frittée 3 présente alors une épaisseur supérieure à 5 microns, voire supérieure à 10 microns.

15 Si une couche additionnelle 4 est présente entre la couche utile 1 et la couche composite 3, la couche additionnelle 4 devra avoir une impédance acoustique proche de celle de la couche utile 1, pour limiter les réflexions parasites entre ces deux couches. Pour une couche utile 1 en
20 LiTaO₃, on pourra par exemple utiliser de l'alumine dont l'impédance acoustique (40.6×10^6 Pa.s/m) est proche de celle du LiTaO₃, ce qui conduit à une réflexion de moins de 0.5%.

La couche composite frittée 3 selon le premier mode de
25 réalisation permet de diffuser l'onde incidente dans une multitude de directions, et limite ainsi grandement la composante réfléchie vers les électrodes 20 du dispositif à ondes acoustiques de surface.

30

Selon un deuxième mode de réalisation de la structure hybride 10 de l'invention, la couche composite frittée 3 est configurée pour maximiser la transmission d'une onde acoustique incidente, issue du signal acoustique et qui se

propagerait dans le volume de la couche utile 1, jusqu'à la couche composite 3.

Pour cela, dans la couche composite frittée 3, formée à partir de poudres d'au moins un premier et un deuxième matériau, le premier matériau et le deuxième matériau sont choisis de manière à former une couche d'adaptation d'impédance acoustique entre la couche utile 1 et le substrat support 2. Former une couche d'adaptation d'impédance acoustique sous-entend que l'impédance acoustique moyenne de la couche composite 3 est sensiblement égale à la racine carrée du produit des impédances acoustiques de la couche utile 1 et du substrat support 2 :

$$Z_{couche\ composite} \cong \sqrt{Z_{couche\ utile} \times Z_{substrat}}$$

Rappelons que l'impédance acoustique Z d'un matériau s'exprime comme :

$$Z = v \times \rho$$

où v est la vitesse de l'onde acoustique dans le matériau, ρ est la densité du matériau.

Dans le cas de la couche composite 3, on considère les fractions volumiques V_1 et V_2 de chacun des matériaux la composant, on peut ainsi évaluer son impédance acoustique (dans le cas de deux matériaux) à partir de l'expression :

$$Z_{couche\ composite} = (v_1 \times V_1 + v_2 \times V_2) \times (\rho_1 \times V_1 + \rho_2 \times V_2)$$

où ρ_1 et ρ_2 sont respectivement la densité du premier et du deuxième matériau, v_1 et v_2 sont respectivement la vitesse de l'onde acoustique dans le premier et le deuxième matériau.

Les fractions volumiques V_1 et V_2 sont définies par la proportion de chacun des matériaux dans la couche composite 3.

30

A titre d'exemple, le premier matériau pourra être du Al_2O_3 et le deuxième matériau du SiO_2 , présents dans la couche composite selon des proportions de 65% et 35% respectivement.

L'impédance de la couche composite 3 pourra ainsi être de l'ordre de 30×10^6 Pa.s/m.

De plus, selon ce deuxième mode de réalisation, la
5 taille moyenne des particules des poudres du premier et du deuxième matériau est inférieure au quart de la longueur d'onde de l'onde acoustique incidente. Cette caractéristique assure que l'onde acoustique incidente voit la couche composite comme un milieu quasiment homogène. A titre
10 d'exemple, pour une onde acoustique incidente présentant une longueur d'onde autour de 7.5 microns (soit une fréquence d'environ 800 MHz), la taille moyenne des particules pourra être choisie autour de 0.5 microns. La couche composite frittée 3 pourra présenter une épaisseur de quelques microns.

15

Si une couche additionnelle 4 est présente entre la couche utile 1 et la couche composite 3, la couche additionnelle 4 devra avoir une impédance acoustique proche de celle de la couche utile 1, pour limiter les réflexions
20 parasites entre ces deux couches. Pour une couche utile 1 en LiTaO₃, on pourra par exemple utiliser de l'alumine dont l'impédance acoustique (40.6×10^6 Pa.s/m) est proche de celle du LiTaO₃, ce qui conduit à une réflexion de moins de 0.5%.

Si une couche additionnelle 4 est présente entre la
25 couche composite 3 et le substrat support 2, cette couche additionnelle 4 devra avoir une impédance acoustique proche de celle du substrat support 2, pour limiter les réflexions parasites à l'interface couche additionnelle / substrat support. Pour un substrat support en Si, on pourra par exemple
30 utiliser du nitrure de silicium dont l'impédance acoustique ($\sim 22 \times 10^6$ Pa.s/m) est proche de celle du Si, ce qui conduit à une réflexion de moins de 0.5%.

La couche composite frittée 3 selon le deuxième mode de réalisation permet de privilégier la transmission (par adaptation d'impédance acoustique) de la couche utile 1 vers le substrat 2, de l'onde acoustique incidente se réfléchissant habituellement aux interfaces d'une structure hybride : elle permet donc de diminuer les réflexions parasites impactant négativement les caractéristiques en fréquence du dispositif SAW élaboré sur la structure hybride 10.

10

Selon une variante applicable aux différents modes de réalisation décrits de la structure hybride 10, la couche composite frittée 3 présente de bonnes propriétés diélectriques (résistivité supérieure à 10^7ohms.cm) et une permittivité équivalente faible (typiquement inférieure à 11 F/m, permittivité du silicium), de manière à procurer une isolation électrique équivalente à plusieurs microns d'oxyde de silicium. Une telle couche composite frittée 3 peut notamment améliorer la linéarité du dispositif à ondes acoustiques de surface dans le domaine de radiofréquences.

Selon une autre variante applicable aux différents modes de réalisation décrits de la structure hybride 10, la couche composite frittée 3 présente des propriétés de piégeage de charges électriques mobiles. Cette caractéristique permet de piéger et donc de neutraliser les charges électriques susceptibles d'apparaître dans la partie supérieure du substrat support 2 du fait de la présence de charges fixes dans l'une des couches supérieures (couche additionnelle 4 ou couche utile 1). Pour présenter cette caractéristique de piégeage, l'un des matériaux composant les particules de la couche composite 3 pourra être du silicium.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure hybride 10 pour un dispositif à ondes acoustiques de surface. Le procédé comprend une première étape (notée i)) de fourniture d'une couche utile 1 de matériau piézoélectrique. Selon un mode de mise en œuvre
5 avantageux, la couche utile 1 se présente sous la forme d'un substrat donneur 1' de matériau piézoélectrique, d'épaisseur et de diamètre standard pour l'industrie micro-électronique (figure 4a).

10 La première étape comporte également la fourniture d'un substrat support 2 présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui du substrat donneur 1' (soit également celui de la couche utile 1).

15 Le procédé de fabrication selon l'invention comporte une deuxième étape (notée ii)) comprenant le dépôt d'une couche 3' formée d'un mélange de poudres d'au moins un premier matériau et un deuxième matériau différent du premier, sur une première face 1a de la couche utile 1 (ou du substrat donneur
20 1') et/ou sur une première face 2a du substrat support 2. Dans l'exemple illustré sur la figure 4b, le dépôt de la couche 3' de mélange de poudres est effectué sur la première face 2a du substrat support 2. La couche 3' pourrait être déposée sur la première face 1a de la couche utile 1 ; elle pourrait encore
25 être déposée sur chacune des premières faces 1a, 2a respectivement de la couche utile 1 et du substrat support 2.

Avantageusement, la première face 2a du substrat support 2 comporte une couche de protection 4a élaborée
30 préalablement au dépôt de la couche 3' de mélange de poudres. La couche de protection 4a pourra même encapsuler complètement le substrat support 2, c'est-à-dire recouvrir sa face arrière 2b et sa tranche.

Alternativement, si la couche 3' de mélange de poudres est déposée sur la couche utile 1 (ou le substrat donneur 1'), une couche de protection sera déposée au moins sur la première face 1a de ladite couche utile 1 (ou du substrat donneur 1').

5 Préférentiellement, la couche de protection 4a est formée par au moins un matériau choisi parmi le nitrure de silicium, un oxynitrure de silicium, l'oxyde de silicium, l'alumine. Elle peut être élaborée par différentes techniques connues de dépôt chimique. Elle permet d'éviter ou au moins de
10 limiter la diffusion d'impuretés contenues dans la couche 3', dans le substrat support 2 (ou la couche utile 1)

Selon une première variante de mise en œuvre, le
15 mélange de poudres se présente sous la forme d'une pâte visqueuse.

Une telle pâte est habituellement obtenue en ajoutant un composé liquide, de type solvant (notamment alcool, par exemple éthanol), au mélange sec de poudres. Typiquement, les
20 poudres utilisées contiennent des particules dont la taille moyenne est comprise entre quelques dizaines de nanomètres et quelques microns.

Alternativement, le mélange de poudres peut être intégré à une matrice de type polymère à base de silicium (PDC
25 pour polymer-derived ceramics), apte se transformer en céramique à haute température. Notons que dans le cas d'une couche 3' avec matrice en PDC, la couche composite frittée 3 qui sera obtenue ultérieurement comprendra le premier et le deuxième matériau venant du mélange de poudres, mais également
30 du silicium venant de la transformation en céramique de la matrice.

Le dépôt de la couche 3' formée par ledit mélange à l'étape ii) est préférentiellement réalisé par enduction

centrifuge (« spin coating » ou « dip coating » selon la terminologie anglosaxonne) ou sérigraphie à travers un masque.

La viscosité de la pâte est ajustée par le rapport poudres / composé liquide (solvant et/ou polymère). Elle est choisie pour permettre un dépôt uniforme de la couche 3', à des épaisseurs pouvant aller de quelques centaines de nanomètres à plusieurs microns.

Le dépôt de la couche 3' est suivi d'un traitement thermique à basses températures (par exemple entre 150°C et 400°C) permettant d'évacuer le ou les solvant(s) de la couche 3' et d'éviter tout dégazage ultérieurement au cours du procédé, notamment après l'étape d'assemblage (décrite plus loin).

15

Selon une deuxième variante de mise en œuvre, le mélange de poudres se présente sous une forme sèche pulvérulente et est déposé en une couche 3' sur la première face 2a du substrat support 2 (ou alternativement sur la face 1a du substrat donneur 1'). La mise en forme de cette couche 3' peut être réalisée par moulage par compression ou compression isostatique à chaud. Dans les deux cas, une contrainte en compression est appliquée à la couche 3' pour rendre solidaires entre elles et avec la première face 2a, les particules des poudres du mélange. Un outillage spécifique est nécessaire pour maintenir le mélange pulvérulent sur le substrat et appliquer une contrainte en compression uniforme sur toute la surface dudit substrat.

30

Le procédé de fabrication selon l'invention comporte une troisième étape (notée iii)) comprenant le frittage de la couche 3' formée du mélange de poudres, pour obtenir une

couche composite frittée 3 solidaire de la première face 2a du substrat support 2 (figure 4c).

Le frittage s'opère habituellement à hautes températures, typiquement supérieures à 1000°C, pendant une
5 durée pouvant aller de quelques heures à environ 24 heures. La température de frittage reste néanmoins inférieure à la température de fusion d'au moins une des poudres contenues dans la couche 3'. Sous l'effet de la chaleur, les particules des poudres se soudent entre elles, ce qui forme la cohésion
10 de la couche composite 3 résultante. La couche composite 3 se solidarise également avec la première face 2a du substrat support 2.

Optionnellement, le frittage peut en plus être effectué sous contrainte mécanique, ce qui permet de compacter
15 davantage la couche composite 3.

La couche composite frittée 3 est ainsi composée au moins de particules du premier et du deuxième matériau. Entre les particules, selon le niveau de compactage, il peut exister
20 plus ou moins d'interstices vides (ou contenant la céramique issue d'une matrice PDC). Selon la distribution en taille des particules, la fraction volumique de ces interstices pourra atteindre 50%, et plus préférentiellement être maintenue inférieure à 25%, voire inférieure à 15%, notamment pour
25 assurer une bonne tenue mécanique de la couche composite 3. Par souci de simplification, cette fraction volumique d'interstices n'a pas été prise en compte dans les modes de réalisation de la structure hybride 10 décrits précédemment ; elle pourrait être considérée comme un troisième matériau, en
30 plus des premier et deuxième matériaux composant les particules.

L'épaisseur de la couche 3' déposée à l'étape ii) est choisie de manière à obtenir une épaisseur souhaitée de couche composite frittée 3. En effet, selon le type de couche déposée 3' (sous forme de pâte avec solvant et/ou polymère ou sous
5 forme sèche), la réduction d'épaisseur lors de l'étape de frittage sera plus ou moins importante. Une réduction en volume de la couche 3' de l'ordre de 10 à 30% peut s'opérer.

10 Le procédé de fabrication selon l'invention comporte une quatrième étape (notée iv)) comprenant l'assemblage de la couche utile 1 (ou du substrat donneur 1') et du substrat support 2, de sorte que la couche composite frittée 3 soit disposée entre la couche utile 1 et le substrat support 2
15 (figure 4d).

Préférentiellement, une couche de collage 4b est déposée sur la couche composite 3, préalablement à l'étape iv) d'assemblage. A titre d'exemple, on pourra déposer une couche
20 d'oxyde de silicium sur la surface libre de la couche composite 3. Cette couche de collage 4b procure d'une part, une encapsulation de la couche composite frittée 3, évitant ou au moins limitant les risques de contamination entre les différentes couches de la structure hybride 10 ; d'autre part,
25 la couche de collage 4b peut être avantageuse pour autoriser une préparation de surface classique et non spécifique à la composition de la couche composite frittée 3.

Préférentiellement, l'étape d'assemblage est réalisée
30 par collage direct, par adhésion moléculaire des deux surfaces mises en contact : c'est-à-dire de la première face 1a de la couche utile 1 (ou du substrat donneur 1') et de la face libre de la couche composite 3 sur l'exemple de la figure 4c. Le

principe de l'adhésion moléculaire, bien connu dans l'état de l'art ne sera pas décrit plus en détail ici.

De manière alternative, l'assemblage pourra être réalisé par ajout d'une couche de matière adhésive, ou par
5 toute autre technique de collage adaptée à l'application visée.

Pour la plupart des procédés d'assemblage, un bon état de surface (propreté, faible rugosité, ...) des substrats à assembler sera requis.

10

Le procédé de fabrication selon l'invention peut comprendre en outre une cinquième étape (notée v)) comprenant l'amincissement du substrat donneur 1' jusqu'à l'épaisseur
15 souhaitée de la couche utile 1 pour la fabrication du dispositif à ondes acoustiques (figure 4e). Cette étape pourra par exemple comprendre un rodage mécanique (« grinding ») suivi d'un polissage à sec ou mécano-chimique, permettant d'assurer un bon état de surface à la couche utile 1.
20 Différentes séquences de nettoyage pourront être appliquées pendant ou après l'étape d'amincissement pour garantir la qualité et la propreté de la structure hybride finale 10.

L'amincissement du substrat donneur 1' pour l'obtention de la couche utile 1 pourra être opéré par toute autre
25 technique connue, notamment le procédé Smart Cut® ou autres techniques de réalisation de couches minces.

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

REVENDEICATIONS

1. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques
5 de surface comprenant une couche utile (1) de matériau piézoélectrique assemblée à un substrat support (2) présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile (1), et une couche intermédiaire (3) située entre la couche utile (1) et le substrat support
10 (2), la structure hybride (10) étant caractérisée en ce que la couche intermédiaire (3) est une couche composite frittée(3), formée à partir de poudres d'au moins un premier matériau et un deuxième matériau différent du premier.
- 15 2. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques de surface selon la revendication précédente, dans laquelle :
- le premier matériau présente une impédance acoustique similaire à celle de la couche utile (1),
 - 20 • le rapport entre l'impédance acoustique de la couche utile (1) et l'impédance acoustique du deuxième matériau est supérieur à 2,
 - la taille moyenne des particules des poudres du premier et du deuxième matériau est supérieure ou
25 égale au quart de la longueur d'onde du signal acoustique destiné à se propager en surface du dispositif à ondes acoustiques de surface.
3. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques
30 de surface selon la revendication 1, dans laquelle :
- le premier matériau et le deuxième matériau sont choisis de manière à former une couche d'adaptation d'impédance acoustique entre la couche utile (1) et le substrat support (2),

- la taille moyenne des particules des poudres du premier et du deuxième matériau est inférieure au quart de la longueur d'onde du signal acoustique destiné à se propager en surface du dispositif à ondes acoustiques de surface.
- 5
4. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le substrat support (2) comprend un matériau choisi parmi le silicium, le verre, la silice, le saphir, l'alumine, le nitrure d'aluminium.
- 10
5. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la couche utile (1) comprend un matériau piézoélectrique choisi parmi le tantalate de lithium (LiTaO₃), le niobate de lithium (LiNbO₃), le quartz, l'oxyde de zinc (ZnO).
- 15
6. Structure hybride (10) pour dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les premier et deuxième matériaux sont choisis parmi l'oxyde de silicium, le nitrure de silicium, le silicium, le carbure de silicium, l'alumine, le germanium, le saphir, le zirconium.
- 20
- 25
7. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- 30
- i) La fourniture d'une couche utile (1) de matériau piézoélectrique et d'un substrat support (2) présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile (1) ;

ii) Le dépôt d'une couche (3') formée d'un mélange de poudres d'au moins un premier matériau et un deuxième matériau différent du premier, sur une première face (1a) de la couche utile (1) et/ou sur une première face (2a) du substrat support (2) ;

iii) Le frittage de la couche (3') formée du mélange de poudres pour obtenir une couche composite frittée (3) solidaire de la première face (1a) de la couche utile (1) et/ou de la première face (2a) du substrat support (2) ;

iv) L'assemblage de la couche utile (1) et du substrat support (2), de sorte que la couche composite (3) soit disposée entre la couche utile (1) et le substrat support (2).

15

8. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon la revendication précédente, dans lequel la première face (1a) de la couche utile (1) et/ou la première face (2a) du substrat support (2) comporte une couche de protection (4, 4a), préalablement au dépôt de la couche (3') formée du mélange de poudres de l'étape ii).

20

9. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon la revendication précédente, dans lequel la couche de protection (4, 4a) est formée par au moins un matériau choisi parmi le nitrure de silicium, un oxynitrure de silicium, un oxyde de silicium et l'alumine.

25

30

10. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des trois revendications précédentes, dans lequel le mélange de poudres se présente sous la forme d'une pâte

visqueuse, et le dépôt de la couche (3') formée par ledit mélange à l'étape ii) est réalisé par enduction centrifuge.

5 11. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon la revendication précédente, dans lequel le dépôt de la couche (3') formée par le mélange de poudres est suivi d'un traitement thermique à basse température pour évacuer au moins un composant liquide de la pâte visqueuse.

10

12. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des cinq revendications précédentes, dans lequel une couche de collage (4b) est déposée sur la couche composite 15 (3), préalablement à l'étape iv) d'assemblage.

13. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon l'une des six revendications précédentes, dans lequel la 20 couche utile (1) fournie à l'étape i) est un substrat donneur (1') de matériau piézoélectrique.

14. Procédé de fabrication d'une structure hybride (10) pour un dispositif à ondes acoustiques de surface selon la 25 revendication précédente, comprenant une étape v) d'amincissement du substrat donneur (1') jusqu'à l'épaisseur souhaitée de la couche utile (1) pour la fabrication du dispositif à ondes acoustiques.

30