(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
02 janvier 2025 (02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/003091 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H10N 30/072 (2023.01) *H03H 3/007* (2006.01)
H10N 30/073 (2023.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/067730

(22) Date de dépôt international :
25 juin 2024 (25.06.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2307030 30 juin 2023 (30.06.2023) FR

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

(72) Inventeurs : **CHARLES-ALFRED, Cédric** ; c/o SOITEC Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR). **CAULMILONE, Raphael** ; c/o SOITEC Parc technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR). **VEILLY, Maxime** ; c/o SOITEC Parc technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR). **THIEFFRY, Stéphane** ; c/o SOITEC Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR). **GUERIN, Rénald** ; c/o SOITEC Parc technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR).

(74) Mandataire : **REGIMBEAU** ; 20, rue de Chazelles, 75847 PARIS CEDEX 17 (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,

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A DONOR SUBSTRATE FOR TRANSFERRING A PIEZOELECTRIC LAYER ONTO A SUPPORT SUBSTRATE

(54) **Titre :** PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT DONNEUR POUR LE TRANSFERT D'UNE COUCHE PIÉZOÉLECTRIQUE SUR UN SUBSTRAT SUPPORT

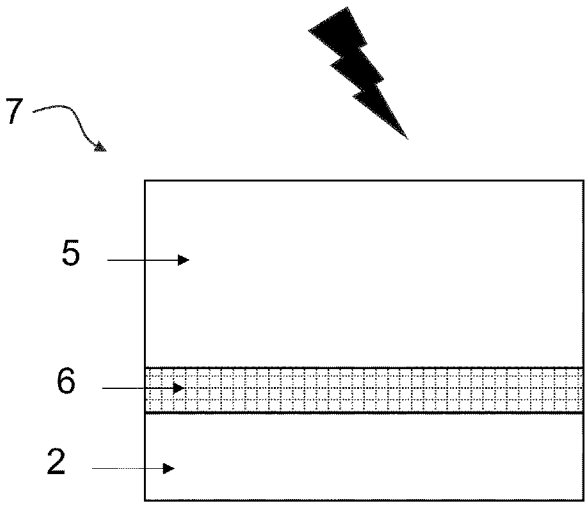

FIGURE 6

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a donor substrate (1) for transferring a piezoelectric layer onto a support substrate, which comprises the following successive steps: • (a) providing a piezoelectric substrate (5) and a manipulation substrate (2); • (b) depositing a photo-polymerisable adhesive layer (6) on a main face of the manipulation substrate (2) or the piezoelectric substrate (5); • (c) bonding the piezoelectric substrate (5) with the manipulation substrate (2) via the adhesive layer (6) to form a heterostructure (7); • (d) irradiating the heterostructure (7) with a luminous flux to polymerise the adhesive layer (6); • (e) thermally treating the irradiated heterostructure (7); and • (f) thinning the piezoelectric substrate (5) by its face opposite the manipulation substrate (2), so as to form the donor substrate (1).

(57) Abrégé : La divulgation concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur (1) pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes successives suivantes : • (a) la fourniture d'un substrat piézoélectrique (5) et d'un substrat de manipulation (2), • (b) le dépôt d'une couche adhésive photo-polymérisable (6) sur une face principale du substrat de manipulation (2) ou du substrat piézoélectrique (5), • (c) le collage du substrat piézoélectrique (5) avec le substrat de manipulation (2) par l'intermédiaire de la couche adhésive (6) pour former une hétérostructure(7), • (d) l'irradiation de ladite hétérostructure (7) par un flux lumineux pour polymériser la couche adhésive (6), • (e) le traitement thermique de l'hétérostructure (7) irradiée, • (f) l'amincissement du substrat

WO 2025/003091 A1

[Suite sur la page suivante]

CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))*

piézoélectrique (5) par sa face opposée au substrat de manipulation (2), de sorte à former ledit substrat donneur (1).

DESCRIPTION

Procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support, un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un tel substrat support et un procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume comprenant un tel transfert. L'invention concerne enfin un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique.

ETAT DE LA TECHNIQUE

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

Un exemple de procédé de transfert de couche active bien connu est le procédé Smart Cut™. Ce procédé comprend la formation d'une zone de fragilisation par implantation d'espèces atomiques dans un substrat donneur, afin d'y délimiter une couche d'intérêt à transférer, le collage du substrat donneur sur le substrat support, puis le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation, de sorte à transférer la couche d'intérêt sur le substrat support.

Dans certaines situations, il n'est pas possible de coller directement le substrat donneur sur le substrat support. Plus particulièrement, le collage du substrat donneur sur le substrat support peut être réalisé par l'intermédiaire de couches d'oxyde formées au préalable sur la surface de chacun des deux substrats. Pour renforcer le collage oxyde-oxyde entre le substrat piézoélectrique et le substrat support, il est connu d'effectuer, après le collage, un recuit de consolidation. Ledit recuit de consolidation est typiquement réalisé à une température comprise entre 100 °C et 300 °C.

Le procédé Smart Cut™ peut également nécessiter de procéder à un recuit pour obtenir le détachement de la couche d'intérêt à transférer, dans une plage de température de 100°C à 600°C.

Lorsque le substrat donneur et le substrat donneur ont des coefficients de dilatation thermiques différents - ce qui est le cas par exemple entre un substrat donneur en un

matériau piézoélectrique et un substrat support en silicium - de tels recuits engendrent une déformation significative de l'assemblage des deux substrats, qui est préjudiciable au transfert dans la mesure où cela peut induire une casse des substrats.

Pour minimiser une telle déformation, il est possible de former un substrat intermédiaire dit pseudo-substrat donneur, dans lequel le substrat donneur est assemblé sur un substrat de manipulation temporaire (« handle substrate » en anglais).

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

Le collage du substrat piézoélectrique et du substrat de manipulation pour former le pseudo-substrat donneur pourrait être réalisé par l'intermédiaire de couches d'oxyde préalablement formées à la surface de chacun des deux substrats. Cependant, le dépôt d'une couche d'oxyde sur le substrat piézoélectrique provoque une courbure (« bow » selon la terminologie anglo-saxonne) importante dudit substrat piézoélectrique peu compatible avec les étapes ultérieures du procédé. Par ailleurs, la formation de couches d'oxyde nécessaires au collage est longue et coûteuse. Enfin, comme mentionné plus haut, l'hétérostructure ne peut être soumise au recuit de consolidation en raison des différences de coefficients de dilatation thermique entre le substrat piézoélectrique et le substrat de manipulation. Or, en l'absence de recuit de consolidation, l'énergie de collage des couches d'oxyde des deux substrats reste très faible, de sorte que la tenue mécanique du pseudo-substrat donneur est insuffisante. Par conséquent, une rupture au niveau de l'interface de collage peut se produire lors de l'étape d'amincissement du substrat piézoélectrique épais.

Une alternative intéressante au collage oxyde-oxyde pour assembler l'hétérostructure constituant le pseudo-substrat donneur est la mise en œuvre d'une couche adhésive photo-polymérisable : la couche adhésive photo-polymérisable est déposée sur une face du substrat de manipulation ou de la couche en matériau piézoélectrique, le substrat de manipulation est collé avec la couche en matériau piézoélectrique par l'intermédiaire de la couche adhésive puis l'hétérostructure ainsi formée est irradiée par un flux lumineux de sorte à faire polymériser la couche adhésive.

La couche adhésive photo-polymérisée assure au pseudo-substrat donneur une bonne tenue mécanique. Elle permet en outre de s'affranchir des étapes de procédé mises en œuvre à haute température susceptibles d'engendrer une courbure importante du substrat.

Par ailleurs, la formation d'une telle couche adhésive est très simple à mettre en œuvre et est peu coûteuse.

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

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

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de concevoir un pseudo-substrat donneur pour le transfert d'une portion d'une couche piézoélectrique amincie sur un substrat support, le pseudo-substrat donneur étant formé par l'assemblage de la couche piézoélectrique amincie et d'un substrat de manipulation par l'intermédiaire d'une couche adhésive polymère, qui permette d'améliorer la qualité du collage entre la couche piézoélectrique amincie du pseudo-substrat donneur et le substrat support.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes successives suivantes :

(a) la fourniture d'un substrat piézoélectrique et d'un substrat de manipulation,

(b) le dépôt d'une couche adhésive photo-polymérisable sur une face principale du substrat de manipulation ou du substrat piézoélectrique,

(c) le collage du substrat piézoélectrique avec le substrat de manipulation par l'intermédiaire de la couche adhésive pour former une hétérostructure,

(d) l'irradiation de ladite hétérostructure par un flux lumineux pour polymériser la couche adhésive,

(e) le traitement thermique de l'hétérostructure irradiée,

(f) l'amincissement du substrat piézoélectrique par sa face opposée au substrat de manipulation, de sorte à former ledit substrat donneur.

Le traitement thermique de l'hétérostructure comprenant la couche piézoélectrique épaisse, la couche adhésive photo-polymérisée et le substrat de manipulation permet d'augmenter la rigidité de ladite couche adhésive photo-polymérisée. Le pseudo-substrat donneur qui en résulte présente une meilleure tenue mécanique moins sensible aux vibrations générées lors de l'étape d'amincissement, ce qui permet d'obtenir une surface libre de la couche piézoélectrique amincie plus plane, notamment en périphérie du pseudo-substrat donneur, de sorte que la qualité du collage sur le substrat support s'en trouve améliorée.

Selon d'autres caractéristiques optionnelles du procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support prises seules ou en combinaison lorsque cela est techniquement possible :

- le procédé de fabrication d'un substrat donneur comprend en outre une étape (g) de polissage mécano-chimique de la surface libre du substrat piézoélectrique aminci ;
- le traitement thermique (e) est réalisé de sorte à augmenter le degré de réticulation du polymère dans la couche adhésive photo-polymérisée et/ou la rigidité de ladite couche adhésive photo-polymérisée ;
- le traitement thermique (e) est réalisé de sorte que le module d'Young de la couche adhésive après irradiation et traitement thermique est compris entre 0,05 GPa et 10 GPa, ledit module d'Young étant mesuré par nano indentation ;
- le traitement thermique (e) comprend l'application d'une température comprise entre 90 °C et 110 °C pendant une durée comprise entre 1 heure et 12 heures, dans une atmosphère de diazote ;
- le flux lumineux est appliqué au travers du substrat piézoélectrique ;
- le flux lumineux présente une longueur d'onde comprise entre 200 nm et 500 nm ;
- l'épaisseur de la couche adhésive photo-polymérisable est comprise entre 1 µm et 50 µm et l'énergie d'irradiation reçue par ladite couche adhésive lors de l'étape d'irradiation est comprise entre 0,7 J/cm^2 et 10 J/cm^2 ;
- le dépôt de la couche adhésive photo-polymérisable est effectué par enduction centrifuge ;
- la couche adhésive photo-polymérisable comprend une colle isocyanurate, acrylate ou epoxy réticulable par rayonnement ultraviolet avec agent durcisseur ou non ;
- l'étape de collage est mise en œuvre à une température comprise entre 10 °C et 50 °C et/ou dans lequel l'étape d'irradiation est mise en œuvre à une température comprise entre 10°C et 50 °C.

L'invention concerne également un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant :

- la formation d'un substrat donneur par la mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat donneur tel que précédemment décrit,
- la formation d'une zone de fragilisation dans le substrat piézoélectrique aminci de sorte à délimiter la couche piézoélectrique à transférer,
- la fourniture du substrat support,
- le collage dudit substrat donneur sur le substrat support, la couche piézoélectrique à transférer étant située à l'interface de collage,
- le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche piézoélectrique à transférer sur le substrat support.

Selon d'autres caractéristiques optionnelles du procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support prises seules ou en combinaison lorsque cela est techniquement possible :

- le procédé comprend, avant le collage, la formation d'une couche d'oxyde, ou une couche de nitrure, ou une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde, ou une superposition d'au moins une couche d'oxyde et d'une couche de nitrure sur le substrat support ;
- la formation de la zone de fragilisation est effectuée par implantations d'espèces atomiques dans le substrat piézoélectrique ;
- le substrat de manipulation et le substrat support sont fabriqués dans des matériaux tels que la différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation et le substrat support est inférieure ou égale à 5 %, de préférence environ égale à 0 %.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume comprenant le dépôt d'électrodes sur deux faces opposées d'une couche piézoélectrique, caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support tel que précédemment décrit.

L'invention concerne enfin un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique, constitué d'une hétérostructure comprenant un substrat piézoélectrique collé sur un substrat de manipulation, ledit substrat étant caractérisé en ce qu'il comprend,

à l'interface entre le substrat piézoélectrique et le substrat de manipulation, une couche adhésive polymérisée dont le module d'Young est compris entre 0,05 GPa et 10 Gpa

Selon d'autres caractéristiques optionnelles du substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique prises seules ou en combinaison lorsque cela est techniquement possible :

- l'épaisseur de la couche adhésive polymérisée est comprise entre 1 µm et 50 µm ;
- la couche adhésive polymérisée comprend une colle isocyanurate, acrylate ou epoxy réticulable par rayonnement ultraviolet avec agent durcisseur ou non.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

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

- la figure 1A représente un profil de topologie réalisé à l'aide d'un profilomètre mécanique et montrant les ondulations présentes sur la surface libre d'un substrat donneur ayant été soumis à un traitement thermique selon un mode de réalisation de l'invention, la figure 1B représente un profil de topologie réalisé à l'aide d'un profilomètre mécanique et montrant les ondulations présentes sur la surface libre d'un substrat donneur fabriqué n'ayant pas été soumis audit traitement thermique (lesdits profils sont présentés à la même échelle) ;
- la figure 2 représente une vue en coupe d'un substrat donneur fabriqué selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention comprenant de sa face arrière vers sa face avant : un substrat de manipulation, une couche adhésive photo-polymérisée et une couche piézolélectrique amincie ;
- la figure 3 représente une vue en coupe d'un substrat de manipulation et d'un substrat piézoélectrique fournis pour la mise en œuvre du procédé de l'invention ;
- la figure 4 représente une vue en coupe d'une étape de dépôt d'une couche adhésive photopolymérisable sur le substrat de manipulation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention ;
- la figure 5 représente une vue en coupe de la structure multicouche obtenue après une étape de collage du substrat piézoélectrique et du substrat de manipulation par l'intermédiaire d'une couche adhésive photopolymérisable selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention ;
- la figure 6 représente une vue en coupe d'une étape d'irradiation de la structure multicouche de la figure 5 ;

- la figure 7 représente une vue en coupe de la structure multicouche obtenue après irradiation puis traitement thermique de la structure représentée sur la figure 5 selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention ;

- la figure 8 représente une vue en coupe d'une étape d'amincissement du substrat piézoélectrique dans la structure multicouche de la figure 7 selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention ;

- la figure 9 représente une vue en coupe d'un substrat support pour le transfert d'une couche piézoélectrique à transférer ;

- la figure 10 représente une vue en coupe d'une étape de formation d'une zone de fragilisation au sein de la couche piézoélectrique amincie par implantation d'espèces atomiques de sorte à délimiter une couche piézoélectrique à transférer selon un mode de réalisation du procédé de transfert d'une couche piézolélectrique sur un substrat support selon l'invention ;

- la figure 11 représente une vue en coupe d'une étape de collage du substrat support implanté de la figure 10 avec le substrat support de la figure 9, la couche piézoélectrique à transférer étant à l'interface ;

- la figure 12 représente une vue en coupe de la structure multicouche obtenu après le transfert de la couche piézoélectrique à transférer sur le substrat support par détachement le long de la zone de fragilisation.

- la figure 13 représente une vue en coupe d'un dispositif à ondes acoustiques de volume.

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

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un pseudo-substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support, ledit pseudo-substrat donneur étant formé par assemblage d'une couche piézoélectrique épaisse et d'un substrat de manipulation par l'intermédiaire d'une couche adhésive photopolymérisée puis amincissement de ladite couche piézolélectrique épaisse, par exemple par meulage.

Les structures multicouches issues du transfert de la couche piézoélectrique depuis un tel pseudo-substrat donneur vers un substrat support présentent de nombreux trous à leur périphérie, au niveau de leur interface de collage, qui diminuent la qualité du collage entre la couche active transférée et le substrat receveur.

Suite à l'étape d'amincissement de la couche piézoélectrique épaisse, les inventeurs ont observé que la surface libre de la couche piézoélectrique amincie du pseudo-substrat donneur présente en périphérie, sur environ 5 mm de large, un relief sous la forme de creux et de bosses (« wavyness » selon la dénomination anglo-saxonne visible sur la Figure 1A).

Les inventeurs formulent l'hypothèse que ce soit ce relief périphérique qui génère les trous dans la structure finale multicouche.

En outre, les inventeurs supposent que ce relief sous la forme de creux et de bosses se forme du fait d'une entrée en résonance de ladite couche piézoélectrique épaisse sous l'effet des vibrations générées par le procédé d'amincissement, et remarquent que ce relief est d'autant plus marqué que la tenue mécanique de l'assemblage couche piézoélectrique - substrat de manipulation est faible.

A cet effet, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support. Un exemple de substrat donneur 1 selon l'invention est représenté sur la Figure 2. Le substrat donneur 1 présente une structure multicouche comprenant, de sa face arrière vers sa face avant :

- un substrat de manipulation 2,
- une couche adhésive photopolymérisée 3,
- un substrat piézoélectrique aminci 4.

A titre d'exemple, le substrat piézoélectrique aminci 4 est fabriqué dans un matériau tel que le tantalate de lithium ($LiTaO_3$), le niobate de lithium ($LiNbO_3$), le titanate de baryum ($BaTiO_3$) et/ou le titano-zirconate de plomb (PZT). La couche piézoélectrique 4 présente une épaisseur comprise entre 50 nm et 20 µm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 100 nm et 10 µm.

Le matériau piézoélectrique du substrat piézoélectrique 4 et le matériau du substrat support présentent des coefficients de dilatation thermique très différents. Le dépôt d'une couche en matériau piézoélectrique sans substrat de manipulation sur le substrat support exposerait la structure multicouche résultante à des déformations importantes lors de la mise en œuvre de recuits thermiques, par exemple pour renforcer l'interface de collage entre couche en matériau piézoélectrique et substrat support.

Le substrat de manipulation 2 est donc préférentiellement fabriqué dans un matériau dont le coefficient de dilatation thermique est proche de celui du matériau du substrat support sur lequel le substrat piézoélectrique aminci 4 est destiné à être collé. Par proche, on entend une différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation 2 et le matériau du substrat support inférieure ou égale à 5 %, et de préférence égale ou voisine de 0 %. Des matériaux adaptés sont par exemple le silicium, le saphir, le nitrure d'aluminium polycristallin, ou encore l'arséniure de gallium. Préférentiellement, le substrat de manipulation 2 est fabriqué dans le même matériau que le substrat support. Dans la présente invention, on s'intéresse au coefficient de dilatation thermique dans un plan parallèle à la surface principale des substrats. Le substrat de manipulation 2 présente une épaisseur comprise entre 100 µm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 µm et 1 mm. Préférentiellement, le substrat de manipulation 2 présente une épaisseur proche de celle du substrat support, afin que la structure obtenue après collage du substrat donneur sur le substrat support soit la plus symétrique et la plus équilibrée possible en termes de comportements mécanique et thermique. Un coefficient de dilatation thermique et une épaisseur du substrat de manipulation 2 proches respectivement du coefficient de dilatation thermique et de l'épaisseur du substrat support permettent de minimiser les contraintes sur la structure multicouche et sa déformation sous l'effet des variations de température.

En référence à la Figure 3, le procédé de fabrication du substrat donneur comprend la fourniture d'un substrat piézoélectrique 5 et du substrat de manipulation 2.

Le substrat piézoélectrique 5 présente une épaisseur comprise entre 100 µm et 2 mm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 200 µm et 1 mm. Le substrat piézoélectrique 5 est formé du matériau piézoélectrique qui constitue la couche piézolélectrique amincie 4 dans le substrat support final 10. Le substrat piézoélectrique 5 peut donc comprendre du $LiTaO_3$, $LiNbO_3$, $BaTiO_3$ et/ou PZT.

Le procédé de fabrication du substrat donneur selon l'invention comprend en outre le dépôt d'une couche adhésive photo-polymérisable 6 sur une face principale du substrat de manipulation 2 ou du substrat piézoélectrique 5. A titre d'exemple, la Figure 4 représente un mode de réalisation particulier dans lequel la couche adhésive photo-polymérisable 6 est déposée sur le substrat de manipulation 2.

Le dépôt de la couche adhésive photo-polymérisable est avantageusement effectué par enduction centrifuge, ou « spin coating » selon la terminologie anglo-saxonne.

Cette technique consiste à faire tourner le substrat sur lequel est prévu le dépôt de la couche photo-polymérisable sur lui-même à une vitesse sensiblement constante et relativement élevée, afin d'étaler ladite couche photo-polymérisable de façon uniforme sur l'ensemble de la surface du substrat par force centrifuge. A cet effet, le substrat est typiquement posé et maintenu par tirage du vide sur un plateau tournant. L'homme du métier est en mesure de déterminer les conditions opératoires, telles que le volume d'adhésif déposé sur la surface du substrat, la vitesse de rotation du substrat, et la durée minimale du dépôt en fonction de l'épaisseur souhaitée pour la couche adhésive. Le dépôt par enduction centrifuge permet avantageusement de bien contrôler l'uniformité de l'épaisseur de la couche adhésive photo-polymérisable déposés. L'épaisseur de la couche adhésive photo-polymérisable déposée est typiquement comprise entre 1 et 50 µm. Une épaisseur inférieure à 1 µm n'est pas atteignable avec une couche adhésive photopolymérisable trop visqueuse. En outre, en-dessous d'une épaisseur inférieure à 1 µm, il y a des risques que dans certaines zones, l'épaisseur de la couche adhésive photopolymérisable soit presque nulle. Une épaisseur supérieure à 50 µm n'est pas atteignable avec une couche adhésive photopolymérisable trop liquide. En outre, le polymère photopolymérisée étant plus mou que les autres couches, une épaisseur supérieure à 50 µm risque d'affecter la bonne tenue mécanique du substrat donneur.

La couche adhésive photo-polymérisable 6 comprend préférentiellement une colle isocyanurate, acrylate ou epoxy réticulable par ultraviolet avec un agent durcisseur ou non. Par exemple, la couche adhésive photo-polymérisable 6 comprend deux monomères de type isocyanurate et un dérivé de thiol. Une telle colle présente l'avantage d'être polymérisable à des longueurs d'onde auxquelles le matériau piézoélectrique est au moins partiellement transparent. En outre, elle présente une bonne tenue en température jusqu'à 250 °C.

Le collage par une couche adhésive photo-polymérisable présente l'avantage de comprendre moins d'étapes de fabrication que le collage moléculaire. Elle est donc simple à mettre en œuvre et peu coûteuse. En outre, la couche adhésive photo-polymérisée assure au pseudo-substrat donneur une bonne tenue mécanique sans nécessiter de recuit thermique à haute température qui serait susceptible d'engendrer une courbure importante du substrat, ce qui n'est pas le cas du collage moléculaire. Enfin, le polymère, initialement liquide, va combler les défauts de planéité et compenser en partie la tombée de bord due

au chanfreinage des substrats. Le collage par une couche adhésive photo-polymérisable permet donc de coller les substrats plus proches de leur bord.

En référence à la Figure 5, après le dépôt de la couche adhésive photo-polymérisable sur une face principale du substrat de manipulation 2 ou du substrat piézoélectrique 5, on colle le substrat piézoélectrique 5 avec le substrat de manipulation 2 par l'intermédiaire de la couche adhésive photo-polymérisable 6 pour former une hétérostructure 7. Le collage est de préférence réalisé à température ambiante, soit environ 20°C. Il est cependant possible de réaliser le collage à une température comprise entre 10°C et 50°C, de manière davantage préférée entre 20°C et 30°C, préférentiellement encore à une température proche de la température ambiante. En effet, plus la température de collage est éloignée de la température ambiante, plus l'hétérostructure 7 se déformera lorsqu'elle reviendra à sa température d'équilibre. De plus, l'étape de collage est avantageusement effectuée sous vide, ce qui permet de désorber l'eau des surfaces formant l'interface de collage, c'est-à-dire la surface de la couche adhésive et la surface du substrat de manipulation ou du substrat piézoélectrique.

Puis, en référence à la Figure 6, on irradie ladite hétérostructure 7 par un flux lumineux pour polymériser la couche adhésive.

Par exemple, le flux lumineux peut être appliqué au travers du substrat piézoélectrique 5 si ledit substrat piézoélectrique 5 est au moins partiellement transparent dans la gamme de longueurs d'onde permettant d'initier la polymérisation de la couche adhésive photo-polymérisable 6. Par exemple encore, le flux lumineux est appliqué au travers du substrat de manipulation 2 si ledit substrat de manipulation 2 est au moins partiellement transparent dans la gamme de longueurs d'onde permettant d'initier la polymérisation de la couche adhésive photo-polymérisable 6.

L'irradiation est préférentiellement mise en œuvre à une température comprise entre 10 °C et 50 °C, préférentiellement encore à une température proche de la température ambiante. En effet, plus la température est éloignée de la température ambiante, plus l'hétérostructure 7 se déformera lorsqu'elle reviendra à sa température d'équilibre.

L'énergie d'irradiation reçue par la couche adhésive photopolymérisable 6 est avantageusement comprise entre 0,7 J/cm^2 et 10 J/cm^2. Dans le cas où l'irradiation de la couche adhésive photo-polymérisable 6 est effectuée à travers le substrat de manipulation

2 ou à travers le substrat piézoélectrique 5, il convient de tenir compte du coefficient d'absorption à la longueur d'onde d'irradiation et de l'épaisseur du matériau traversé pour déterminer la puissance d'irradiation reçue réellement par la couche adhésive photo-polymérisable 6.

La longueur d'onde du flux lumineux incident est choisi en fonction de la nature de la couche adhésive photo-polymérisable 6 et du matériau traversé par ledit flux lumineux incident (substrat de manipulation 2 ou substrat piézoélectrique 5). En effet, la couche adhésive photo-polymérisable 6 doit absorber à la longueur d'onde et ladite absorption doit initier la polymérisation. En outre, le matériau traversé par le flux lumineux incident ne doit être complètement absorbé par le matériau traversé, de sorte qu'il ne serait pas possible d'irradier avec la puissance nécessaire la couche adhésive photo-polymérisable 6. Préférentiellement, le flux lumineux présente une longueur d'onde comprise entre 200 nm et 500 nm. En effet, c'est dans cette gamme de longueurs d'onde que le substrat piézoélectrique est avantageusement le plus transparent.

L'irradiation de l'hétérostructure 7 comprenant la couche piézoélectrique épaisse 5, la couche adhésive photo-polymérisable 6 et le substrat de manipulation 2 permet d'initier la réaction de polymérisation en chaîne du monomère. Les inventeurs supposent que les chaînes de polymère grandissent jusqu'à ce que l'encombrement stérique soit supérieur à l'agitation thermique, et empêche le rapprochement des sites actifs, bloquant ainsi la réaction de polymérisation. L'encombrement stérique limite ainsi le degré de réticulation des chaînes de polymère, et donc la rigidité de la couche adhésive photo-polymérisée, atteignables suite à la simple irradiation de l'hétérostructure.

Après l'irradiation de l'hétérostructure par un flux lumineux, le procédé selon l'invention comprend une étape supplémentaire de traitement thermique de l'hétérostructure irradiée, de sorte à obtenir la couche adhésive photopolymérisée 3 telle que représentée sur la Figure 7.

Le traitement thermique selon l'invention de l'hétérostructure irradiée préalablement à l'amincissement de la couche piézoélectrique épaisse permet d'augmenter l'agitation thermique au sein de la couche adhésive et de remettre en correspondance des sites actifs sur les chaînes de polymère de sorte à poursuivre la réticulation du polymère initiée par l'irradiation. Le traitement thermique permet donc d'atteindre un degré de réticulation du polymère supérieur à celui atteignable par simple irradiation, quelle que soit la dose

d'irradiation employée, et donc une rigidité supérieure de la couche adhésive photo-polymérisée. Le pseudo-substrat donneur présente ainsi une meilleure tenue mécanique et une sensibilité moindre aux vibrations du procédé d'amincissement : la surface libre du substrat pseudo-donneur est plus plane à l'issue de l'étape d'amincissement.

Le traitement thermique de l'hétérostructure préalablement irradiée est préférentiellement réalisé de sorte que le module d'Young de la couche adhésive après irradiation et traitement thermique est compris entre 0,05 GPa et 10 GPa, préférentiellement entre 3,5 GPa et 10 GPa.

Ledit module d'Young est mesuré par nano-indentation : une pointe de forme et de taille calibrées en un matériau dur, par exemple une pointe en diamant, est appliquée avec une force d'une intensité donnée sur la surface du matériau dont on souhaite évaluer le module d'Young. Le module d'Young est ensuite évaluée en fonction de la taille de l'empreinte laissée dans le matériau.

La nano-indentation pour mesurer le module d'Young de la couche adhésive photopolymérisée 3 est effectuée sur une structure multicouche comprenant une couche adhésive photopolymérisée test déposée sur un substrat de manipulation sans couche piézoélectrique épaisse (ou inversement sur un substrat piézoélectrique épais sans substrat de manipulation), ladite couche adhésive photopolymérisée test ayant été préparée dans les mêmes conditions que la couche adhésive photopolymérisée 6. Plus précisément, la préparation de la couche adhésive photopolymérisée test comprend le dépôt d'une couche adhésive photopolymérisable test et l'irradiation puis le traitement thermique de la couche adhésive photopolymérisable test déposée, les conditions de dépôt, d'irradiation et de traitement thermique appliquées à la couche adhésive photopolymérisable test étant identiques à celles appliquées à la couche adhésive photo-polymérisable 6. Par conditions d'irradiation identiques, on entend que la puissance d'irradiation reçue par la couche adhésive photo-polymérisable test est identique à la puissance d'irradiation reçue par la couche adhésive photo-polymérisable 6. Comme l'irradiation de la couche adhésive photo-polymérisable 6 est effectuée à travers le substrat de manipulation 2 ou à travers le substrat piézoélectrique 5, il convient de tenir compte du coefficient d'absorption à la longueur d'onde d'irradiation et de l'épaisseur du matériau traversé pour déterminer la puissance d'irradiation à appliquer à la couche adhésive photo-polymérisable test.

Un module d'Young de la couche adhésive photopolymérisée compris entre 0,05 Ga et 10 GPa permet avantageusement de réduire le nombre de trous ou « edge bonding void » à l'interface de collage entre le substrat donneur comprenant une telle couche adhésive photopolymérisée 3 et un substrat support. A titre d'exemple, un module d'Young de la couche adhésive photopolymérisée 3 supérieur à 3,5 GPa permet de diviser par cinq le nombre de trous ou « edge bonding voids » par rapport à une interface de collage entre un substrat support et un substrat donneur comprenant une couche adhésive photopolymérisée n'ayant pas été soumise au traitement thermique selon l'invention.

Une simple irradiation de l'hétérostructure 7 ne permet pas d'atteindre un module d'Young supérieur à 3,5 GPa., même en augmentant la puissance d'irradiation reçue jusqu'à 400 mW. En outre, une augmentation trop importante de la puissance d'irradiation, du fait que le substrat piézoélectrique 5 absorbe une partie de l'insolation, engendre un risque important de déformation dudit susbtrat piézoélectrique 5.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux du traitement thermique de l'hétérostructure irradiée, ledit traitement thermique comprend l'application à ladite hétérostructure d'une température comprise entre 90 °C et 110 °C pendant une durée comprise entre 1 heure et 12 heures, préférentiellement entre 1 heures et 5 heures, préférentiellement encore entre 1 heure et 3 heures dans une atmosphère de diazote. Une telle gamme de température permet avantageusement d'obtenir un module d'Young de la couche adhésive photopolymérisée supérieure à 3 GPa au bout de 3 heures, et un module d'Young maximal de l'ordre de 10 GPa au bout de 5 heures. De telles durées permettent avantageusement de garder un temps de procédé raisonnable pour la production de plaques en volume.

Une température inférieure à 110 °C permet avantageusement d'éviter le risque de déformation de la structure du fait des coefficients de dilatation thermique très différents entre le substrat piézoélectrique 5 et le substrat de manipulation 2.

Après le traitement thermique de l'hétérostructure 7, on amincit le substrat piézoélectrique 5 par sa face opposée au substrat de manipulation, comme représenté sur la figure 8, de sorte que le substrat piézoélectrique aminci 4 présente une épaisseur comprise entre 1 µm et 100 µm, préférentiellement une épaisseur comprise entre 5 µm et 50 µm.

L'amincissement du substrat de manipulation 5 est par exemple réalisé par un meulage (« grinding » selon la terminologie anglo-saxonne) grossier, qui permet de réduire rapidement l'épaisseur de l'hétérostructure. Puis, un meulage plus fin peut être mis en œuvre pour continuer à réduire l'épaisseur de l'hétérostructure, mais en diminuant la rugosité de la surface du substrat donneur final 1.

Enfin, un polissage mécano-chimique (CMP, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Mechanical Polishing ») peut être réalisé pour lisser la surface libre du substrat piézoélectrique aminci 4 opposée au substrat de manipulation 2, de sorte à atteindre la rugosité souhaitée pour le collage du substrat donneur 1 sur le substrat support 12 et ainsi améliorer la qualité de collage.

Compléter l'irradiation de la couche adhésive photo-polymérisable 6 d'un traitement thermique selon le procédé de l'invention permet avantageusement d'augmenter la tenue mécanique du substrat donneur. La meilleure tenue mécanique du substrat donneur apporte audit substrat donneur une meilleure résistance aux vibrations générés par les étapes de meulage et polissage, de sorte que le relief observé en périphérie de la couche piézoélectrique amincie fait de creux et de bosses est beaucoup moins marqué. Ainsi la surface libre de la couche piézoélectrique amincie est plus plane en bordure de plaque, ce qui permet un collage de meilleure qualité du substrat donneur sur le substrat support. La figure 1B représente le profil de topologie réalisé à l'aide d'un profilomètre mécanique. sur la surface libre d'un substrat donneur ayant subi le traitement thermique selon un mode de réalisation de l'invention. L'amplitude des ondulations est donc réduite en comparaison avec le profil de la Figure 1A représentant le profil de topologie sur la surface libre d'un substrat donneur n'ayant pas subi ledit traitement thermique.

L'invention concerne également un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support.

On fournit initialement un substrat donneur comprenant la couche piézoélectrique à transférer. Le substrat donneur est de préférence obtenu par le procédé de fabrication précédemment décrit selon le premier objet de l'invention.

En référence à la Figure 9, on fournit également un substrat support 8 apte à recevoir la couche piézoélectrique à transférer.

Préférentiellement, le substrat de manipulation 2 et le substrat support 8 sont fabriqués dans des matériaux tels que la différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation 2 et le substrat support 8 est inférieure ou égale à 5 %, de préférence environ égale à 0 %.

On forme une zone de fragilisation dans le substrat piézoélectrique aminci 4 de sorte à délimiter une couche piézoélectrique à transférer 9. La profondeur de la zone de fragilisation par rapport à la surface exposée du substrat piézoélectrique aminci 4 détermine l'épaisseur de la couche piézoélectrique à transférer 9.

Selon un mode de réalisation préféré représenté sur la Figure 10, la zone de fragilisation est formée par implantation d'espèces atomiques dans le substrat piézoélectrique aminci, l'implantation étant représentée sur la figure 10 par les flèches noires. Les espèces atomiques sont implantées à une profondeur déterminée du substrat piézoélectrique aminci 4 qui détermine l'épaisseur de la couche piézoélectrique à transférer 9.

Lorsque la zone de fragilisation est formée par implantation d'espèces atomiques, les espèces atomiques implantées sont de préférence des ions hydrogène et/ou des ions hélium.

Selon un mode de réalisation, on forme ensuite une couche d'oxyde, ou une couche de nitrure, ou une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde, ou une superposition d'au moins une couche d'oxyde et d'une couche de nitrure sur le substrat support (non représenté). Une telle couche d'oxyde ou de nitrure ou comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde permet avantageusement d'améliorer l'énergie de collage entre les deux substrats.

En référence à la Figure 11, on procède ensuite au collage du substrat donneur sur le substrat support 8, la couche piézoélectrique à transférer 9 et l'éventuelle couche diélectrique étant située à l'interface de collage.

La structure multicouche formée comprend alors successivement, d'une face arrière à une face avant, le substrat support 8, l'éventuelle couche diélectrique, le substrat piézoélectrique aminci 4, la couche photopolymérisée 3 et le substrat de manipulation 2.

La structure multicouche formée présente peu de trous en périphérie de la structure à l'interface de collage entre le substrat donneur et le substrat support, (« edge bonding voids » en anglais), la détection desdits trous étant effectués par détection laser Un tel effet

est avantageusement obtenu parce que le substrat donneur selon l'invention présente un très faible relief sur la surface libre de la couche piézoélectrique amincie préalablement au collage dudit substrat donneur avec le substrat support.

En référence à la Figure 12, on détache ensuite le substrat donneur le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche piézoélectrique à transférer 9 sur le substrat support 8.

Le détachement le long de la zone de fragilisation peut être déclenché par une action mécanique et/ou un apport d'énergie thermique. L'apport d'énergie thermique peut comprendre un recuit dans un four à un température comprise entre 150° C et 300°C, préférentiellement entre 150 °C et 220°C pour éviter la dégradation du polymère.

Finalement, du fait d'un faible nombre de trous à l'interface de collage entre le substrat donneur et la couche piézoélectrique, on obtient un meilleur transfert de la couche piézoélectrique sur le substrat support en bordure de plaque.

L'invention s'étend à un procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume comprenant le dépôt d'électrodes sur deux faces opposées d'une couche piézoélectrique caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé de transfert de la couche piézoélectrique sur un substrat support selon l'un quelconque des modes de réalisation précédemment décrit.

Plus précisément, avant de coller la couche piézoélectrique à transférer 9 du substrat donneur sur le substrat support 8, on dépose une première électrode sur la surface libre de ladite couche 9, cette première électrode (référencée 10 sur la figure 13) se trouvant enterrée dans l'empilement final. Après l'étape de transfert de la couche piézoélectrique 9 du substrat donneur sur le substrat support 8, on dépose une seconde électrode (référencée 11 sur la figure 13) sur la surface libre de la couche 9, opposée à la première électrode. Pour éviter la propagation des ondes acoustiques dans le substrat support 8, on peut intégrer à celui-ci un moyen d'isolation pouvant être, par exemple, un miroir de Bragg 12 (comme illustré sur la figure 13) ou une cavité préalablement gravée dans le substrat support 8.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un substrat donneur (1) pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes successives suivantes :
(a) la fourniture d'un substrat piézoélectrique (5) et d'un substrat de manipulation (2),
(b) le dépôt d'une couche adhésive photo-polymérisable (6) sur une face principale du substrat de manipulation (2) ou du substrat piézoélectrique (5),
(c) le collage du substrat piézoélectrique (5) avec le substrat de manipulation (2) par l'intermédiaire de la couche adhésive (6) pour former une hétérostructure(7),
(d) l'irradiation de ladite hétérostructure (7) par un flux lumineux pour polymériser la couche adhésive (6),
(e) le traitement thermique de l'hétérostructure (7) irradiée,
(f) l'amincissement du substrat piézoélectrique (5) par sa face opposée au substrat de manipulation (2), de sorte à former ledit substrat donneur (1).

2. Procédé selon la revendication précédente, comprenant en outre une étape (g) de polissage mécano-chimique de la surface libre du substrat piézoélectrique aminci (4).

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement thermique (e) est réalisé de sorte à augmenter le degré de réticulation du polymère dans la couche adhésive photo-polymérisée (3) et/ou la rigidité de ladite couche adhésive photo-polymérisée (3).

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement thermique (e) est réalisé de sorte que le module d'Young de la couche adhésive (3) après irradiation et traitement thermique est compris entre 3,5 GPa et 10 GPa, ledit module d'Young étant mesuré par nano indentation.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement thermique (e) comprend l'application d'une température comprise entre 90 °C et 110 °C pendant une durée comprise entre 1 heure et 12 heures, dans une atmosphère de diazote.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le flux lumineux est appliqué au travers du substrat piézoélectrique (5).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le flux lumineux présente une longueur d'onde comprise entre 200 nm et 500 nm.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de la couche adhésive photo-polymérisable (6) est comprise entre 1 µm et 50 µm et l'énergie d'irradiation reçue par ladite couche adhésive (6) lors de l'étape d'irradiation est comprise entre 0,7 J/cm^2 et 10 J/cm^2.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dépôt de la couche adhésive photo-polymérisable (6) est effectué par enduction centrifuge.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la couche adhésive photo-polymérisable (6) comprend une colle isocyanurate, acrylate ou epoxy réticulable par rayonnement ultraviolet avec agent durcisseur ou non.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape de collage est mise en œuvre à une température comprise entre 10 °C et 50 °C et/ou dans lequel l'étape d'irradiation est mise en œuvre à une température comprise entre 10°C et 50 °C.

12. Procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant :
- la formation d'un substrat donneur (1) par la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
- la formation d'une zone de fragilisation dans le substrat piézoélectrique aminci (4) de sorte à délimiter la couche piézoélectrique à transférer (9),
- la fourniture du substrat support (8),
- le collage dudit substrat donneur (1) sur le substrat support (8), la couche piézoélectrique à transférer (9) étant située à l'interface de collage,
- le détachement du substrat donneur (1) le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche piézoélectrique à transférer (9) sur le substrat support (8).

13. Procédé selon la revendication précédente, comprenant, avant le collage, la formation d'une couche d'oxyde, ou une couche de nitrure, ou une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde, ou une superposition d'au moins une couche d'oxyde et d'une couche de nitrure sur le substrat support (8).

14. Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, dans lequel la formation de la zone de fragilisation est effectuée par implantations d'espèces atomiques dans le substrat piézoélectrique aminci (4).

15. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 12 à 14, dans lequel le substrat de manipulation (2) et le substrat support (8) sont fabriqués dans des matériaux tels que la différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation (2) et le substrat support (8) est inférieure ou égale à 5 %, de préférence environ égale à 0 %.

16. Procédé de fabrication d'un dispositif à ondes acoustiques de volume comprenant le dépôt d'électrodes sur deux faces opposées d'une couche piézoélectrique, caractérisé en ce qu'il comprend la fabrication de ladite couche piézoélectrique par un procédé selon l'une des revendications 12 à 15.

17. Substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique, constitué d'une hétérostructure comprenant un substrat piézoélectrique collé sur un substrat de manipulation (2), ledit substrat étant caractérisé en ce qu'il comprend, à l'interface entre le substrat piézoélectrique et le substrat de manipulation, une couche adhésive polymérisée (3) dont le module d'Young est compris entre 3,5 GPa et 10 Gpa.

18. Substrat selon la revendication précédente, dans lequel l'épaisseur de la couche adhésive polymérisée (3) est comprise entre 1 µm et 50 µm.

19. Substrat selon l'une des revendications 17 ou 18, dans lequel la couche adhésive polymérisée (3) comprend une colle isocyanurate, acrylate ou epoxy réticulable par rayonnement ultraviolet avec agent durcisseur ou non.

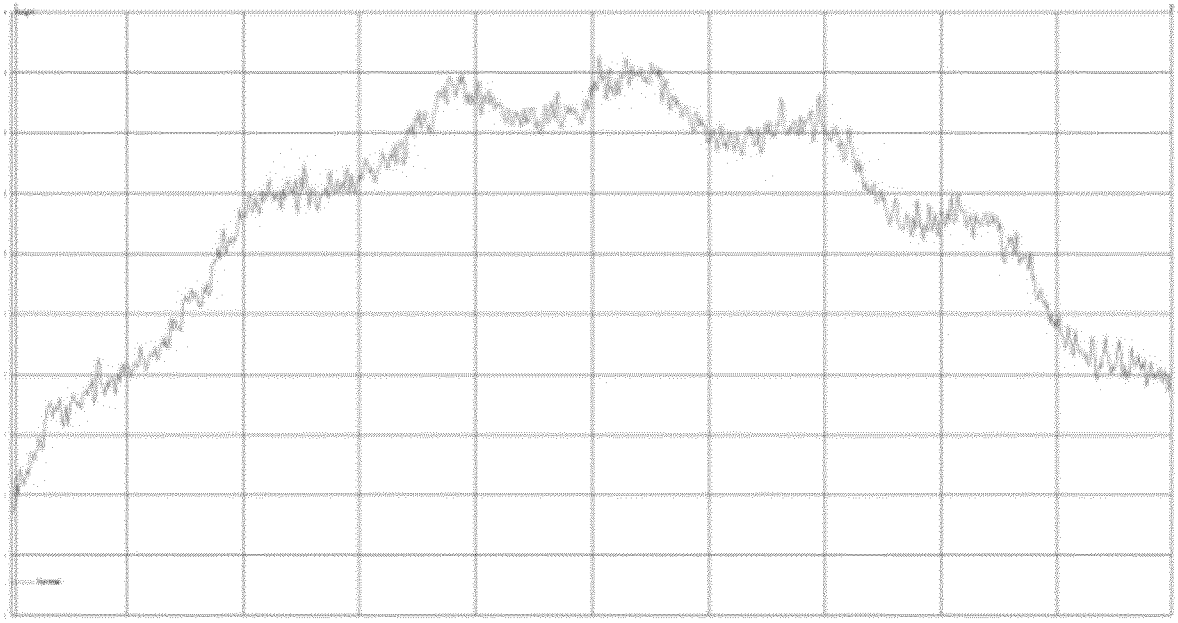

FIGURE 1A

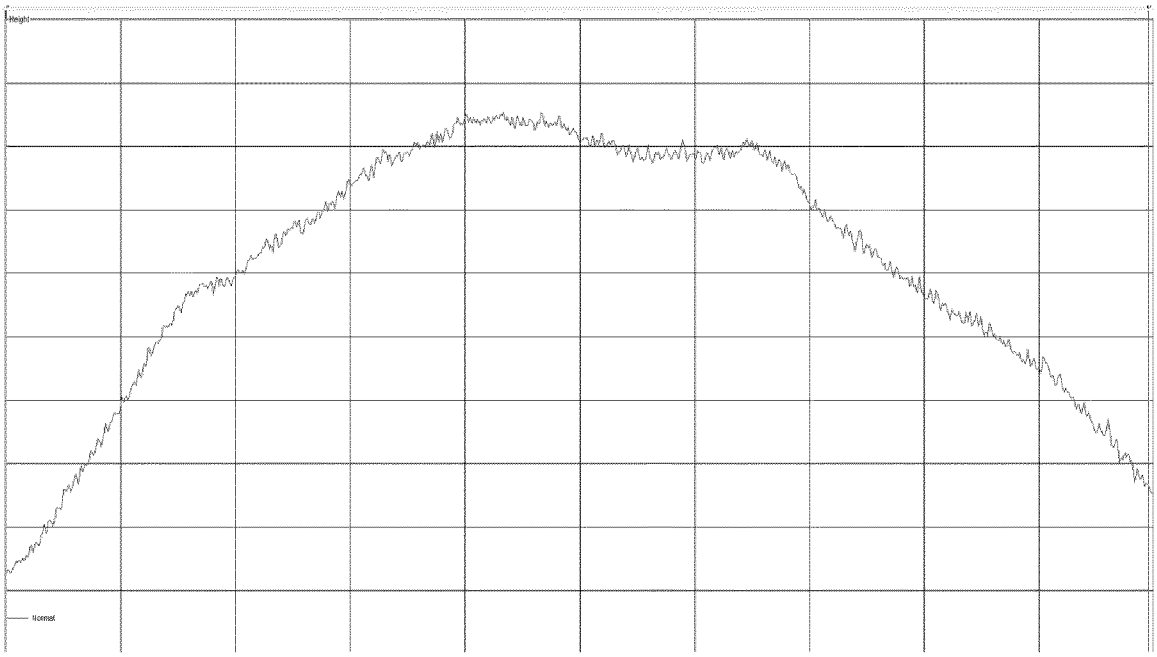

FIGURE 1B

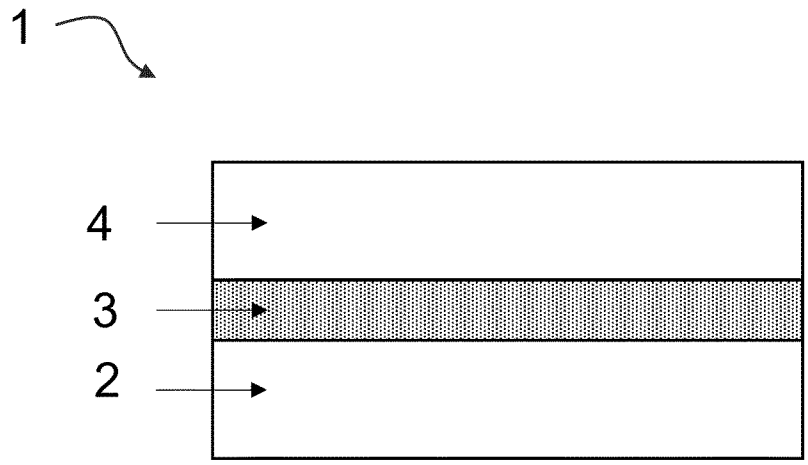

FIGURE 2

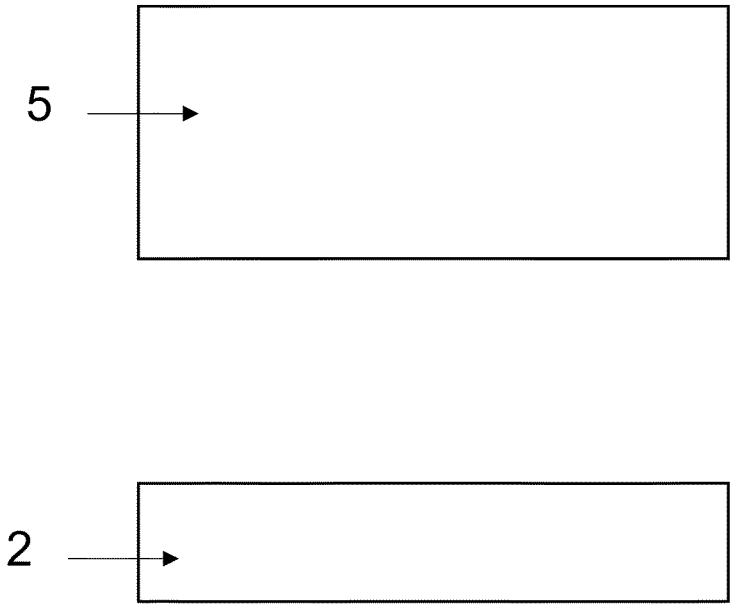

FIGURE 3

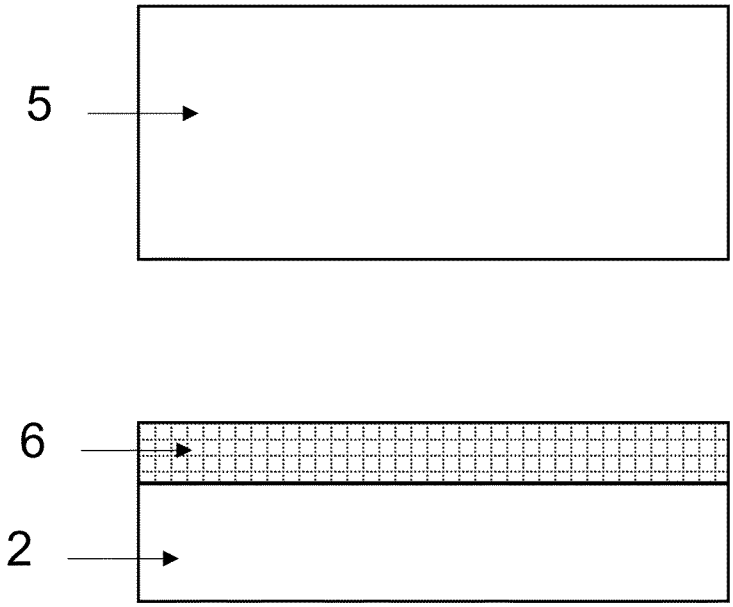

FIGURE 4

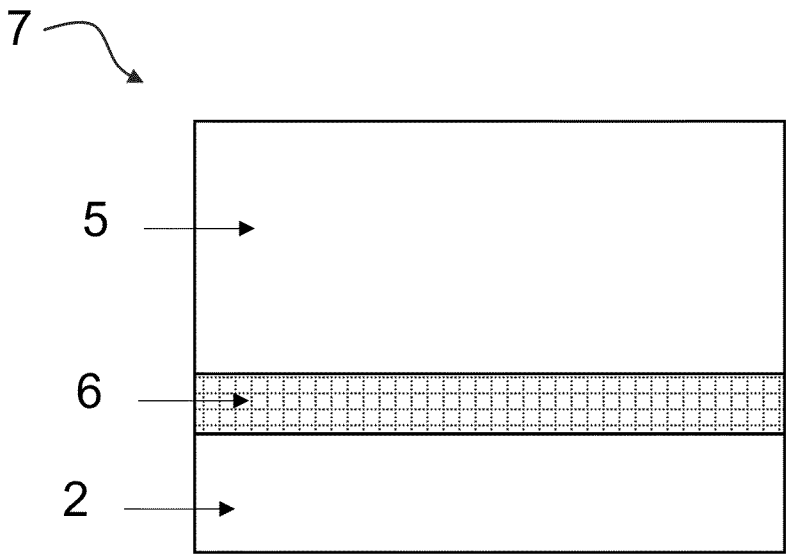

FIGURE 5

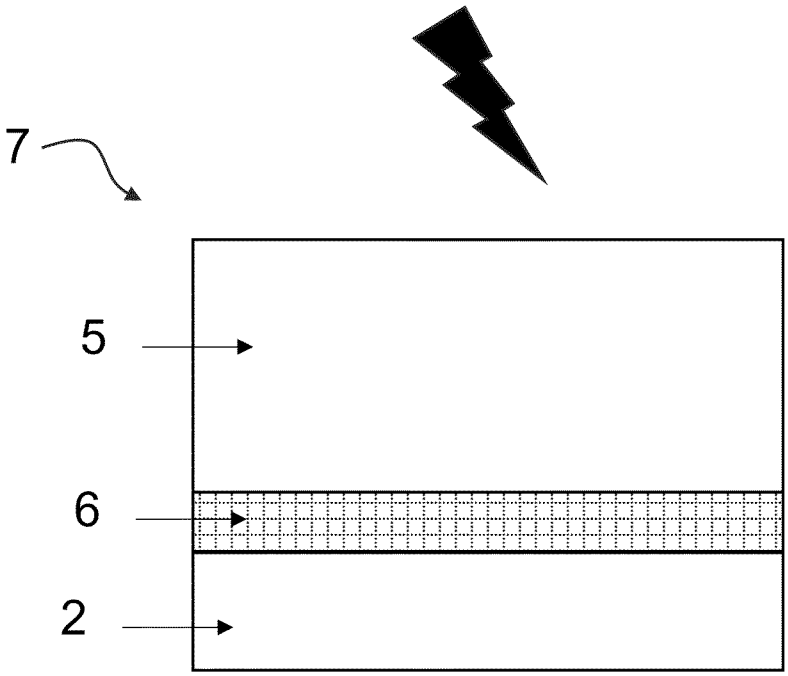

FIGURE 6

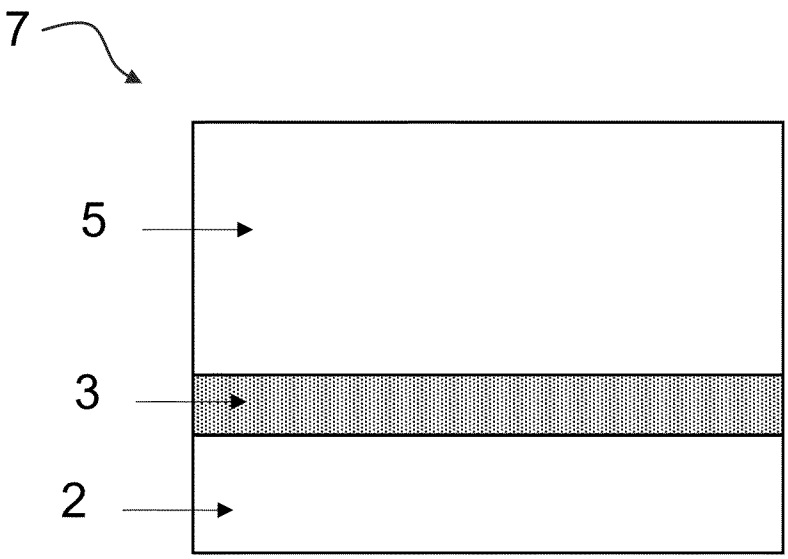

FIGURE 7

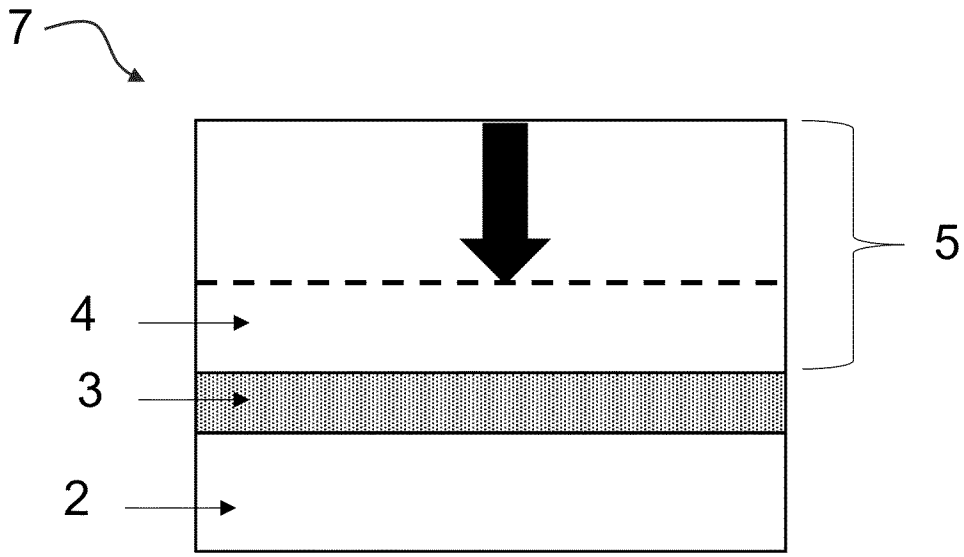

FIGURE 8

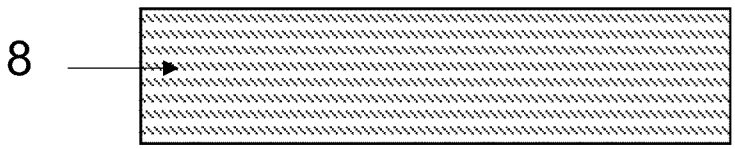

FIGURE 9

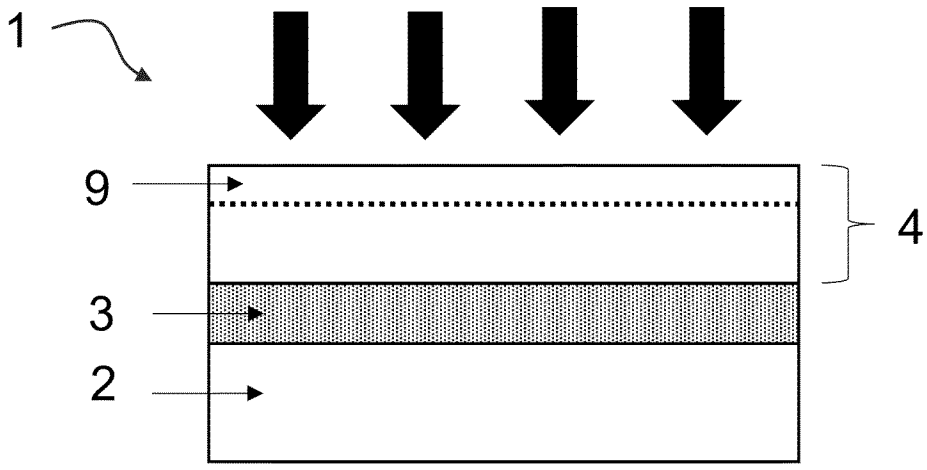

FIGURE 10

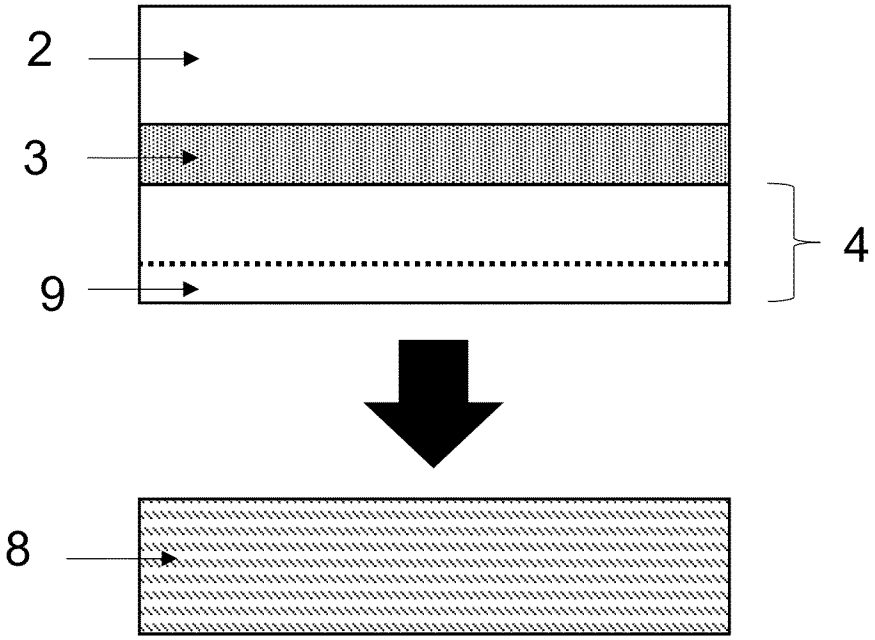

FIGURE 11

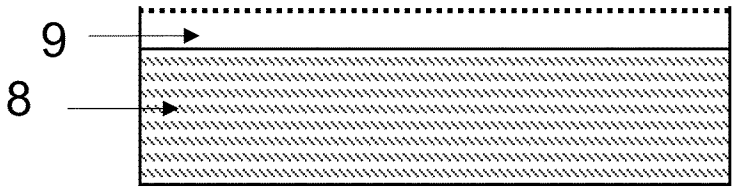

FIGURE 12

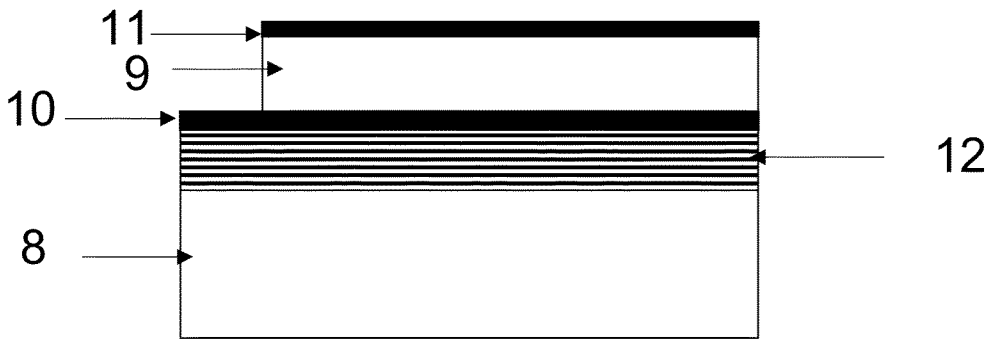

FIGURE 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/067730

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H10N 30/072(2023.01)i; ***H10N 30/073***(2023.01)i; ***H03H 3/007***(2006.01)i

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)

H10N; 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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2022195225 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 22 September 2022 (2022-09-22)	1-3,6-16
A	page 5, line 30 - page 15, line 17; figures 7A-7D page 3, line 30 - line 31 claim 17	4,5,17-19
X	WO 2019186053 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 03 October 2019 (2019-10-03)	1-3,6,7,10,15,16
A	page 6, line 1 - page 10, line 9; figures 1-5	4,5,17-19
T	Anonymous. "Norland Optical Adhesive 61" 25 February 2020 (2020-02-25), pages 1-6, Retrieved from the Internet: https://www.norlandprod.com/literature/61tds.pdf [retrieved on 2024-01-05] XP093116125 Characteristics of the material NOA 61; the whole document	

☐ 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	Date of mailing of the international search report
05 September 2024	**30 September 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands (Kingdom of the)**	**Gröger, Andreas**
Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/067730

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022195225 A1	22 September 2022	CN 117016057 A	07 November 2023
		EP 4309216 A1	24 January 2024
		FR 3120985 A1	23 September 2022
		JP 2024509614 A	04 March 2024
		KR 20230155584 A	10 November 2023
		TW 202301425 A	01 January 2023
		US 2024178056 A1	30 May 2024
		WO 2022195225 A1	22 September 2022
WO 2019186053 A1	03 October 2019	CN 111919285 A	10 November 2020
		EP 3776632 A1	17 February 2021
		FR 3079345 A1	27 September 2019
		JP 2021519537 A	10 August 2021
		JP 2024128100 A	20 September 2024
		KR 20200136427 A	07 December 2020
		SG 11202009404S A	29 October 2020
		US 2021075389 A1	11 March 2021
		US 2024146275 A1	02 May 2024
		WO 2019186053 A1	03 October 2019

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/067730

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H10N30/072 H10N30/073 H03H3/007
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)
H10N 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

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 2022/195225 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 22 septembre 2022 (2022-09-22)	1-3,6-16
A	page 5, ligne 30 - page 15, ligne 17; figures 7A-7D page 3, ligne 30 - ligne 31 revendication 17	4,5, 17-19

X	WO 2019/186053 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 3 octobre 2019 (2019-10-03)	1-3,6,7, 10,15,16
A	page 6, ligne 1 - page 10, ligne 9; figures 1-5	4,5, 17-19

	-/--	

[x] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[x] 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
5 septembre 2024	30/09/2024

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	Gröger, Andreas

6

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
T	Anonymous: "Norland Optical Adhesive 61", , 25 février 2020 (2020-02-25), pages 1-6, XP093116125, Extrait de l'Internet: URL:https://www.norlandprod.com/literature/61tds.pdf [extrait le 2024-01-05] Caractéristiques du matériau NOA 61; le document en entier -----	

6

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2024/067730

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2022195225 A1	22-09-2022	CN 117016057 A	07-11-2023
		EP 4309216 A1	24-01-2024
		FR 3120985 A1	23-09-2022
		JP 2024509614 A	04-03-2024
		KR 20230155584 A	10-11-2023
		TW 202301425 A	01-01-2023
		US 2024178056 A1	30-05-2024
		WO 2022195225 A1	22-09-2022
WO 2019186053 A1	03-10-2019	CN 111919285 A	10-11-2020
		EP 3776632 A1	17-02-2021
		FR 3079345 A1	27-09-2019
		JP 2021519537 A	10-08-2021
		KR 20200136427 A	07-12-2020
		SG 11202009404S A	29-10-2020
		US 2021075389 A1	11-03-2021
		US 2024146275 A1	02-05-2024
		WO 2019186053 A1	03-10-2019