

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 avril 2017 (27.04.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/068269 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
H01L 41/313 (2013.01) H03H 9/02 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/052674
- (22) Date de dépôt international :
17 octobre 2016 (17.10.2016)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1559993 20 octobre 2015 (20.10.2015) FR
- (71) Déposant : SOITEC [FR/FR]; Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 Bernin (FR).
- (72) Inventeur : LANDRU, Didier; Rue des Armariniers, 38190 Le Champ-pres-froges (FR).
- (74) Mandataire : BREESE, Pierre; Ip Trust, 2 rue de Clichy, 75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A HYBRID STRUCTURE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE HYBRIDE

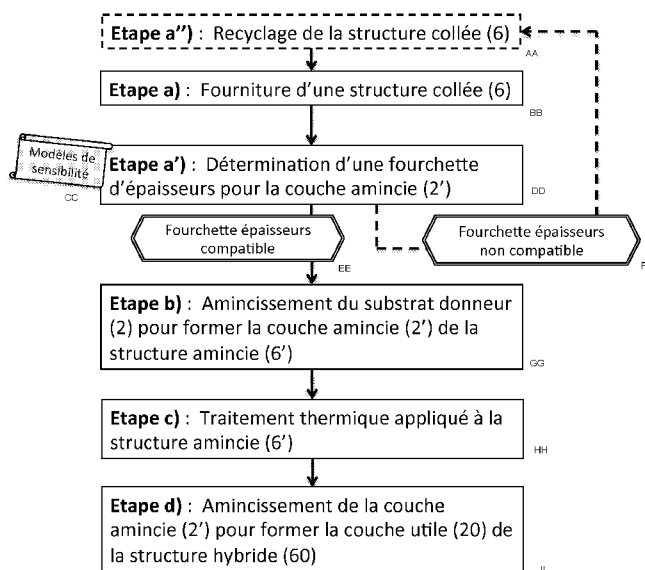


FIG.3

(57) Abstract : The invention relates to a method for manufacturing a hybrid structure (60) comprising an effective layer (20) of piezoelectric material that has an effective thickness and is arranged on a supporting substrate (1) having a substrate thickness and a thermal expansion coefficient lower than that of the effective layer (20), the method comprising: a) A step of providing a bonded structure comprising a piezoelectric material donor substrate and the supporting substrate (1), the bonded structure having a bonding interface (5) between these two substrates, b) A first step of thinning the donor substrate to form a thinned layer that has an intermediate thickness and is arranged on the supporting substrate (1), the assembly forming a thinned structure, c) A step of heat treating the thinned structure at an annealing temperature, d) A second step, after step c), of thinning the thinned layer to form the effective layer (20). The method is characterized in that it comprises, prior to step b), a step a') of determining a range of intermediate thicknesses that prevent the thinned structure (6') from being damaged during step c), the range being defined by a threshold thickness and a maximum thickness, and the intermediate thickness of the thinned layer being selected from within this range.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2017/068269 A1

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure hybride (60) comportant une couche utile (20) de matériau piézo-électrique présentant une épaisseur utile disposée sur un substrat support (1) présentant une épaisseur support et un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile (20), le procédé comprenant : a) Une étape de fourniture d'une structure collée comportant un substrat donneur de matériau piézoélectrique et le substrat support (1), la structure collée présentant une interface de collage (5) entre ces deux substrats; b) Une première étape d'amincissement du substrat donneur pour former une couche amincie, présentant une épaisseur intermédiaire, disposée sur le substrat support (1); l'ensemble formant une structure amincie; c) Une étape de traitement thermique de la structure amincie à une température de recuit; d) Une seconde étape d'amincissement, après l'étape c), de la couche amincie pour former la couche utile (20); le procédé étant remarquable en ce qu'il comprend, préalablement à l'étape b), une étape a') de détermination d'une fourchette d'épaisseurs intermédiaires évitant une dégradation de la structure amincie (6') lors de l'étape c), la fourchette étant définie par une épaisseur seuil et une épaisseur plafond, et l'épaisseur intermédiaire de la couche amincie étant choisie dans cette fourchette.

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE STRUCTURE HYBRIDE

DOMAINE DE L'INVENTION

5 La présente invention concerne le domaine de la fabrication de structures hybrides, notamment de structures comportant une couche de matériau piézoélectrique.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

10

Dans le domaine des dispositifs à ondes acoustiques de surface ou de volume (respectivement « SAW » pour « Surface Acoustic Wave » et « BAW » pour « Bulk Acoustic Wave » selon la terminologie anglo-saxonne), les hétéro-structures
15 comportant une couche de tantalate de lithium (LiTaO_3) disposée sur un substrat de silicium présentent un intérêt croissant : d'une part, parce qu'elles sont compatibles avec des équipements et procédés standard de la microélectronique grâce à leur substrat support en silicium, offrant des opportunités
20 de croissance et de plus faibles coûts ; d'autre part parce qu'elles présentent des avantages techniques comme par exemple une moindre dépendance vis-à-vis de la température, de la réponse en fréquence des dispositifs SAW comme expliqué dans l'article de K.Hashimoto, M.Kadota et al., « Recent
25 development of temperature compensated SAW devices », IEEE Ultrason. Symp. 2011, pages 79 à 86, 2011.

Les hétéro-structures LiTaO_3/Si peuvent par exemple être élaborées à partir de l'assemblage par collage par adhésion moléculaire de deux substrats respectivement de LiTaO_3
30 et de Si. Pour la fabrication de dispositifs à ondes acoustiques sur ces hétéro-structures, il est avantageux de pouvoir appliquer une température supérieure à 200°C , voire 250°C , ceci pour permettre l'utilisation de matériaux et de procédés garantissant de bonnes performances des dispositifs.

La tenue de l'interface de collage entre la couche de LiTaO_3 et le substrat support de Si est un des facteurs importants qui gèrent la bonne tenue mécanique de la structure en température et notamment au-delà de 200°C .

5 Il apparaît donc important de renforcer l'énergie de l'interface de l'hétéro-structure préalablement aux étapes de fabrication du dispositif à ondes acoustiques ; dans le cas d'une hétéro-structure fabriquée par collage par adhésion moléculaire d'une couche sur un substrat support, l'interface
10 de collage peut en particulier être renforcée par application d'un traitement thermique dans une gamme de température autour de $200\text{-}300^\circ\text{C}$. Se pose donc le problème d'appliquer un tel traitement thermique à l'hétéro-structure sans endommager celle-ci du fait de la différence significative de coefficient
15 de dilatation thermique (CTE pour « Coefficient of Thermal Expansion » selon la terminologie anglo-saxonne) des deux matériaux.

Par ailleurs, lorsqu'une hétéro-structure comportant
20 une très fine couche de LiTaO_3 est requise (par exemple pour la fabrication de dispositifs à ondes acoustiques de volume), une solution est de transférer ladite couche par le procédé Smart Cut®, incluant la formation d'un plan fragile enterré dans un substrat donneur de LiTaO_3 par introduction d'espèces légères
25 telles que l'hydrogène ou l'hélium, le collage direct (par adhésion moléculaire) de ce substrat donneur sur un substrat support en silicium, et le détachement au niveau du plan fragile enterré de manière à transférer une couche superficielle de LiTaO_3 sur Si. Il est connu que la couche
30 superficielle après transfert comprend encore des défauts et des espèces légères dans son épaisseur. Il est donc avantageux, pour guérir cette couche de réaliser un recuit dans une gamme adaptée de température : pour permettre la guérison des défauts et l'évacuation des espèces légères, mais

sans endommager les qualités de la couche mince transférée ou la tenue mécanique de l'hétéro-structure. A titre d'exemple, pour une couche de LiTaO_3 , la gamme de températures adaptée est comprise entre 400° et 600°C .

5 Le problème à nouveau est que les hétéro-structures LiTaO_3/Si , compte tenu du très grand écart de coefficient de dilatation thermique entre les deux matériaux, supportent difficilement ces budgets thermiques élevés.

10 Lors de la fabrication de structures hybrides ou hétéro-structures, il est d'usage de réaliser les traitements thermiques présentant une température élevée lorsque la couche superficielle disposée sur le substrat support est la plus fine possible, de manière à limiter les contraintes et les
15 déformations (se traduisant notamment par une courbure du substrat) dans ladite structure hybride. On peut citer à titre d'exemple les structures hybrides de type silicium sur silice massive ou silicium sur saphir, qui peuvent supporter des recuits de l'ordre de 850°C lorsque l'épaisseur de la couche
20 superficielle de silicium est inférieure à environ 100nm et l'épaisseur du substrat de silice massive de l'ordre de 700 microns, sans subir de dommages prohibitifs. Pour des épaisseurs supérieures de la couche superficielle, typiquement 1 micron, la température maximale applicable sans dommage
25 diminue par exemple autour de 600°C . Pour des épaisseurs encore bien supérieures de la couche supérieure, par exemple 700 microns, la température maximale applicable sans dommage diminue par exemple autour de $100\text{-}150^\circ\text{C}$.

Pour une structure hybride composée d'une couche de
30 LiTaO_3 (par exemple de 10 microns d'épaisseur) disposée sur un substrat de silicium (par exemple de 150mm de diamètre et 625 microns d'épaisseur), la demanderesse a utilisé ces connaissances de l'état de l'art : elle a appliqué la température de recuit requise pour renforcer l'interface de

collage (soit 250°C) à la structure hybride finale (10 microns LiTaO₃ sur 625 microns Si), c'est-à-dire comportant la couche superficielle la plus fine possible. La demanderesse a alors observé des résultats inattendus : une dégradation importante de la couche par un phénomène dit de « buckling » correspondant à la déformation par flambage local de la couche de LiTaO₃, rendant la structure hybride inutilisable.

OBJET DE L'INVENTION

10

Un objet de l'invention est donc de proposer un procédé de fabrication d'une structure hybride remédiant aux inconvénients de l'art antérieur. Un objet de l'invention est notamment de proposer un procédé permettant l'application d'un traitement thermique requis sans endommager la structure hybride.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

20

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure hybride comportant une couche utile de matériau piézoélectrique présentant une épaisseur utile disposée sur un substrat support présentant une épaisseur support et un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile, le procédé comprenant :

25

- a) Une étape de fourniture d'une structure collée comportant un substrat donneur de matériau piézoélectrique et le substrat support, la structure collée présentant une interface de collage entre ces deux substrats ;
- b) Une première étape d'amincissement du substrat donneur pour former une couche amincie, présentant une épaisseur intermédiaire, disposée sur le substrat support ; l'ensemble formant une structure amincie ;

30

c) Une étape de traitement thermique de la structure amincie à une température de recuit;

d) Une seconde étape d'amincissement, après l'étape c), de la couche amincie pour former la couche utile ;

5 le procédé étant remarquable en ce qu'il comprend, préalablement à l'étape b), une étape a') de détermination d'une fourchette d'épaisseurs intermédiaires évitant une dégradation de la structure amincie (6') lors de l'étape c), la fourchette étant définie par une épaisseur seuil et une
10 épaisseur plafond, et l'épaisseur intermédiaire de la couche amincie étant choisie dans cette fourchette.

Le procédé de fabrication selon l'invention permet ainsi d'appliquer un traitement thermique à une température de
15 recuit requise pour consolider l'interface de collage ou pour guérir tout ou partie de défauts présents dans la couche amincie (qui deviendra la couche utile), à une structure amincie pour laquelle on a préalablement déterminé la fourchette d'épaisseurs compatibles de la couche amincie.
20 Ledit traitement thermique n'est en général pas applicable à la structure hybride finale c'est-à-dire avec la couche utile à son épaisseur utile, sans générer un endommagement de la couche utile, notamment quand des zones non collées (défauts de collage ou motifs gravés préexistants sur les faces
25 assemblées des substrats) sont présentes à l'interface de collage.

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

30 • l'épaisseur seuil est déterminée à partir d'un premier modèle de sensibilité dont des paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support, les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur et du substrat support, la température de recuit et une taille maximale

de zones non collées présentes à l'interface de collage de la structure collée ;

- l'épaisseur plafond est déterminée à partir d'un second modèle de sensibilité dont des paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support, les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur et du substrat support et la température de recuit ;
- le procédé de fabrication comprend après l'étape a') et préalablement à l'étape b), une étape a'') de recyclage de la structure collée, quand l'étape a') de détermination établit l'épaisseur seuil supérieure à l'épaisseur plafond ou l'épaisseur plafond inférieure à l'épaisseur utile ;
- l'étape a'') de recyclage comprend un décollement au niveau de l'interface de collage de la structure collée ;
- l'étape a'') de recyclage comprend la réutilisation des substrats donneur et support issus du décollement pour une nouvelle étape a) de fourniture d'une structure collée ;
- la seconde étape d'amincissement d) peut en outre comprendre une étape d'amincissement du substrat support ;
- la couche utile est composée d'un matériau choisi dans le groupe : tantalate de lithium (LiTaO_3), niobate de lithium (LiNbO_3), nitrure d'aluminium (AlN), oxyde de zinc (ZnO) ;
- le substrat support est composé d'un matériau choisi dans le groupe : silicium, semi-conducteurs III-V, carbure de silicium, verre, saphir ;
- le substrat support comprend une ou plusieurs couches superficielles.

L'invention concerne en outre une structure hybride comportant une couche utile de matériau piézoélectrique

d'épaisseur utile inférieure à 50 microns assemblée à un substrat support présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile, la structure hybride étant caractérisée en ce qu'une interface de collage entre la couche utile et le substrat support présente une énergie de collage supérieure à 1000 mJ/m² et au moins une zone non collée dont la taille est comprise entre 1 et 1000 microns.

10

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

15

- les figures 1a à 1c présentent un procédé de fabrication d'une structure hybride conforme à l'invention ;
- les figures 2a à 2c présentent trois configurations différentes de fourchettes d'épaisseurs, versus l'épaisseur utile, issues d'une étape de détermination conforme à l'invention ;
- la figure 3 présente différentes étapes du procédé de fabrication conforme à l'invention.

20

25

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une structure hybride 60 comportant une couche utile 20 de matériau piézoélectrique disposée sur un substrat support 1 présentant une épaisseur support et un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile 20 (figure 1c).

30

Le procédé comprend une étape a) de fourniture d'une structure collée 6 comportant un substrat donneur 2 de

matériau piézoélectrique et le substrat support 1. La structure collée 6 présente une interface de collage 5 entre ces deux substrats 1,2 (figure 1a). A titre d'exemple, le substrat donneur 2 peut être composé d'un matériau choisi dans le groupe : tantalate de lithium (LiTaO_3), niobate de lithium (LiNbO_3), nitrure d'aluminium (AlN), oxyde de zinc (ZnO). Le substrat support peut être composé d'un matériau choisi dans le groupe : silicium, semi-conducteurs III-V, carbure de silicium, verre, saphir. L'un et/ou l'autre des substrats 1,2 pourra optionnellement comporter des composants (tout ou partie de circuits micro-électroniques) ou des motifs gravés sur leur face à assembler : les composants pourront être formés de couches empilées de différentes natures et présentant des motifs ; les motifs gravés pourront être formés par des cavités destinées à assurer une fonction dans le dispositif final élaboré sur la structure hybride 60. L'assemblage de la structure collée 6 est avantageusement réalisé par collage par adhésion moléculaire, entre le substrat donneur 2 et le substrat support 1. Optionnellement, une couche intermédiaire, comme par exemple une couche d'oxyde de silicium, de nitrure de silicium ou autre couche favorisant un collage par adhésion moléculaire, peut être ajoutée sur l'un des deux substrats ou les deux avant assemblage. Avantageusement, les substrats 1,2 sont également soumis à des étapes de nettoyage et/ou d'activation de surface avant assemblage, pour favoriser la qualité et l'énergie de l'interface de collage 5 formée après assemblage.

On appellera par la suite « zone non collée » une zone localisée, à l'interface de collage, au niveau de laquelle les surfaces des deux substrats ne sont pas intimement en contact, à l'exclusion de la couronne périphérique non collée en bords des substrats assemblés qui forme une zone d'exclusion. Une « zone non collée » est donc typiquement entourée par une zone collée. Une zone non collée pourra être liée à un défaut de

collage, par exemple dû à la présence d'une particule ou autre contamination (hydrocarbure ou autre) à l'interface de collage 5 de la structure collée 6. Elle pourra également être liée à la présence d'un motif gravé ou d'une topographie locale sur le substrat donneur 2 ou le substrat support 1, dû à la présence de composants ou de cavités ou encore de marques laser (par exemple pour assurer la traçabilité des substrats) sur leurs faces respectives à assembler.

10 Après l'étape d'assemblage, le procédé comprend une étape b) correspondant à une première étape d'amincissement du substrat donneur 2 pour former une couche amincie 2', présentant une épaisseur intermédiaire, disposée sur le substrat support 1 ; l'ensemble formant une structure amincie 15 6' (figure 1b). Le substrat donneur 2 est aminci au niveau de sa face arrière 4, par des techniques d'amincissement mécanique, mécano-chimique et/ou de gravure chimique ou encore par un procédé de type Smart Cut®, bien connu de l'homme du métier. A titre d'exemple, le substrat donneur 2 peut être 20 aminci par « grinding » (amincissement mécanique) puis par polissage mécano-chimique. Cette étape d'amincissement précède une étape c) de traitement thermique dont la fonction peut être de consolider l'interface de collage 5 ou de guérir des défauts dans la couche amincie 2' qui deviendra la couche 25 utile 20. Il est ainsi important que l'étape b) d'amincissement mène à l'obtention d'une structure amincie 6' compatible avec le traitement thermique requis à l'étape c) suivante.

30 A cet effet, le procédé de fabrication est remarquable en ce qu'il comprend une étape a'), préalable à l'étape b) d'amincissement, de détermination d'une fourchette d'épaisseurs intermédiaires pour la couche amincie 2', visant à éviter une dégradation de la structure amincie lors de l'étape c) de traitement thermique. Ladite fourchette est

définie par une épaisseur seuil et une épaisseur plafond, l'épaisseur intermédiaire de la couche amincie 2' est ainsi choisie dans cette fourchette.

L'épaisseur seuil est déterminée à partir d'un premier modèle de sensibilité dont les paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support (du substrat support 1), les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur 2 et du substrat support 1, la température de recuit requise à l'étape c) de traitement thermique et une taille maximale de zones non collées présentes à l'interface de collage 5 de la structure collée 6.

Le premier modèle de sensibilité est établi à partir d'une équation traduisant la relaxation d'une couche mince en compression sur un substrat. Un phénomène de relaxation d'une couche mince tel que le « buckling » (flambage) nécessite la présence d'une zone non collée à l'interface entre la couche mince et le substrat. La contrainte critique $\sigma_{buckling}$ nécessaire pour initier cette relaxation de la couche mince, qui correspond à la déformation par flambage local de ladite couche, peut s'exprimer comme :

$$\sigma_{buckling} = \frac{\pi^2}{12} \frac{E_2}{(1 - \nu_2^2)} \left(\frac{h_2}{r} \right)^2$$

{equ.1}

avec E_2 le module d'Young de la couche mince, ν_2 le coefficient de Poisson de la couche mince, h_2 l'épaisseur de la couche mince et r le rayon de la zone non collée entre la couche mince et le substrat. La contrainte traduit une force appliquée par unité de surface sur la section (longueur x épaisseur) de la couche mince. Pour s'affranchir de la longueur de ladite section et ne considérer que l'épaisseur h_2 de la couche mince, on peut exprimer une force critique normalisée par la longueur, $F_{buckling}^{norm.}$ en N/m :

$$F_{buckling}^{norm.} = \sigma_{buckling} \cdot h_2 = \frac{\pi^2}{12} \frac{E_2 \cdot h_2}{(1 - \nu_2^2)} \left(\frac{h_2}{r} \right)^2$$

{equ.2}

Considérons que la couche mince correspond à la couche amincie 2' : E_2 , ν_2 sont donc respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau piézoélectrique constituant la couche amincie 2' ; h_2 est l'épaisseur intermédiaire et r est le rayon maximal des zones non collées présentes à l'interface de collage 5 de la structure collée 6. La taille des zones non collées présentes à l'interface de collage 5 pourra par exemple être déterminée par imagerie en lumière blanche ou en infra-rouge selon les matériaux constitutifs de la structure collée 6, ou encore par microscopie acoustique, technique particulièrement avantageuse pour détecter les zones non collées de petite taille. Le rayon maximal des zones non collées à l'interface de collage 5 (pouvant être liées à des défauts de collage ou à des motifs préexistants sur l'une ou l'autre des faces assemblées des substrats donneur 2 et support 1) pourra ainsi être extrait pour chaque structure collée 6.

L'équation {equ.2} montre que le phénomène de « buckling » sera d'autant plus facile à initier (cad requerra une force normalisée $F_{buckling}^{norm.}$ plus faible) que l'épaisseur intermédiaire h_2 de la couche amincie 2' sera faible et que le rayon maximal r des zones non collées sera grand.

On connaît par ailleurs l'épaisseur support h_1 du substrat support 1 ainsi que ses caractéristiques mécaniques (E_1 , son module d'Young) ; on connaît également la température de recuit requise à appliquer à la structure amincie 6' au cours de l'étape c) de traitement thermique. On peut donc exprimer la force en compression normalisée $F^{norm.}$ qui s'appliquera à la couche amincie 2' au cours du traitement thermique de l'étape c) :

$$F^{norm.} = \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_2^3)}{6(h_1 + h_2) \cdot \rho}$$

{equ.3}

avec ρ le rayon de courbure de la structure amincie 6' :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\Delta CTE \cdot \Delta T}{K(h_1, h_2)}$$

{equ.4}

avec ΔCTE la différence entre les coefficients de dilatation thermique des matériaux respectifs de la couche amincie 2' et du substrat support 1 ; ΔT le delta de température entre température ambiante et température de recuit appliquée ; et le terme $K(h_1, h_2)$ qui s'exprime comme :

$$K(h_1, h_2) = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_2^3)}{6(h_1 + h_2)} \cdot \left(\frac{1}{E_1 \cdot h_1} + \frac{1}{E_2 \cdot h_2} \right)$$

{equ.5}

10 L'épaisseur seuil de la fourchette peut ainsi être déterminée en posant $F^{norm.} = F_{buckling}^{norm.}$, par résolution de l'équation {equ.5} :

$$\frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_{2seuil}^3) \cdot \Delta CTE \cdot \Delta T}{6(h_1 + h_{2seuil}) \cdot K(h_1, h_{2seuil})} = \frac{\pi^2 E_2 \cdot h_{2seuil}}{12 (1 - \nu_2^2)} \left(\frac{h_{2seuil}}{r} \right)^2$$

{equ.6}

avec h_{2seuil} ladite épaisseur seuil.

15

L'épaisseur seuil correspond à l'épaisseur intermédiaire en-dessous de laquelle le phénomène de « buckling » a une forte probabilité d'apparaître, compte tenu des caractéristiques de la structure amincie 6' (type de matériaux la constituant, taille maximale de zones non collées présentes à l'interface de collage 5, épaisseur du substrat support) et de la température de recuit devant être appliquée au cours du traitement thermique de l'étape c). Notons que le phénomène de « buckling » peut également s'accompagner d'un élargissement de la zone non collée, préférentiellement perpendiculairement aux axes cristallographiques ayant le

20

25

coefficient de dilatation le plus élevé. Cet élargissement peut être d'autant plus important que l'énergie de l'interface de collage 5 est faible. La consolidation de l'énergie de l'interface de collage 5, dans une configuration évitant l'apparition du « buckling » est donc à plus forte raison importante.

Le premier modèle de sensibilité relie ainsi l'épaisseur seuil à un ensemble de paramètres caractéristiques de la structure amincie 6' et aux contraintes thermiques qu'elle doit subir.

L'épaisseur plafond est déterminée à partir d'un second modèle de sensibilité dont les paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support (du substrat support 1), les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur 2 et du substrat support 1 et la température de recuit requise à l'étape c) de traitement thermique.

Le second modèle de sensibilité est établi à partir d'une équation traduisant la rupture du matériau constituant le substrat support 1, contraint en extension dans la structure amincie 6' au cours d'un traitement thermique. L'énergie élastique E stockée dans le substrat support 1, dans le cas d'une structure amincie 6' comportant une couche amincie 2' et un substrat support 1 de nature différente et à laquelle est appliqué un traitement thermique, s'exprime ainsi :

$$E = \frac{1}{E_1} \left(\frac{(F^{norm.})^2}{h_1} + \frac{E_1^2 \cdot h_1^3}{12 \cdot \rho^2} \right)$$

{equ.7}

La rupture du matériau constituant le substrat support 1 apparaît quand l'énergie élastique E dépasse une valeur critique donnée par :

$$E_{rupture} = \frac{K_{1c}^2}{E_1}$$

{equ.8}

avec K_{1c} la ténacité du matériau constituant le substrat support 1.

5 L'épaisseur plafond de la fourchette peut ainsi être déterminée en posant $E = E_{rupture}$, par résolution de l'équation :

$$\left(\frac{1}{h_1} \left[\frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_{2plafond}^3) \cdot \Delta CTE \cdot \Delta T}{6(h_1 + h_{2plafond}) \cdot K(h_1, h_{2plafond})} \right]^2 + \frac{E_1^2 \cdot h_1^3 \cdot (\Delta CTE \cdot \Delta T)^2}{12 \cdot [K(h_1, h_{2plafond})]^2} \right) = K_{1c}^2$$

{equ.9}

avec $h_{2plafond}$ ladite épaisseur plafond.

10 L'épaisseur plafond correspond à l'épaisseur intermédiaire de la couche amincie 2' au-dessus de laquelle la rupture du substrat support 1 a une forte probabilité d'apparaître, compte tenu des caractéristiques de la structure amincie 6' (type de matériaux la constituant, épaisseur du
15 substrat support 1) et de la température de recuit devant être appliquée au cours du traitement thermique de l'étape c).

Le second modèle de sensibilité relie ainsi l'épaisseur
plafond à un ensemble de paramètres caractéristiques de la
structure amincie 6' et aux contraintes thermiques qu'elle
20 doit subir.

Une structure hétérogène telle que la structure amincie
6' subit des contraintes et des déformations lorsqu'elle est
soumise à un traitement thermique, du fait des dilatations
25 différentielles des deux matériaux la constituant. Elle se déforme en adoptant une courbure pouvant mener à différents modes de défaillance : la casse du substrat support 1, le flambage local (« buckling ») de la couche amincie 2', la formation de dislocations ou de plans de glissement dans la
30 structure (en particulier dans la couche amincie 2'), le décollement au niveau des bords de la structure amincie 6', etc... Expérimentalement, la demanderesse a constaté que, dans

le cas de structures amincies 6' comportant une couche de matériau piézoélectrique et un substrat support d'un matériau ayant un coefficient de dilatation thermique inférieur, les deux modes de défaillances prépondérants étaient d'une part, la casse du substrat support 1 (phénomène de rupture du matériau au-delà de l'énergie critique de rupture) et d'autre part, le flambage local, au niveau de zones non-collées, de la couche amincie 2' (phénomène de relaxation d'une couche mince en compression, dit de « buckling »). Les deux modèles de sensibilité établis par la demanderesse à partir des équations {equ.6} et {equ.9} sont donc bien adaptés à la détermination de fourchettes d'épaisseurs pour la couche amincie 2', dans le cas de structures amincies hétérogènes 6' dont ladite couche amincie 2' est formée d'un matériau piézoélectrique.

15

A la suite de l'étape a'), on obtient donc une fourchette d'épaisseurs définie par l'épaisseur seuil et l'épaisseur plafond déterminées, comme illustré sur les figures 2a à 2c.

20

Selon une première variante de mise en œuvre du procédé de fabrication, l'épaisseur utile de la couche utile 20 attendue pour la structure hybride 60 finale est inférieure à la fourchette d'épaisseurs définie (figure 2a) : on est dans un cas de fourchette d'épaisseurs compatibles avec la structure finale envisagée. Le procédé de fabrication selon l'invention comporte, comme évoqué précédemment, l'étape b) d'amincissement du substrat donneur 2 pour former la couche amincie 2', après l'étape a') de détermination de la fourchette d'épaisseurs compatible. L'épaisseur intermédiaire de la couche amincie 2' sera alors choisie de manière à être comprise dans ladite fourchette, c'est-à-dire entre l'épaisseur seuil et l'épaisseur plafond. Le procédé comprend ensuite l'étape c) de traitement thermique à la température de recuit requise pour la structure amincie 6'. A titre

30

d'exemple, cette température de recuit pourra varier entre 200°C et 600°C selon le type de structure hybride attendu et selon l'objectif de ce traitement thermique : consolidation de l'interface de collage 5, guérison de défauts ou exo-diffusion d'espèces légères dans l'épaisseur de la couche amincie 2' (destinée à devenir la couche utile 20), etc. Le traitement thermique pourra comporter une entrée et une sortie du four à basse température par exemple 100°C, une rampe de montée et de descente en température, par exemple entre 0,5 et 5°/min, et un palier à la température de recuit requise, par exemple entre 200°C et 600°C, pendant une durée allant de 30min à quelques heures.

Après l'étape c) de traitement thermique, le procédé comporte une étape d) correspondant à une seconde étape d'amincissement de la couche amincie 2' pour former la couche utile 20 présentant une épaisseur utile, disposée sur le substrat support 1 ; l'ensemble formant la structure hybride 60 finale (figure 1c). La couche 2' est donc à nouveau amincie, au niveau de sa face arrière 4, par des techniques d'amincissement mécanique, mécano-chimique et/ou de gravure chimique et/ou amincissement par le procédé Smart Cut®. A titre d'exemple, la couche 2' peut être amincie par des séquences de polissage mécano-chimique, suivies d'un nettoyage. La structure hybride 20 ainsi formée peut ensuite être utilisée pour l'élaboration de dispositifs électroniques, ses propriétés (énergie de collage de l'interface de collage 5 et/ou qualité de la couche utile 20) ayant été améliorées par la réalisation du procédé selon l'invention. Habituellement, les étapes d'élaboration des dispositifs ne nécessitent pas l'application de traitements thermiques à une température aussi élevée que la température de recuit de l'étape c) du procédé.

Selon une deuxième variante de mise en œuvre du procédé de fabrication, l'épaisseur utile de la couche utile 20 attendue pour la structure hybride 60 finale est comprise dans la fourchette d'épaisseurs définie (figure 2b) ; on est dans un cas de fourchette d'épaisseurs compatibles avec la structure finale envisagée. Le procédé de fabrication selon l'invention comporte, comme évoqué précédemment, l'étape b) d'amincissement du substrat donneur 2 pour former la couche amincie 2', après l'étape a'). L'épaisseur intermédiaire de la couche amincie 2' sera avantageusement choisie de manière à être comprise dans la fourchette, et en particulier, elle sera choisie égale ou sensiblement supérieure à l'épaisseur utile. Le procédé comprend ensuite l'étape c) de traitement thermique à la température de recuit requise pour la structure amincie 6'. A titre d'exemple, cette température de recuit pourra varier entre 200°C et 600°C selon le type de structure hybride 60 attendu et selon l'objectif de ce traitement thermique.

Après l'étape c) de traitement thermique, le procédé comporte une étape d) correspondant à une seconde étape d'amincissement de la couche amincie 2' pour former la couche utile 20 présentant une épaisseur utile, disposée sur le substrat support 1 ; l'ensemble formant la structure hybride 60 finale. Selon cette deuxième variante de mise en œuvre, l'étape b) d'amincissement de la couche amincie amène déjà l'épaisseur intermédiaire sensiblement à l'épaisseur utile. L'étape d) pourra ainsi consister essentiellement en une étape de polissage à faible enlèvement (« touch polishing » selon la terminologie anglo-saxonne) et en des séquences de nettoyage, permettant d'améliorer l'état de surface de la face 4 de la couche utile 20. La structure hybride 20 ainsi formée peut ensuite être utilisée pour l'élaboration de dispositifs électroniques, en particulier de dispositifs à ondes acoustiques.

Selon une troisième variante de mise en œuvre du procédé de fabrication selon l'invention, l'épaisseur utile de la couche utile 20 attendue pour la structure hybride 60 finale est supérieure à la fourchette d'épaisseurs définie (figure 2c), autrement dit l'épaisseur utile est supérieure à l'épaisseur plafond. Cette configuration traduit le fait que la fourchette d'épaisseurs définie (déterminée grâce aux modèles de sensibilité et à partir des caractéristiques de la structure collée 6 et de la température de recuit requise) est incompatible avec la structure hybride 20 finale attendue.

Cette configuration de fourchette d'épaisseurs incompatible avec la structure hybride 20 attendue (figure 2c) peut être liée au fait que l'épaisseur support est insuffisante. Le procédé de fabrication selon l'invention comporte alors une étape a'') de recyclage de la structure collée 6. L'étape a'') consiste à réaliser le décollement de la structure collée 6 au niveau de l'interface de collage 5, menant à la séparation du substrat donneur 2 et du substrat support 1. Ce décollement peut être effectué par insertion d'un outil en forme de biseau entre les bords chanfreinés des deux substrats donneur 2 et support 1 de la structure collée 6. Après le décollement, l'étape a'') de recyclage comprend en outre la réutilisation des substrats donneur 2 et support 1 décollés pour une nouvelle étape a) de fourniture d'une structure collée 6. L'étape a'') de recyclage peut être mise à profit pour utiliser un substrat support 1 d'épaisseur plus importante et fournir une nouvelle structure collée 6. Cette augmentation de l'épaisseur support permettra notamment d'augmenter la valeur d'épaisseur plafond, l'objectif étant de retrouver une fourchette d'épaisseurs compatible c'est-à-dire avec une épaisseur plafond supérieure à l'épaisseur utile attendue. La seconde étape d'amincissement d) selon le procédé comportera en outre, dans ce cas, une étape d'amincissement de la face arrière du substrat support 1, de manière à le ramener

à l'épaisseur support requise pour la structure hybride 60 finale. Cette étape d'amincissement supplémentaire pourra consister en un amincissement mécanique, mécano-chimique ou chimique.

5 La configuration dans laquelle la fourchette d'épaisseurs est incompatible avec la structure hybride 20 attendue (figure 2c) peut également être liée au fait que la température de recuit est trop élevée. On peut alors choisir de diminuer la température de recuit à appliquer à l'étape c) 10 de traitement thermique. L'étape a'') de recyclage peut également être mise à profit pour appliquer une préparation de surface différente (pouvant être potentiellement plus complexe ou couteuse mais nécessaire dans ce cas de figure) aux 15 substrats 1 et 2 avant leur assemblage, permettant par exemple de favoriser l'énergie de collage après un traitement thermique à plus basse température. Une nouvelle fourchette d'épaisseurs est alors déterminée avant de poursuivre le procédé.

20 Selon une quatrième variante de mise en œuvre du procédé de fabrication, l'épaisseur seuil déterminée à l'étape a') est supérieure à l'épaisseur plafond déterminée à la même étape (configuration non représentée). Dans ce cas de figure, la fourchette d'épaisseur est également considérée comme 25 incompatible avec la structure attendue, puisqu'elle n'existe pas (la fourchette d'épaisseur étant définie par une épaisseur seuil inférieure à une épaisseur plafond). Il se peut dans ce cas que la taille maximale des zones non collées présentes à l'interface de collage 5 soit trop grande pour autoriser une 30 fourchette d'épaisseurs compatible. Le procédé de fabrication selon l'invention comporte alors une étape a'') de recyclage de la structure collée 6. L'étape a'') consiste à réaliser le décollement de la structure collée 6 au niveau de l'interface de collage 5, menant à la séparation du substrat donneur 2 et

du substrat support 1. Ce décollement peut être effectué par application d'une contrainte à l'interface entre les deux substrats donneur 2 et support 1 de la structure collée 6. Après le décollement, l'étape a'') de recyclage comprend la réutilisation des substrats donneur 2 et support 1 décollés pour une nouvelle étape a) de fourniture d'une structure collée 6. Dans l'hypothèse que la zone non collée de taille maximale était relative à un défaut de collage, l'étape de recyclage a'') peut permettre d'éliminer ce défaut par un nouveau nettoyage et une nouvelle préparation des surfaces des substrats 1,2 à assembler.

Si la taille des zones non collées présentes à l'interface de collage 5 est difficile à réduire (dans le cas par exemple de motifs ou cavités préexistantes sur l'un des deux substrats assemblés et ayant une fonction particulière), l'étape a'') de recyclage peut être par exemple mise à profit pour utiliser modifier les conditions d'assemblage pour permettre de limiter ultérieurement la température requise à appliquer à l'étape c) et fournir une nouvelle structure collée 6.

Les principales étapes du procédé selon l'invention sont illustrées sur la figure 3.

Le procédé de fabrication selon l'invention permet d'appliquer un traitement thermique à une température de recuit requise pour consolider l'interface de collage 5 ou pour guérir des défauts dans la couche amincie 2' (qui deviendra la couche utile 20), à une structure amincie 6' pour laquelle on a préalablement déterminé la fourchette d'épaisseurs compatibles pour la couche amincie 2'. Ledit traitement thermique n'est en général pas applicable à la structure hybride 60 finale c'est-à-dire avec la couche utile 20 à son épaisseur utile, sans générer un endommagement de la couche utile 20, notamment quand des zones non collées

(défauts de collage ou motifs gravés préexistants sur les faces assemblées des substrats 1,2) sont présentes à l'interface de collage 5.

Par ailleurs, l'étape a') de détermination de la fourchette d'épaisseurs compatibles permet d'identifier quand il est nécessaire de recycler la structure collée 6, et ce avant d'engager l'étape d'amincissement b), elle permet ainsi d'augmenter les rendements de fabrication.

L'invention concerne également une structure hybride 60 comportant une couche utile 20 de matériau piézoélectrique d'épaisseur utile inférieure à 50 microns assemblée à un substrat support 1 présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile 20 (figure 1c). L'interface de collage 5 entre la couche utile 20 et le substrat support 1 présente une énergie de collage supérieure ou égale à 1000 mJ/m^2 et au moins une zone non collée dont la taille est comprise entre 1 et 1000 microns. La couche utile 20 est composée d'un matériau choisi dans le groupe : tantalate de lithium (LiTaO_3), niobate de lithium (LiNbO_3), nitrure d'aluminium (AlN), oxyde de zinc (ZnO), etc. A titre d'exemple son épaisseur est comprise entre 0,1 micron et 50 microns. Le substrat support 1 est composé d'un matériau choisi dans le groupe : silicium, semi-conducteurs III-V, carbure de silicium, verre, saphir, etc. A titre d'exemple, son épaisseur est comprise entre 300 et 1000 microns. Le substrat support peut également comprendre une ou plusieurs couches superficielles de différentes natures. A titre d'exemple, le substrat support pourra consister en un substrat en silicium monocristallin comportant une couche superficielle du côté de sa face à assembler, apte à piéger des charges, en particulier en silicium polycristallin, ; il pourra également consister en un substrat SOI (silicium sur isolant) dont les couches superficielles sont en oxyde de silicium et en

silicium ou encore en un substrat SOI muni d'une couche de piégeage de charges sous la couche d'oxyde.

Exemple 1 :

5 Un substrat support 1 en silicium (Si) de 150mm de diamètre, d'épaisseur 725 microns, comporte des motifs gravés à espacement régulier sur toute sa face à assembler. Ces motifs pourront par exemple avoir une fonction de marques d'alignement ou constituer des cavités servant à la
10 fabrication de membranes suspendues ou encore constituer des contacts électriques dans la structure hybride 60 finale, sur laquelle seront élaborés les dispositifs. Le substrat support 1 comporte également une couche d'oxyde sur sa face à assembler. Il est collé par adhésion moléculaire avec un
15 substrat donneur 2 en tantalate de lithium (LiTaO_3) de même diamètre pour fournir la structure collée 6. Une étape de contrôle par microscopie acoustique permet de détecter et de mesurer les zones non collées à l'interface de collage 5, générées par les motifs. La taille maximale de zones non
20 collées correspond à un rayon r de 500 microns.

La structure hybride 60 finale attendue comporte une couche utile 20 de 10 microns et un substrat support de 725 microns. La température de recuit à appliquer est 230°C , dans le but de consolider suffisamment l'interface de collage 5
25 pour que la structure hybride 60 supporte les étapes subséquentes d'élaboration des dispositifs à ondes acoustiques.

L'étape a') permet de déterminer des épaisseurs seuil et plafond : $h_{2\text{seuil}} = 28 \mu\text{m}$ et $h_{2\text{plafond}} = 32 \mu\text{m}$. La fourchette
30 d'épaisseur obtenue est compatible avec la structure hybride 60 attendue, l'épaisseur utile étant inférieure à ladite fourchette.

L'étape b) d'amincissement, consistant en un amincissement mécanique suivi d'un polissage mécano-chimique

et d'un nettoyage chimique, permet de former une couche amincie 2' dont l'épaisseur intermédiaire est de 30 μm . Le traitement thermique de l'étape c) est ensuite effectué. L'entrée dans le four s'effectue à 100°C, la rampe de montée en température est de 1°/min jusqu'à atteindre un palier à 230°C, d'une durée de 4h. Une rampe de descente en température à 1°/min est ensuite opérée jusqu'à 100°C avant de sortir la structure amincie 6' du four. La structure amincie 6' subit ensuite une seconde étape d'amincissement de la couche amincie 2' jusqu'à une épaisseur de 10 microns pour former la couche utile 20.

La structure hybride 60 ainsi obtenue est intègre et présente une interface de collage 5 consolidée dont l'énergie de collage est supérieure ou égale à 1000mJ/m², une couche utile 20 intègre ne comportant pas de dégradation liée à des phénomènes de « buckling » et ce malgré la présence de zones non collées à son interface, d'une taille comprise entre 100 et 500 microns. Une telle structure hybride 60 peut ensuite être utilisée pour l'élaboration de dispositifs à ondes acoustiques.

Exemple 2 :

Un substrat support 1 en silicium (Si) de 150mm de diamètre d'épaisseur 725 microns et comportant une couche d'oxyde sur sa face à assembler est collé par adhésion moléculaire avec un substrat donneur 2 en tantalate de lithium (LiTaO₃) de même diamètre pour fournir la structure collée 6. Une étape de contrôle par microscopie acoustique permet de détecter deux défauts de collage (zones non collées) à l'interface de collage 5, dont la taille maximale correspond à un rayon r de 700 microns.

La structure hybride 60 finale attendue comporte une couche utile 20 de 10 microns et un substrat support de 725 microns. La température de recuit à appliquer est 250°C, dans

le but de consolider suffisamment l'interface de collage 5 pour que la structure hybride 60 supporte les étapes ultérieures d'élaboration des dispositifs à ondes acoustiques.

L'étape a') permet de déterminer des épaisseurs seuil et plafond : $h_{2\text{seuil}} = 28 \mu\text{m}$ et $h_{2\text{plafond}} = 25 \mu\text{m}$. La fourchette d'épaisseur obtenue n'est pas compatible avec la structure hybride 60 attendue, l'épaisseur seuil étant supérieure à l'épaisseur plafond.

L'étape a'') de recyclage est alors opérée, dans le but de diminuer la taille maximale des défauts de collage présents à l'interface de collage 5 : l'insertion d'un outil en forme de biseau au niveau de l'interface de collage 5 de la structure collée 6 permet de séparer les substrats donneur 2 et support 1. Une nouvelle séquence de nettoyage et d'activation de surface des deux substrats est effectuée avant un nouvel assemblage, pour fournir une nouvelle structure collée 6. Une nouvelle étape de contrôle par microscopie acoustique permet de détecter dix défauts à l'interface de collage 5, dont la taille maximale correspond à un rayon r de 150 microns.

Sur la base des nouvelles caractéristiques de la structure collées 6, l'étape a') permet de déterminer les épaisseurs seuil et plafond suivantes : $h_{2\text{seuil}} = 20 \mu\text{m}$ et $h_{2\text{plafond}} = 25 \mu\text{m}$. La fourchette d'épaisseur obtenue est maintenant compatible avec la structure hybride 60 attendue, l'épaisseur seuil étant inférieure à l'épaisseur plafond et l'épaisseur utile étant inférieure à ladite fourchette.

L'étape b) d'amincissement, consistant en un amincissement mécanique suivi d'un polissage mécano-chimique et d'un nettoyage chimique, permet de former une couche amincie 2' dont l'épaisseur intermédiaire est de 23 microns. Le traitement thermique de l'étape c) est ensuite effectué. L'entrée dans le four s'effectue à 70°C , la rampe de montée en température est de $1^\circ/\text{min}$ jusqu'à atteindre un palier à 250°C ,

d'une durée de 4h. Une rampe de descente en température à 1°/min est ensuite opérée jusqu'à 100°C avant de sortir la structure du four. La structure amincie 6' subit ensuite une seconde étape d'amincissement de la couche amincie 2' jusqu'à une épaisseur utile de 10 microns pour former la couche utile 20.

La structure hybride 60 ainsi obtenue est intègre et présente une interface de collage 5 consolidée dont l'énergie de collage est supérieure ou égale à 1000mJ/m², voire même supérieure à 1500mJ/m²; elle présente également une couche utile 20 intègre ne comportant pas de dégradation liée à des phénomènes de « buckling » et ce malgré la présence de zones non collées à son interface d'une taille comprise entre 50 et 150 microns. Une telle structure hybride 60 peut ensuite être utilisée pour l'élaboration de dispositifs à ondes acoustiques.

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

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) comportant une couche utile (20) de matériau piézoélectrique présentant une épaisseur utile disposée sur un substrat support (1) présentant une épaisseur support et un coefficient de dilatation thermique inférieur à celui de la couche utile (20), le procédé comprenant :

5 a) Une étape de fourniture d'une structure collée (6) comportant un substrat donneur (2) de matériau piézoélectrique et le substrat support (1), la structure collée (6) présentant une interface de collage (5) entre ces deux substrats ;

10 b) Une première étape d'amincissement du substrat donneur (2) pour former une couche amincie (2'), présentant une épaisseur intermédiaire, disposée sur le substrat support (1) ; l'ensemble formant une structure amincie (6') ;

15 c) Une étape de traitement thermique de la structure amincie (6') à une température de recuit;

20 d) Une seconde étape d'amincissement, après l'étape c), de la couche amincie (2') pour former la couche utile (20) ;

25 le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend, préalablement à l'étape b), une étape a') de détermination d'une fourchette d'épaisseurs intermédiaires évitant une dégradation de la structure amincie (6') lors de l'étape c), la fourchette étant définie par une épaisseur seuil et une épaisseur plafond, et l'épaisseur intermédiaire de la couche amincie (2') étant choisie dans cette fourchette.

30 2. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon la revendication précédente, dans lequel l'épaisseur seuil est

déterminée à partir d'un premier modèle de sensibilité dont des paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support, les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur (2) et du substrat support (1), la température de recuit et une
5 taille maximale de zones non collées présentes à l'interface de collage (5) de la structure collée (6).

3. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel
10 l'épaisseur plafond est déterminée à partir d'un second modèle de sensibilité dont des paramètres d'entrée incluent l'épaisseur support, les coefficients de dilatation thermique du substrat donneur (2) et du substrat support (1) et la température de recuit.

15 4. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon l'une des revendications précédentes, comprenant après l'étape a') et préalablement à l'étape b), une étape a'') de recyclage de la structure collée (6), quand l'étape a') de
20 détermination établit l'épaisseur seuil supérieure à l'épaisseur plafond ou l'épaisseur plafond inférieure à l'épaisseur utile.

25 5. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon la revendication précédente, dans lequel l'étape a'') de recyclage comprend un décollement au niveau de l'interface de collage (5) de la structure collée (6).

30 6. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon la revendication précédente, dans lequel l'étape a'') de recyclage comprend la réutilisation des substrats donneur (2) et support (1) issus du décollement pour une nouvelle étape a) de fourniture d'une structure collée (6).

7. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la seconde étape d'amincissement d) peut en outre comprendre une étape d'amincissement du substrat support (1).
- 5
8. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la couche utile (20) est composée d'un matériau choisi dans le groupe : tantalate de lithium (LiTaO_3), niobate de lithium
- 10 (LiNbO_3), nitrure d'aluminium (AlN), oxyde de zinc (ZnO).
9. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le substrat support (1) est composé d'un matériau choisi dans
- 15 le groupe : silicium, semi-conducteurs III-V, carbure de silicium, verre, saphir.
10. Procédé de fabrication d'une structure hybride (60) selon la revendication précédente, dans lequel le substrat support
- 20 (1) comprend une ou plusieurs couches superficielles.
11. Structure hybride (60) comportant une couche utile (20) de matériau piézoélectrique d'épaisseur utile inférieure à 50 microns assemblée à un substrat support (1) présentant un
- 25 coefficient de dilatation thermique inférieure à celui de la couche utile (20), la structure hybride (60) étant caractérisée en ce qu'une interface de collage (5) entre la couche utile (20) et le substrat support (1) présente une énergie de collage supérieure à 1000 mJ/m^2 et au moins une
- 30 zone non collée dont la taille est comprise entre 1 et 1000 microns.

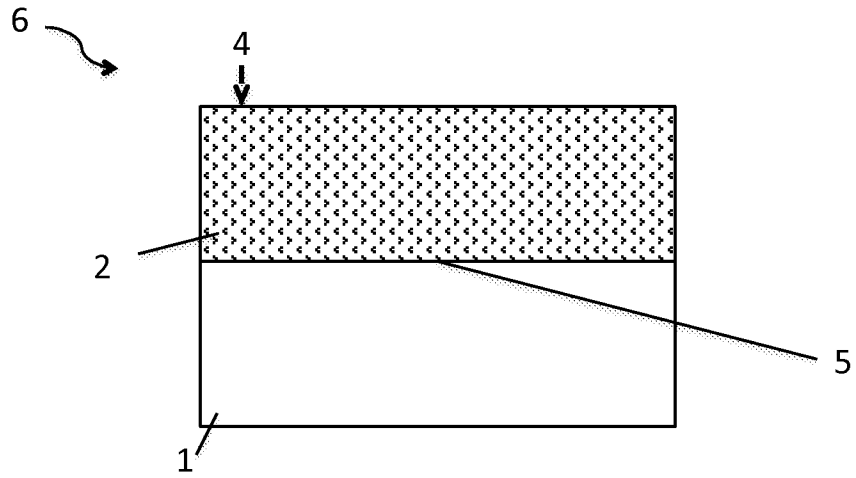


FIG. 1a

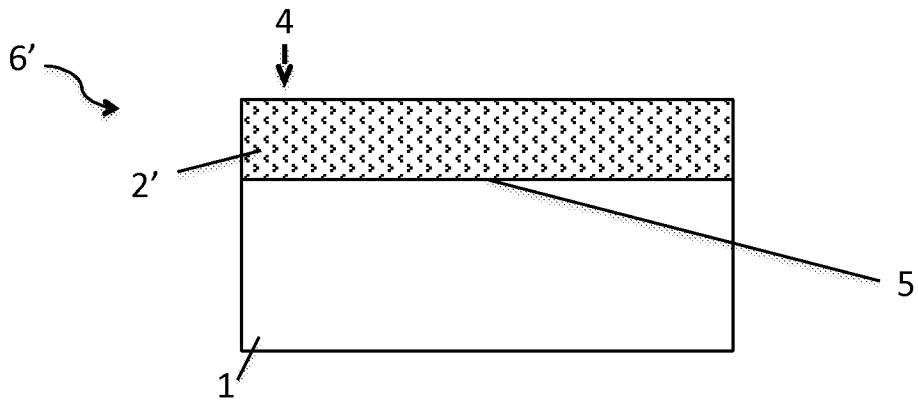


FIG. 1b

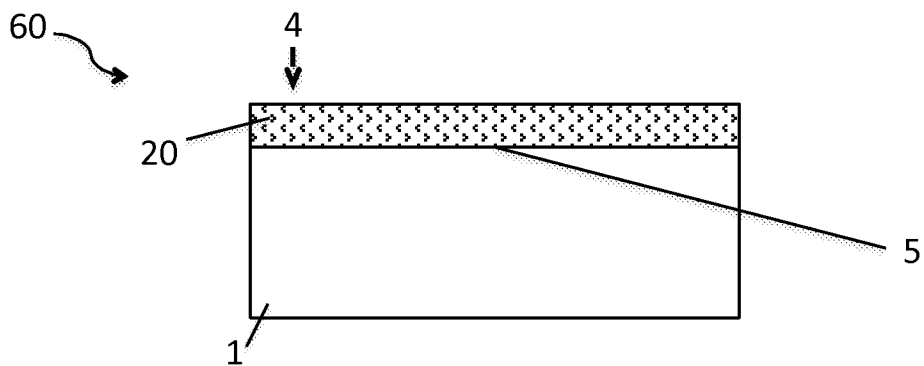


FIG. 1c

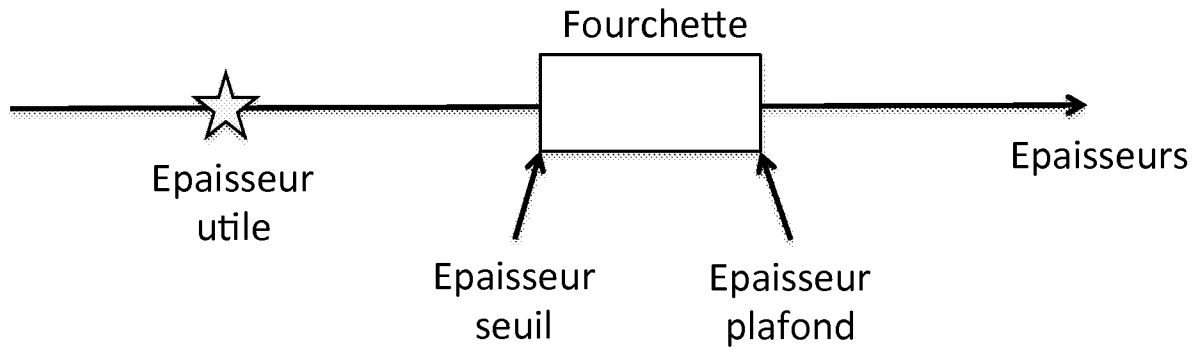


FIG.2a

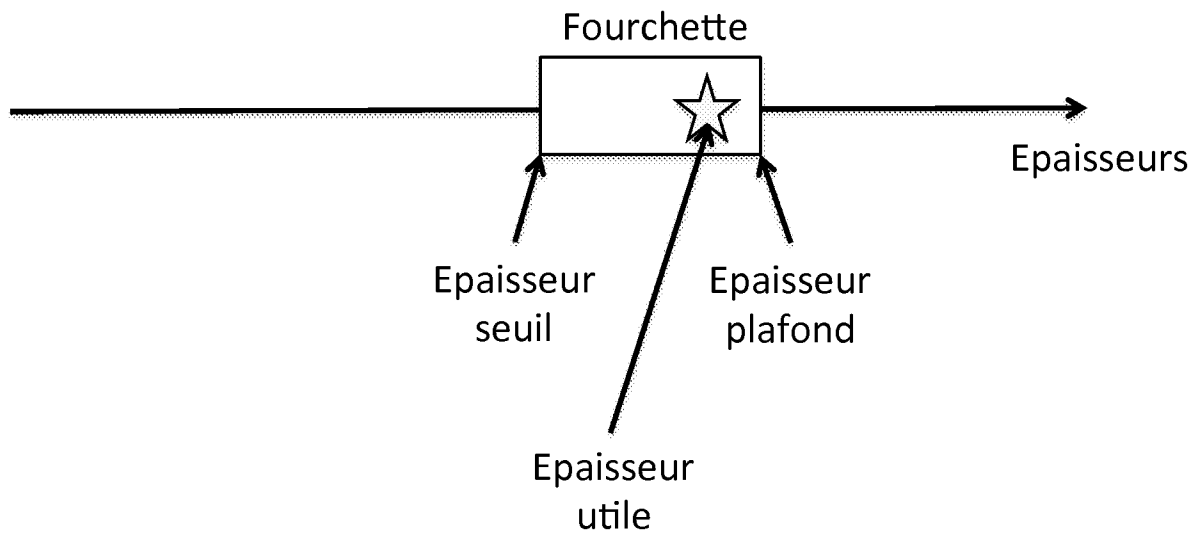


FIG.2b

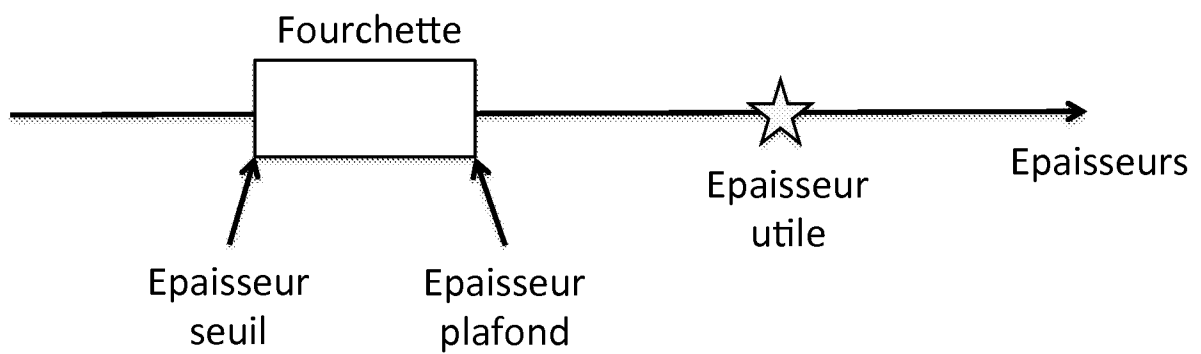


FIG.2c

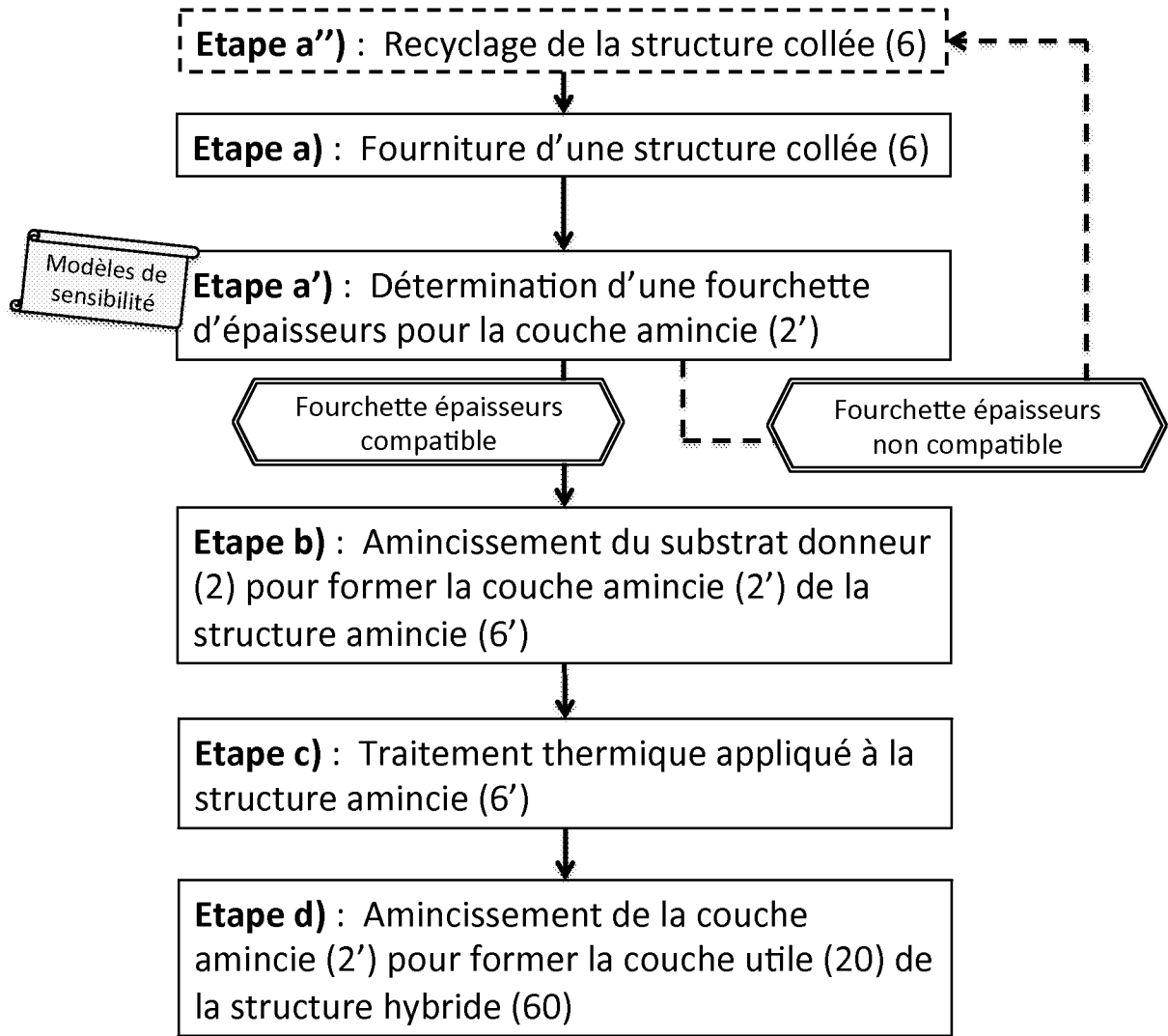


FIG.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/052674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L41/313 H03H9/02
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015/012005 A1 (NGK INSULATORS LTD [JP]; NGK CERAMIC DEVICE CO LTD [JP]) 29 January 2015 (2015-01-29)	1,7-9,11
A	paragraph [0027] - paragraph [0043]; figure 1 -& US 2016/133823 A1 (TAI TOMOYOSHI [JP] ET AL) 12 May 2016 (2016-05-12) -----	2-6,10
X	US 2015/042207 A1 (HORI YUJI [JP] ET AL) 12 February 2015 (2015-02-12)	1,8,9
A	paragraph [0028] - paragraph [0043]; figures 1,3D -----	2-7,10, 11
A	US 2014/210317 A1 (TAI TOMOYOSHI [JP] ET AL) 31 July 2014 (2014-07-31) -----	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 18 January 2017	Date of mailing of the international search report 30/01/2017
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Koskinen, Timo
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/FR2016/052674

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
WO 2015012005	A1	29-01-2015	CN 105409119 A	16-03-2016
			DE 112014003430 T5	04-05-2016
			KR 20160037898 A	06-04-2016
			TW 201526540 A	01-07-2015
			US 2016133823 A1	12-05-2016
			WO 2015012005 A1	29-01-2015

US 2016133823	A1	12-05-2016	CN 105409119 A	16-03-2016
			DE 112014003430 T5	04-05-2016
			KR 20160037898 A	06-04-2016
			TW 201526540 A	01-07-2015
			US 2016133823 A1	12-05-2016
			WO 2015012005 A1	29-01-2015

US 2015042207	A1	12-02-2015	CN 104272592 A	07-01-2015
			EP 2833550 A1	04-02-2015
			JP 5615472 B1	29-10-2014
			KR 20140140634 A	09-12-2014
			US 2015042207 A1	12-02-2015
			WO 2014156507 A1	02-10-2014

US 2014210317	A1	31-07-2014	CN 103947110 A	23-07-2014
			EP 2787638 A1	08-10-2014
			JP 5583876 B1	03-09-2014
			JP WO2014077213 A1	05-01-2017
			KR 20140095048 A	31-07-2014
			US 2014210317 A1	31-07-2014
			WO 2014077213 A1	22-05-2014

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/052674

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L41/313 H03H9/02 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L H03H				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X	WO 2015/012005 A1 (NGK INSULATORS LTD [JP]; NGK CERAMIC DEVICE CO LTD [JP]) 29 janvier 2015 (2015-01-29)	1,7-9,11		
A	alinéa [0027] - alinéa [0043]; figure 1 -& US 2016/133823 A1 (TAI TOMOYOSHI [JP] ET AL) 12 mai 2016 (2016-05-12)	2-6,10		
X	US 2015/042207 A1 (HORI YUJI [JP] ET AL) 12 février 2015 (2015-02-12)	1,8,9		
A	alinéa [0028] - alinéa [0043]; figures 1,3D	2-7,10,11		
A	US 2014/210317 A1 (TAI TOMOYOSHI [JP] ET AL) 31 juillet 2014 (2014-07-31)	1-11		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </td> </tr> </table>			<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">18 janvier 2017</p>	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">30/01/2017</p>			
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Koskinen, Timo</p>			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/052674

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015012005	A1	29-01-2015	CN 105409119 A	16-03-2016
			DE 112014003430 T5	04-05-2016
			KR 20160037898 A	06-04-2016
			TW 201526540 A	01-07-2015
			US 2016133823 A1	12-05-2016
			WO 2015012005 A1	29-01-2015

US 2016133823	A1	12-05-2016	CN 105409119 A	16-03-2016
			DE 112014003430 T5	04-05-2016
			KR 20160037898 A	06-04-2016
			TW 201526540 A	01-07-2015
			US 2016133823 A1	12-05-2016
			WO 2015012005 A1	29-01-2015

US 2015042207	A1	12-02-2015	CN 104272592 A	07-01-2015
			EP 2833550 A1	04-02-2015
			JP 5615472 B1	29-10-2014
			KR 20140140634 A	09-12-2014
			US 2015042207 A1	12-02-2015
			WO 2014156507 A1	02-10-2014

US 2014210317	A1	31-07-2014	CN 103947110 A	23-07-2014
			EP 2787638 A1	08-10-2014
			JP 5583876 B1	03-09-2014
			JP WO2014077213 A1	05-01-2017
			KR 20140095048 A	31-07-2014
			US 2014210317 A1	31-07-2014
			WO 2014077213 A1	22-05-2014
