

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/109005 A1

(43) Date de la publication internationale
29 juin 2017 (29.06.2017)

(51) Classification internationale des brevets :

C30B 25/18 (2006.01) H01L 21/762 (2006.01)
C30B 29/22 (2006.01) H01L 41/312 (2013.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2016/082259

(22) Date de dépôt international :

21 décembre 2016 (21.12.2016)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1563057 22 décembre 2015 (22.12.2015) FR

(71) Déposant : SOITEC [FR/FR]; Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 Bernin (FR).

(72) Inventeurs : GHYSELEN, Bruno; 58 rue Georges Maeder, 38170 Seyssinet-Pariset (FR). RADU, Ionut; 434 avenue de la Résistance, 38920 Crolles (FR). BETHOUX, Jean-Marc; 672 route du Gros Bois, 38500 La Buisse (FR).

(74) Mandataire : REGIMBEAU; 20 rue de Chazelles, 75017 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, KH, 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), eurasien (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).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

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

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A MONOCRYSTALLINE PIEZOELECTRIC LAYER, AND MICROELECTRONIC, PHOTONIC, OR OPTICAL DEVICE INCLUDING SUCH A LAYER

(54) Titre : PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE COUCHE PIEZOELECTRIQUE MONOCRISTALLINE ET DISPOSITIF MICROELECTRONIQUE, PHOTONIQUE OU OPTIQUE COMPRENANT UNE TELLE COUCHE

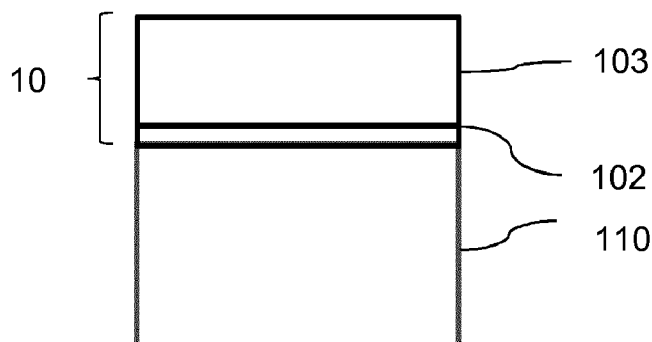


FIGURE 3E

(57) Abstract : The invention relates to a method for manufacturing a monocrystalline piezoelectric material layer (10). Said method is characterized in that it includes: providing a donor substrate (100) made of said piezoelectric material, providing a receiving substrate (110), transferring a so-called "seed layer" (102) of said donor substrate (100) onto the receiving substrate (110), and using epitaxy of the piezoelectric material on the seed layer (102) until the desired thickness is obtained for the monocrystalline piezoelectric layer (10).

(57) Abrégé : L'invention concerne un

[Suite sur la page suivante]



procédé de fabrication d'une couche (10) d'un matériau piézoélectrique monocristallin, caractérisé en ce qu'il comprend: - la fourniture d'un substrat donneur (100) dudit matériau piézoélectrique, - la fourniture d'un substrat receveur (110), - le transfert d'une couche dite «couche germe» (102) dudit substrat donneur (100) sur le substrat receveur (110), - la mise en œuvre d'une épitaxie du matériau piézoélectrique sur la couche germe (102) jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée pour la couche piézoélectrique monocristalline (10).

**PROCEDE DE FABRICATION
D'UNE COUCHE PIEZOELECTRIQUE MONOCRISTALLINE
ET DISPOSITIF MICROELECTRONIQUE, PHOTONIQUE OU OPTIQUE
COMPRENANT UNE TELLE COUCHE**

5

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une couche d'un matériau piézoélectrique monocristallin, notamment pour une application à un dispositif microélectronique, photonique ou optique. En particulier mais de manière non limitative, 10 un tel dispositif peut être un dispositif à ondes acoustiques de volume ou un dispositif à ondes acoustiques de surface pour des applications radiofréquence.

ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

Parmi les composants acoustiques utilisés pour le filtrage dans le domaine 15 radiofréquence, on distingue deux catégories principales de filtres :

- d'une part, les filtres à ondes acoustiques de surface, connus sous l'acronyme SAW (du terme anglo-saxon « Surface Acoustic Wave ») ;
- d'autre part, les filtres et résonateurs à ondes acoustiques de volume, connus sous l'acronyme BAW (du terme anglo-saxon « Bulk Acoustic Wave »).

20 Pour une revue de ces technologies, on pourra se référer à l'article de W. Steichen et S. Ballandras, « Composants acoustiques utilisés pour le filtrage – Revue des différentes technologies », Techniques de l'Ingénieur, E2000, 2008.

Les filtres à ondes acoustiques de surface comprennent typiquement une couche piézoélectrique épaisse (c'est-à-dire d'épaisseur généralement de plusieurs centaines de 25 μm) et deux électrodes sous la forme de deux peignes métalliques interdigités déposés sur la surface de ladite couche piézoélectrique. Un signal électrique, typiquement une variation de tension électrique, appliqué à une électrode est converti en onde élastique qui se propage à la surface de la couche piézoélectrique. La propagation de cette onde élastique est favorisée si la fréquence de l'onde correspond à la bande de fréquence du 30 filtre. Cette onde est à nouveau convertie en signal électrique en parvenant à l'autre électrode.

Les filtres à ondes acoustiques de volume comprennent quant à eux typiquement une couche piézoélectrique mince (c'est-à-dire d'épaisseur généralement bien inférieure à 1 μm) et deux électrodes agencées sur chaque face principale de ladite couche mince. 35 Un signal électrique, typiquement une variation de tension électrique, appliquée à une électrode est convertie en onde élastique qui se propage au travers de la couche piézoélectrique. La propagation de cette onde élastique est favorisée si la fréquence de l'onde

correspond à la bande de fréquence du filtre. Cette onde est à nouveau convertie en tension électrique en parvenant à l'électrode située sur la face opposée.

Dans le cas des filtres à ondes acoustiques de surface, la couche piézoélectrique doit présenter une excellente qualité cristalline pour ne pas engendrer d'atténuation de l'onde de surface. On préférera donc ici utiliser une couche monocristalline. A l'heure actuelle, les matériaux adéquats utilisables industriellement sont le quartz, le LiNbO_3 ou le LiTaO_3 . La couche piézoélectrique est obtenue par découpe d'un lingot de l'un desdits matériaux, la précision requise pour l'épaisseur de ladite couche étant peu importante dans la mesure où les ondes doivent se propager essentiellement à sa surface.

Dans le cas des filtres à ondes acoustiques de volume, la couche piézoélectrique doit présenter une épaisseur déterminée et uniforme sur l'ensemble de la couche, et ce de manière précisément contrôlée. En revanche, la qualité cristalline passant de fait au second ordre des paramètres d'importance pour les performances du filtre, des compromis sont actuellement faits en ce qui concerne la qualité cristalline et une couche polycristalline a longtemps été considérée comme acceptable. La couche piézoélectrique est donc formée par dépôt sur un substrat support (par exemple un substrat de silicium). A l'heure actuelle, les matériaux employés industriellement pour un tel dépôt sont l'AlN, le ZnO et le PZT.

Les choix de matériaux sont donc très limités dans les deux technologies.

Or, le choix d'un matériau résulte d'un compromis entre différentes propriétés du filtre, en fonction des spécifications du fabricant du filtre.

Pour offrir davantage de liberté dans le dimensionnement des filtres à ondes acoustiques de volume ou des filtres à ondes acoustiques de surface, il serait souhaitable de pouvoir utiliser davantage de matériaux que les matériaux listés plus haut. En particulier, les matériaux utilisés traditionnellement pour les filtres à ondes acoustiques de surface pourraient représenter des alternatives intéressantes pour des filtres à ondes acoustiques de volume.

Ceci impose toutefois de pouvoir obtenir des couches minces, uniformes et de bonne qualité de ces matériaux.

Une première possibilité serait d'amincir les couches épaisses découpées à partir des lingots, par des techniques de polissage et/ou de gravure. Toutefois, ces techniques entraînent une perte importante de matière et ne permettent pas d'obtenir une couche de quelques centaines de nanomètres d'épaisseur avec l'uniformité requise.

Une deuxième possibilité serait de mettre en œuvre un transfert de couche de type Smart Cut™ en créant une zone de fragilisation dans un substrat donneur de quartz, de LiNbO_3 ou de LiTaO_3 de sorte à délimiter la couche mince à transférer, en collant ladite couche à transférer sur un substrat support et en détachant le substrat donneur le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche mince sur le substrat support.

Toutefois, la création de la zone de fragilisation par implantation ionique dans le substrat donneur endommage la couche transférée et détériorent ses propriétés piézoélectriques. Les procédés de guérison (notamment les recuits) connus pour le transfert de couches de silicium ne permettent pas toujours de réparer complètement la couche piézoélectrique, en raison de la structure cristalline complexe de ladite couche et des mécanismes d'endommagement qui semblent différents de ceux qui interviennent dans le silicium.

Enfin, il n'existe à ce jour pas de substrat adéquat, présentant notamment un paramètre de maille adapté, pour former par hétéroépitaxie une couche mince monocristalline de qualité suffisante de quartz, de LiNbO_3 ou de LiTaO_3 , même si des substrats comme le saphir par exemple ont fait l'objet de plusieurs essais.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de remédier aux inconvénients précités et notamment de concevoir un procédé de fabrication d'un substrat pour un dispositif microélectronique, photonique ou optique, notamment mais de manière non limitative un dispositif à ondes acoustiques de volume, ou un dispositif à ondes acoustiques de surface dans une gamme plus vaste de matériaux, en particulier en permettant d'obtenir des couches minces (c'est-à-dire d'épaisseur inférieure à 20 μm , voire inférieure à 1 μm) et uniformes des matériaux utilisés pour les dispositifs à ondes acoustiques de surface. Par ailleurs, ce procédé doit également permettre d'utiliser une plus grande variété de substrats supports que dans les dispositifs à ondes acoustiques de volume existants.

Conformément à l'invention, il est proposé un procédé de fabrication d'une couche d'un matériau piézoélectrique monocristallin, caractérisé en ce qu'il comprend :

- la fourniture d'un substrat donneur dudit matériau piézoélectrique,
- la fourniture d'un substrat receveur,
- le transfert d'une couche dite « couche germe » dudit substrat donneur sur le substrat receveur,
- la mise en œuvre d'une épitaxie du matériau piézoélectrique sur la couche germe jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée pour la couche piézoélectrique monocristalline.

Selon un mode de réalisation, le transfert de la couche germe comprend les étapes suivantes :

- la formation d'une zone de fragilisation dans le substrat donneur de sorte à délimiter la couche germe à transférer,
- le collage du substrat donneur sur le substrat receveur, la couche germe à transférer étant à l'interface,
- le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche germe sur le substrat receveur.

La zone de fragilisation peut être formée par implantation ionique dans le substrat donneur.

De préférence, le matériau piézoélectrique est choisi parmi le quartz et les composés de formule LiXO_3 , où X est choisi parmi le niobium et le tantale.

5 De manière avantageuse, lequel l'épaisseur de la couche germe est inférieure à $2\text{ }\mu\text{m}$, de préférence inférieure à $1\text{ }\mu\text{m}$.

Selon une forme d'exécution, avant l'étape d'épitaxie, on retire une partie de l'épaisseur de la couche germe transférée sur le substrat receveur.

10 De manière avantageuse, l'épaisseur de la couche piézoélectrique monocristalline à l'issue de l'étape d'épitaxie est comprise entre $0,2$ et $20\text{ }\mu\text{m}$.

Selon un mode de réalisation, on forme au moins une couche électriquement isolante et/ou au moins une couche électriquement conductrice à l'interface entre le substrat receveur et la couche germe.

15 Selon une forme d'exécution particulière, le procédé comprend, après l'épitaxie, le transfert d'au moins une partie de la couche piézoélectrique monocristalline sur un substrat final.

De manière avantageuse, le procédé comprend, après ledit transfert sur le substrat final, le retrait de la couche germe.

20 De manière avantageuse, le substrat receveur est en matériau semi-conducteur, et comprend une couche intermédiaire de piégeage de charges située entre la couche germe et le substrat receveur.

Un autre objet concerne un substrat pour un dispositif microélectronique, photonique ou optique, comprenant une couche piézoélectrique monocristalline sur un substrat receveur, caractérisé en ce que la couche piézoélectrique présente une première
25 portion située à l'interface avec le substrat receveur, et une seconde portion s'étendant à partir de la première portion et en ce que la seconde portion présente des caractéristiques différentes de celles de la première portion.

Un autre objet concerne un procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume, comprenant la formation d'électrodes sur deux faces principales
30 opposées d'une couche piézoélectrique, caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé tel que décrit ci-dessus.

Un autre objet concerne un dispositif à ondes acoustiques de volume caractérisé en ce qu'il comprend une couche piézoélectrique susceptible d'être obtenue par un procédé tel que décrit plus haut, et deux électrodes agencées sur deux faces principales opposées
35 de ladite couche.

Un autre objet concerne un procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de surface, comprenant la formation de deux électrodes interdigitées sur la

surface d'une couche piézoélectrique, caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé tel que décrit ci-dessus.

Un autre objet concerne un dispositif à ondes acoustiques de surface caractérisé en ce qu'il comprend une couche piézoélectrique susceptible d'être obtenue par un procédé tel que décrit ci-dessus, et deux électrodes interdigitées sur une face de ladite couche piézoélectrique.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- la figure 1 est une vue de principe en coupe d'un filtre à ondes acoustiques de surface,
- la figure 2 est une vue de principe en coupe d'un filtre à ondes acoustiques de volume,
- les figures 3A à 3E illustrent des étapes successives du procédé de fabrication d'une couche piézoélectrique monocristalline selon un mode de réalisation de l'invention,
- les figures 3F à 3H illustrent des étapes ultérieures optionnelles dudit procédé.

Pour des raisons de lisibilité des figures, les éléments illustrés ne sont pas nécessairement représentés à l'échelle. Par ailleurs, les éléments désignés par les mêmes signes de référence sur différentes figures sont identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

La figure 1 est une vue de principe d'un filtre à ondes acoustiques de surface.

Ledit filtre comprend une couche piézoélectrique 10 et deux électrodes 12, 13 sous la forme de deux peignes métalliques interdigités déposés sur la surface de ladite couche piézoélectrique. Du côté opposé aux électrodes 12, 13, la couche piézoélectrique repose sur un substrat support 11. La couche piézoélectrique 10 est monocristalline, une excellente qualité cristalline étant en effet préférable pour ne pas engendrer d'atténuation de l'onde de surface.

La figure 2 est une vue de principe d'un résonateur à ondes acoustiques de volume.

Le résonateur comprend une couche piézoélectrique mince (c'est-à-dire d'épaisseur généralement inférieure à 2 μm , de préférence inférieure à 0,2 μm) et deux électrodes 12, 13 agencées de part et d'autre de ladite couche piézoélectrique 10 qui, grâce au procédé de fabrication selon l'invention, est monocristalline. La couche piézoélectrique 10 repose sur un substrat support 11. Optionnellement, pour isoler le résonateur du substrat et éviter ainsi la propagation des ondes dans le substrat, un miroir de Bragg 14 peut être interposé entre l'électrode 13 et le substrat 11. De manière alternative (non illustrée), cette isolation pourrait être réalisée en ménageant une cavité entre le substrat et la couche

piézoélectrique. Ces différentes dispositions sont connues de l'homme du métier et ne seront donc pas décrites en détail dans le présent texte.

D'une manière générale, l'invention propose la formation de la couche piézoélectrique monocristalline au moyen d'un transfert d'une couche germe
5 monocristalline du matériau piézoélectrique considéré, ledit transfert étant effectué d'un substrat donneur du matériau piézoélectrique vers un substrat receveur. Ensuite, une épitaxie est réalisée sur la couche germe jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée pour la couche piézoélectrique monocristalline.

Le substrat donneur peut être un substrat massif monocristallin du matériau
10 piézoélectrique considéré. De manière alternative, le substrat donneur peut être un substrat composite, c'est-à-dire formé d'un empilement d'au moins deux couches de matériaux différents, dont une couche superficielle est constituée du matériau piézoélectrique monocristallin.

Le substrat receveur a une fonction de support mécanique de la couche germe. Il
15 peut être de toute nature adaptée à la mise en œuvre d'une épitaxie (notamment en termes de tenue en température) et, de manière avantageuse mais non impérative, adaptée à l'application visée. Il peut être massif ou composite.

Eventuellement, au moins une couche intermédiaire peut être intercalée entre le substrat receveur et la couche germe. Par exemple, une telle couche intermédiaire peut
20 être électriquement conductrice ou électriquement isolante. L'homme du métier est à même de choisir le matériau et l'épaisseur de cette couche en fonction des propriétés qu'il souhaite conférer au dispositif radiofréquence destiné à comprendre la couche piézoélectrique.

De manière avantageuse, le substrat receveur peut être en matériau semi-
25 conducteur. Il peut s'agir par exemple d'un substrat en silicium. Ce matériau conducteur comprend une couche intermédiaire de type « trap-rich » (que l'on peut traduire en français par une couche à « piège de charges »), qui peut être soit formée sur le substrat receveur, soit formée en surface du substrat receveur. Ladite couche intermédiaire de type trap-rich est ainsi située entre la couche germe et le substrat receveur et permet
30 d'améliorer les performances d'isolation électrique du substrat receveur. Ladite couche intermédiaire de type trap-rich peut être formée par au moins un des matériaux de type poly-cristallin, amorphe ou poreux, en particulier du silicium poly-cristallin, du silicium amorphe ou du silicium poreux, sans se limiter à ces matériaux. De plus, en fonction de la tenue en température de la couche intermédiaire de type trap-rich pour la réalisation de
35 l'épitaxie, il peut s'avérer avantageux d'introduire une couche supplémentaire entre le substrat receveur et ladite couche intermédiaire de type trap-rich, afin d'éviter la recristallisation de cette dernière lors d'un traitement thermique.

La couche germe a pour fonction d'imposer le paramètre de maille du matériau cristallin que l'on fait croître sur le substrat receveur. La couche germe présente une épaisseur négligeable par rapport à l'épaisseur de la couche piézoélectrique monocristalline. Par conséquent, on considère qu'elle n'influe pas significativement sur le fonctionnement du dispositif radiofréquence incorporant la couche piézoélectrique monocristalline.

La couche germe présente typiquement une épaisseur inférieure à 1 μm , de préférence inférieure à 0,2 μm .

L'épaisseur de la couche épitaxiale dépend des spécifications du dispositif destiné à incorporer la couche piézoélectrique monocristalline. A cet égard, l'épaisseur de la couche épitaxiale n'est pas limitée ni en termes de valeur minimale ni de valeur maximale. L'épaisseur de la couche piézoélectrique finale est typiquement comprise entre 0,2 μm et 20 μm .

A titre purement indicatif, le tableau ci-dessous donne des combinaisons d'épaisseur de la couche germe et de la couche épitaxiale :

Couche germe	0,5 μm	0,05 μm	0,1 μm	0,03 μm
Couche épitaxiale	2,5 μm	0,95 μm	5 μm	0,15 μm

Le matériau piézoélectrique est avantageusement du quartz ou un composé de formule LiXO_3 , où X est choisi parmi le niobium et le tantale. Toutefois, l'intérêt que l'on peut porter à ces matériaux ne se limite pas à leur caractère piézoélectrique. Notamment pour d'autres applications, par exemple liées à l'optique intégrée, on pourra aussi s'y intéresser le cas échéant pour leur permittivité diélectrique, pour leurs indices de réfraction, ou encore pour leurs propriétés pyroélectriques, ferroélectriques ou encore ferromagnétiques par exemple et selon les cas.

Ainsi, l'invention permet notamment de former une couche mince d'un composé LiXO_3 qui présente une excellente qualité cristalline, comme les substrats massifs de ces matériaux, avec une épaisseur contrôlée dans une large gamme d'épaisseur, et notamment pour une épaisseur inférieure à 20 μm .

L'épitaxie peut être réalisée par toute technique appropriée, notamment par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Vapor Deposition »), épitaxie en phase liquide (LPE, acronyme du terme anglo-saxon « Liquid Phase Epitaxy »), dépôt par laser pulsé (PLD, acronyme du terme anglo-saxon « Pulsed Laser Deposition »), etc.

L'homme du métier est en mesure de déterminer les réactifs et les conditions opératoires en fonction du matériau piézoélectrique à faire croître et de la technique choisie.

Le transfert de la couche germe implique typiquement une étape de collage du substrat donneur et du substrat receveur, la couche germe étant à l'interface de collage,

puis une étape d'aminçissement du substrat receveur de sorte à exposer la couche germe en vue de l'épitaxie ultérieure.

L'étape de collage peut être réalisée par exemple par collage moléculaire direct de type « wafer bonding » selon la terminologie anglo-saxonne, avec ou sans couche
5 intermédiaire supplémentaire.

De manière particulièrement avantageuse, le transfert est réalisé selon le procédé Smart Cut™ qui est bien connu pour le transfert de couches minces semi-conductrices, notamment de silicium.

A cet effet, en référence à la figure 3A, on fournit un substrat donneur 100 du
10 matériau piézoélectrique et l'on forme, par implantation ionique (schématisée par les flèches), une zone de fragilisation 101 qui délimite une couche piézoélectrique monocristalline 102 à transférer, destinée à former la couche germe. Sur cette figure, le substrat donneur 100 est représenté massif mais, comme indiqué plus haut, il pourrait éventuellement être composite. De manière avantageuse, et selon le matériau
15 piezoélectrique considéré (LiNbO_3 , LiTaO_3 ou quartz) les espèces implantées sont de l'hydrogène ou de l'hélium, seuls ou en combinaison. L'homme du métier est à même de déterminer la dose et l'énergie d'implantation de ces espèces pour former la zone de fragilisation à une profondeur déterminée, qui est typiquement inférieure à 2 μm : typiquement et toujours selon le matériau piezoélectrique et l'espèce implantée
20 considérés, la dose est dans la gamme de 2×10^{16} à 2×10^{17} espèce ionique/ cm^2 , et l'énergie d'implantation est de 30keV à 500keV. La couche fragilisée enterrée peut également être obtenue par tout autre moyen connu de l'homme du métier, par exemple par porosification du matériau, ou encore par irradiation laser.

En référence à la figure 3B, on colle le substrat donneur 100 ainsi fragilisé sur le
25 substrat receveur 110, la surface du substrat donneur au travers de laquelle l'implantation a été réalisée étant à l'interface de collage. Eventuellement, avant le collage, le substrat donneur et/ou le substrat receveur peuvent être recouverts d'une couche électriquement isolante, par exemple de SiO_2 , ou électriquement conductrice (non illustrée), qui se trouvera intercalée entre le substrat receveur et la couche germe après le transfert.

30 En référence à la figure 3C, on effectue un détachement du substrat donneur 100 le long de la zone de fragilisation 101. Un tel détachement peut être provoqué par tout moyen connu de l'homme du métier, par exemple thermique, mécanique, chimique, etc. On récupère ensuite le reliquat du substrat donneur, qui peut éventuellement être recyclé, ce qui permet de transférer la couche 102 sur le substrat receveur 110.

35 En référence à la figure 3D, on peut, de manière optionnelle, retirer une partie superficielle de la couche transférée, par exemple par polissage mécanique et/ou par gravure chimique. Ce retrait de matière a pour but d'éliminer d'éventuels défauts liés à l'implantation et au détachement. A l'issue de ce retrait, on obtient une couche 102

amincie sur le substrat receveur 110, qui servira de couche germe à l'étape suivante. De manière alternative, la couche transférée 102 de la figure 3C peut être directement utilisée comme couche germe.

En référence à la figure 3E, on fait croître par épitaxie une couche piézoélectrique monocristalline 103 sur la couche germe 102, le matériau de la couche épitaxiale 104 étant sensiblement le même que celui de la couche germe 102. Ainsi, la couche germe 102 impose son paramètre de maille et permet la croissance d'un matériau monocristallin de bonne qualité. La couche épitaxiale pourra être de nature légèrement différente par rapport à la couche germe 102, notamment par l'introduction contrôlée de légers niveaux d'impuretés dans des buts divers (dopage, ajustement des propriétés piézoélectriques, optimisation des densités de défauts cristallins/dislocations, surfactant, etc.). La croissance est stoppée lorsque l'épaisseur souhaitée pour la couche piézoélectrique monocristalline est atteinte. La couche piézoélectrique 10 finale est formée de l'empilement de la couche germe 102 et de la couche épitaxiale 103.

Comme indiqué plus haut, la couche germe est considérée comme n'ayant pas d'effet ou un effet de second ordre sur le fonctionnement d'un dispositif radiofréquence incorporant la couche piézoélectrique épitaxiale. Par conséquent, même si l'implantation réalisée pour la mise en œuvre du procédé Smart Cut™ endommage ladite couche et perturbe ses propriétés piézoélectriques, ces défauts ne sont pas ou peu pénalisants.

De manière alternative (non illustrée) au procédé Smart Cut™, le transfert peut être réalisé, après le collage du substrat donneur et du substrat receveur, par enlèvement de matière, par exemple par polissage mécanique et/ou gravure chimique du substrat donneur jusqu'à exposer la couche germe. Cette variante est moins avantageuse dans la mesure où elle implique une consommation du substrat donneur, alors que le procédé Smart Cut™ permet un recyclage éventuel du substrat donneur. En revanche, cette variante ne nécessite pas d'implantation au sein du substrat donneur.

Comme on le voit sur la figure 3E, on obtient, à l'issue du procédé, un substrat pour un dispositif à ondes acoustiques de surface ou un dispositif à ondes acoustiques de volume, qui comprend un substrat receveur 110 et une couche piézoélectrique monocristalline 10 sur ledit substrat receveur 110. Un tel substrat peut également se révéler utile pour d'autres applications, par exemple pour la photonique et l'optique intégrée.

La couche 10 se caractérise par la présence de deux portions présentant des caractéristiques différentes :

- une première portion 102 située à l'interface avec le substrat receveur 110, correspondant à la couche germe,
- une seconde portion (103) s'étendant à partir de la première portion 102, correspondant à la couche épitaxiale, qui peut présenter une qualité cristalline différente

que la première portion, ladite qualité pouvant être ajustée et optimisée lors de l'étape d'épithaxie (notamment en vue d'obtenir une meilleure qualité que la couche germe) et/ou une composition différente (notamment si des impuretés ont été introduites lors de l'épithaxie), conférant éventuellement des propriétés particulières à la couche épithaxiale.

5 Ce substrat est avantageusement utilisé pour fabriquer un dispositif à ondes acoustiques de surface tel qu'illustré à la figure 1 ou un dispositif à ondes acoustiques de volume tel qu'illustré à la figure 2, ou tout autre dispositif microélectronique, photonique ou optique comprenant une couche piézoélectrique.

Dans certains cas, le substrat receveur sur lequel a eu lieu la croissance épithaxiale
10 peut ne pas être optimal pour l'application finale. En effet, le substrat receveur devant subir les conditions opératoires de l'épithaxie, le choix de matériaux adaptés est limité. Notamment, le substrat receveur ne peut contenir de couches ou d'éléments susceptibles d'être endommagés par la température d'épithaxie. Il peut alors être avantageux de transférer la couche piézoélectrique 10 sur un substrat final 111 dont les propriétés sont
15 choisies en fonction de l'application visée, en la collant sur ledit substrat 111 par l'intermédiaire de la surface de la couche épithaxiale 103 (cf. figure 3F), et en retirant le substrat receveur (cf. figure 3G). Ce transfert peut être réalisé par toute technique de transfert mentionnée plus haut. Un autre avantage de ce transfert sur un substrat final est que la couche germe 102, qui était enterrée dans la structure issue de l'épithaxie, est alors
20 exposée et peut éventuellement être retirée (cf. figure 3H), notamment dans le cas où elle présenterait des défauts. Seule la couche épithaxiale 103 (ou une partie de ladite couche) présentant les caractéristiques souhaitées reste alors sur le substrat final 111.

Dans le cas où l'on souhaite fabriquer un dispositif à ondes acoustiques de surface, on dépose, sur la surface de la couche piézoélectrique 10 opposée au substrat receveur
25 ou, le cas échéant, au substrat final (qu'il s'agisse du substrat receveur 110 ou du substrat final 111, ledit substrat forme le substrat support noté 11 sur la figure 1), des électrodes métalliques 12, 13 sous la forme de deux peignes interdigités.

Dans le cas où l'on souhaite fabriquer un dispositif à ondes acoustiques de volume, une adaptation du procédé décrit ci-dessus doit être effectuée. D'une part, on dépose,
30 avant l'étape de collage illustrée sur la figure 3B, une première électrode sur la surface libre de la couche 102 à transférer du substrat donneur piézoélectrique, cette première électrode (référéncée 13 sur la figure 2) se trouvant enterrée dans l'empilement final. Après l'étape de croissance épithaxiale illustrée sur la figure 3E, on dépose une seconde électrode (référéncée 12 sur la figure 2) sur la surface libre de la couche piézoélectrique
35 10, opposée à la première électrode. Une autre option est de transférer la couche piézoélectrique sur un substrat final comme mentionné plus haut et de former les électrodes avant et après ledit transfert. D'autre part, en option, pour éviter la propagation des ondes acoustiques dans le substrat receveur 110, on peut intégrer à celui-ci un

moyen d'isolation pouvant être, par exemple, un miroir de Bragg (comme illustré sur la figure 2) ou une cavité préalablement gravée dans le substrat 110 ou dans le substrat final 111 le cas échéant.

Un autre domaine d'applications particulièrement visé par le développement de
5 telles solutions de matériaux piézoélectriques est celui des micro-capteurs et des micro-actuateurs. Pour les micro-capteurs, il s'agira en général de mesurer une déformation engendrée par une sollicitation extérieure. Pour les micro-actuateurs, au contraire on cherchera à engendrer la déformation d'un élément ou le déplacement d'une partie mobile grâce à l'application d'un champ électrique, continu ou variable. L'utilisation du matériau
10 piézoélectrique permet de relier déformation mécanique et signal électrique. En acoustique par exemple, la sollicitation extérieure est une onde de pression qui vient déformer une membrane. Elle peut être dans le spectre audible, et les objets typiquement visés sont les microphones (en mode capteur) et les haut-parleurs (en mode actuateur). Elle peut aller au-delà en fréquence, par exemple pour la réalisation de micro-
15 transducteurs ultrasons piézo (en terminologie anglo-saxonne PMUT pour Piezo Micromachined Ultrasonic Transducers). Il peut également s'agir de capteurs de pression statique ou encore de capteurs inertiels (capteurs d'accélération, gyroscopes, etc...) pour lesquels le déplacement d'une masse mobile mise en mouvement par une accélération subie est mesurée grâce au matériau piézoélectrique. Le matériau piézoélectrique
20 compose l'intégralité de l'élément déformé (membrane, poutre, cantilever, etc..) ou avantageusement une partie seulement de celui-ci en l'empilant avec d'autres matériaux comme le silicium par exemple, pour mieux assurer les propriétés mécaniques de la partie déformable. Dans la catégorie actuateurs, les matériaux piézoélectriques peuvent commander un déplacement très précis et servent par exemple à expulser l'encre de
25 cartouches d'impression, ou de systèmes micro-fluidiques ou encore à ajuster une distance focale d'un microsystème optique.

REFERENCES

W. Steichen et S. Ballandras, « Composants acoustiques utilisés pour le filtrage –
30 Revue des différentes technologies », Techniques de l'Ingénieur, E2000, 2008

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une couche (10) d'un matériau piézoélectrique monocristallin, caractérisé en ce qu'il comprend :
 - 5 - la fourniture d'un substrat donneur (100) dudit matériau piézoélectrique,
 - la fourniture d'un substrat receveur (110),
 - le transfert d'une couche dite « couche germe » (102) dudit substrat donneur (100) sur le substrat receveur (110),
 - la mise en œuvre d'une épitaxie du matériau piézoélectrique sur la couche germe (102) jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée pour la couche piézoélectrique monocristalline (10).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le transfert de la couche germe (102) comprend les étapes suivantes :
 - 15 - la formation d'une zone de fragilisation (101) dans le substrat donneur (100) de sorte à délimiter la couche germe (102) à transférer,
 - le collage du substrat donneur (100) sur le substrat receveur (110), la couche germe (102) à transférer étant à l'interface,
 - le détachement du substrat donneur (100) le long de la zone de fragilisation (101)
 - 20 de sorte à transférer la couche germe (102) sur le substrat receveur (110).
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la zone de fragilisation (101) est formée par implantation ionique dans le substrat donneur (100).
- 25 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le matériau piézoélectrique est choisi parmi le quartz et les composés de formule LiXO_3 , où X est choisi parmi le niobium et le tantale.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'épaisseur de la
- 30 couche germe (102) est inférieure à 2 μm , de préférence inférieure à 1 μm .
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel, avant l'étape d'épitaxie, on retire une partie de l'épaisseur de la couche germe (102) transférée sur le substrat receveur (110).
- 35 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'épaisseur de la couche piézoélectrique monocristalline (10) à l'issue de l'étape d'épitaxie est comprise entre 0,2 et 20 μm .

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel on forme au moins une couche électriquement isolante et/ou au moins une couche électriquement conductrice à l'interface entre le substrat receveur et la couche germe.

5 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant, après l'épitaxie, le transfert d'au moins une partie de la couche piézoélectrique monocristalline (10) sur un substrat final (111).

10 10. Procédé selon la revendication 9, comprenant, après ledit transfert sur le substrat final (111), le retrait de la couche germe (102).

15 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le substrat receveur est en matériau semi-conducteur, et comprend une couche de piégeage de charges située entre la couche germe et le substrat receveur.

20 12. Substrat pour un dispositif microélectronique, photonique ou optique, comprenant une couche piézoélectrique monocristalline (10) sur un substrat receveur (110), caractérisé en ce que la couche piézoélectrique (10) présente une première portion (102) située à l'interface avec le substrat receveur (110), et une seconde portion (103) s'étendant à partir de la première portion (102) et en ce que la seconde portion (103) présente des caractéristiques différentes de celles de la première portion (102).

25 13. Procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume, comprenant la formation d'électrodes (12, 13) sur deux faces principales opposées d'une couche piézoélectrique (10), caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique (10) par un procédé selon l'une des revendications 1 à 11.

30 14. Dispositif à ondes acoustiques de volume, caractérisé en ce qu'il comprend une couche piézoélectrique (10) susceptible d'être obtenue par un procédé selon l'une des revendications 1 à 11, et deux électrodes (12, 13) agencées sur deux faces principales opposées de ladite couche (10).

35 15. Procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de surface, comprenant la formation de deux électrodes (12, 13) interdigitées sur la surface d'une couche piézoélectrique (10), caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé selon l'une des revendications 1 à 11.

16. Dispositif à ondes acoustiques de surface, caractérisé en ce qu'il comprend une couche piézoélectrique (10) susceptible d'être obtenue par un procédé selon l'une des revendications 1 à 11, et deux électrodes (12, 13) interdigitées sur une face de ladite couche piézoélectrique (10).

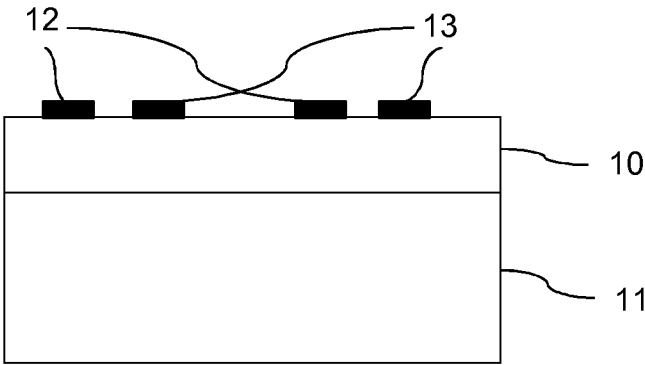


FIGURE 1

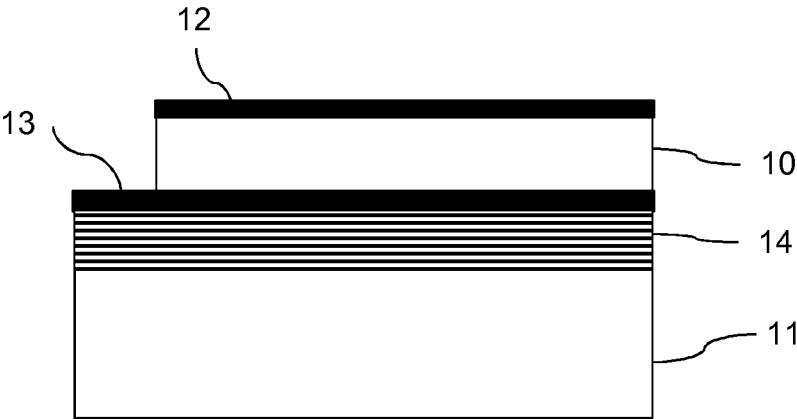


FIGURE 2

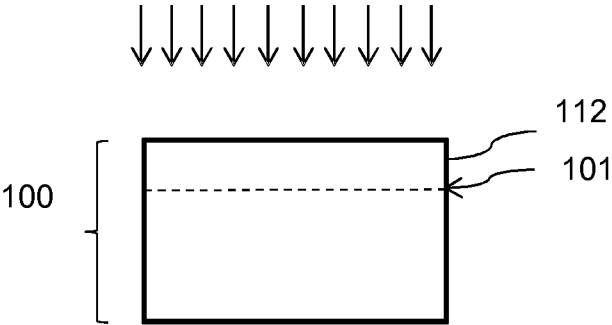


FIGURE 3A

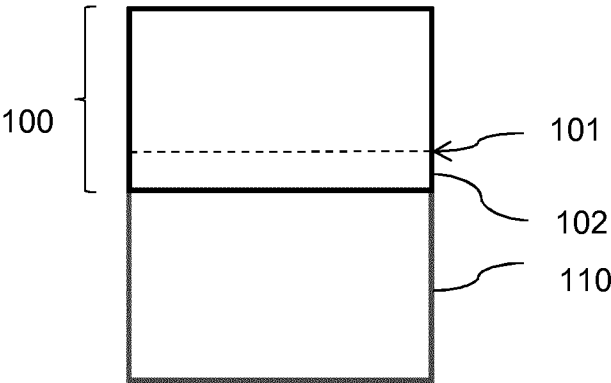


FIGURE 3B

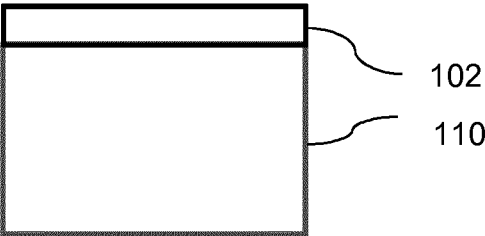


FIGURE 3C

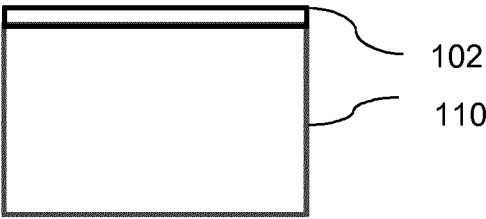


FIGURE 3D

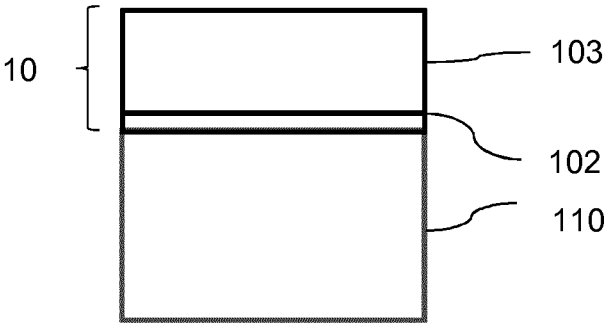


FIGURE 3E

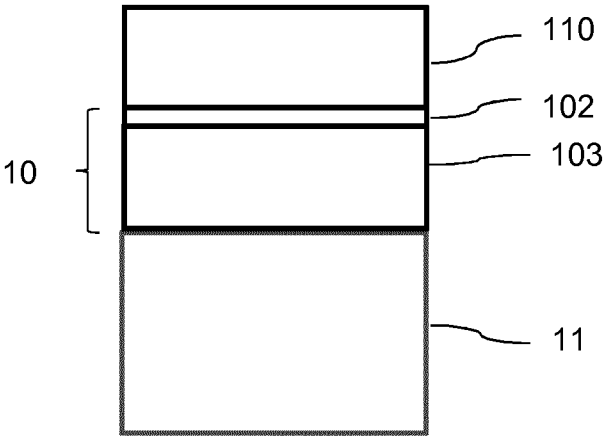


FIGURE 3F

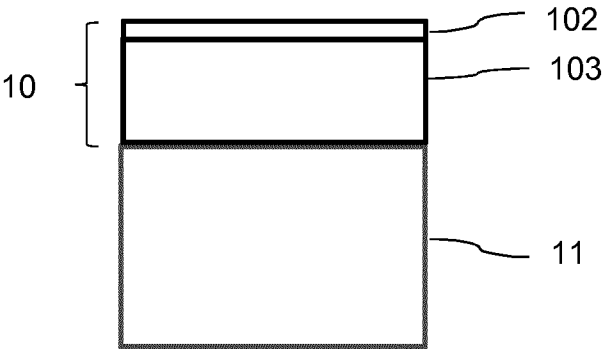


FIGURE 3G

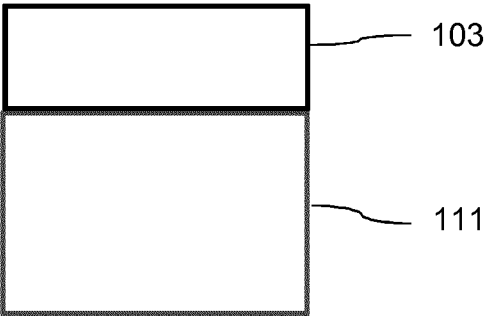


FIGURE 3H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/082259

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C30B25/18 C30B29/22 H01L21/762 H01L41/312
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)

C30B H01L

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, IBM-TDB, 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	US 6 593 212 B1 (KUB FRANCIS J [US] ET AL) 15 July 2003 (2003-07-15)	1-11
Y	column 4, line 66 - column 10, line 58; figures 1,11	12,14
X	EP 2 738 939 A1 (MURATA MANUFACTURING CO [JP]) 4 June 2014 (2014-06-04)	11,13, 15,16
Y	claims 1-10; figures 1-10	12,14
X	US 2010/141086 A1 (SUZUKI KENJI [JP] ET AL) 10 June 2010 (2010-06-10)	11,13, 15,16
	claims 1-6; figures 1-3	
A	US 2003/199105 A1 (KUB FRANCIS J [US] ET AL) 23 October 2003 (2003-10-23) the whole document	1-16



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

26/01/2017

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

Lavéant, Pierre

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/082259

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6593212	B1	15-07-2003	NONE

EP 2738939	A1	04-06-2014	CN 103718457 A 09-04-2014
			EP 2738939 A1 04-06-2014
			JP 5835329 B2 24-12-2015
			JP W02013018604 A1 05-03-2015
			KR 20140040252 A 02-04-2014
			US 2014139075 A1 22-05-2014
			WO 2013018604 A1 07-02-2013

US 2010141086	A1	10-06-2010	NONE

US 2003199105	A1	23-10-2003	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/082259

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. C30B25/18 C30B29/22 H01L21/762 H01L41/312 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) C30B H01L		
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, IBM-TDB, 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	US 6 593 212 B1 (KUB FRANCIS J [US] ET AL) 15 juillet 2003 (2003-07-15)	1-11
Y	colonne 4, ligne 66 - colonne 10, ligne 58; figures 1,11 -----	12,14
X	EP 2 738 939 A1 (MURATA MANUFACTURING CO [JP]) 4 juin 2014 (2014-06-04)	11,13, 15,16
Y	revendications 1-10; figures 1-10 -----	12,14
X	US 2010/141086 A1 (SUZUKI KENJI [JP] ET AL) 10 juin 2010 (2010-06-10)	11,13, 15,16
A	revendications 1-6; figures 1-3 ----- US 2003/199105 A1 (KUB FRANCIS J [US] ET AL) 23 octobre 2003 (2003-10-23) le document en entier -----	1-16
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
18 janvier 2017	26/01/2017	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lavéant, Pierre	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/082259

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6593212	B1	15-07-2003	AUCUN	

EP 2738939	A1	04-06-2014	CN 103718457 A	09-04-2014
			EP 2738939 A1	04-06-2014
			JP 5835329 B2	24-12-2015
			JP W02013018604 A1	05-03-2015
			KR 20140040252 A	02-04-2014
			US 2014139075 A1	22-05-2014
			WO 2013018604 A1	07-02-2013

US 2010141086	A1	10-06-2010	AUCUN	

US 2003199105	A1	23-10-2003	AUCUN	
