

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication : **3 131 979**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 00380**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 L 21/48** (2022.01), H 01 L 23/14, H 01 L 21/58,  
H 01 L 21/306

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

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

②2 Date de dépôt : 17.01.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 21.07.23 Bulletin 23/29.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 21.03.25 Bulletin 25/12.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Soitec Société anonyme à conseil  
d'administration* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Broekaart Marcel, Charles-Alfred  
Cedric, Capello Luciana, Loglou Morgane et BARGE  
Thierry.

⑦3 Titulaire(s) : *Soitec Société anonyme à conseil  
d'administration.*

⑦4 Mandataire(s) : IP TRUST.

**FR 3 131 979 - B1**



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique et procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support**

- [0001] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique, un substrat donneur et un procédé de transfert d'une telle couche piézoélectrique sur un substrat support.
- [0002] Un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) comprend une couche mince de matériau piézoélectrique sur un substrat. Pour fabriquer un tel substrat POI, le procédé utilisé comprend le transfert de la couche mince piézoélectrique sur un substrat support à partir d'un substrat plus épais de matériau piézoélectrique.
- [0003] Pour cela, d'abord un substrat donneur est utilisé dans lequel un substrat massif de matériau piézoélectrique est assemblé à un substrat de manipulation par collage en utilisant une couche polymère. Ensuite, le substrat donneur subit une étape d'amincissement du substrat massif piézoélectrique pour former une couche piézoélectrique plus mince avant d'être assemblé au substrat support. Finalement, le transfert de la couche piézoélectrique sur le substrat support est réalisé de manière mécanique ou thermique au niveau d'une zone de fracturation créée au préalable dans la couche piézoélectrique amincie. Le substrat donneur est introduit dans le procédé pour limiter l'impact négative de la différence des coefficients de dilatation thermique entre le matériau piézoélectrique et le substrat support du POI. En effet, pour renforcer l'interface de collage entre les différents substrats et le transfert de la couche mince, des traitements thermiques sont réalisés. Un exemple de ce type de procédé est décrit dans WO 2019/186032 A1.
- [0004] Or, comme le substrat donneur doit subir plusieurs étapes de traitements thermiques et/ou mécaniques un décollage au niveau de l'interface de collage entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère peut se produire.
- [0005] Un but de l'invention est de remédier aux inconvénients précités et notamment de concevoir un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique d'un substrat de matériau piézoélectrique sur un substrat support qui présente une meilleure tenue mécanique.
- [0006] L'objet de l'invention est réalisé par un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de fournir un substrat de manipulation, en particulier un substrat à base de silicium, fournir un substrat piézoélectrique, former une couche intermédiaire sur une surface libre du substrat piézoélectrique, déposer une couche polymère sur la couche

intermédiaire du substrat piézoélectrique, et assembler le substrat piézoélectrique sur le substrat de manipulation pour former le substrat donneur.

- [0007] La formation d'une couche intermédiaire entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère permet d'obtenir une liaison plus stable entre le matériau piézoélectrique et la couche polymère, en choisissant une couche intermédiaire qui présente une bonne adhérence au substrat piézoélectrique ainsi qu'à la couche polymère. Ainsi, le procédé selon l'invention permet d'obtenir un substrat donneur ayant une stabilité mécanique améliorée entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère du substrat de manipulation par rapport à l'état de l'art.
- [0008] L'objet de l'invention est aussi réalisé par un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de fournir un substrat de manipulation, en particulier un substrat à base de silicium; déposer une couche polymère sur une face libre du substrat de manipulation, fournir un substrat piézoélectrique, former une couche intermédiaire sur une surface libre du substrat piézoélectrique, assembler le substrat piézoélectrique sur le substrat de manipulation de telle manière que la couche intermédiaire formée sur le substrat piézoélectrique est en sandwich entre la couche polymère du substrat de manipulation et le substrat piézoélectrique pour former le substrat donneur.
- [0009] La formation d'une couche intermédiaire entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère du substrat de manipulation permet d'obtenir une liaison plus stable entre le matériau piézoélectrique et la couche polymère, en choisissant une couche intermédiaire qui présente une bonne adhérence au substrat piézoélectrique ainsi qu'à la couche polymère. Ainsi, le procédé selon l'invention permet d'obtenir un substrat donneur ayant une stabilité mécanique améliorée entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère du substrat de manipulation par rapport à l'état de l'art.
- [0010] Selon un mode de réalisation, la formation de la couche intermédiaire peut comprendre la formation d'une seule couche ou de plusieurs sous-couches.
- [0011] Selon un mode de réalisation, la formation de la couche intermédiaire peut comprendre au moins la formation d'une couche diélectrique, en particulier une couche à base d'oxyde de silicium ou d'oxyde de nitrure ou une combinaison de nitrure d'oxyde  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ . L'utilisation d'une couche diélectrique formée sur un matériau piézoélectrique permet d'assembler le substrat piézoélectrique à un autre substrat pour former un substrat donneur via cette couche diélectrique. Grace à la présence de la couche diélectrique réalisant la connexion entre le substrat piézoélectrique et le substrat de manipulation, le substrat donneur obtenu à une stabilité mécanique améliorée pour les différentes étapes de procédé que va ensuite subir le substrat donneur.
- [0012] Selon un mode de réalisation, une étape de traitement de surface de la couche inter-

médiaire peut être réalisée, en particulier un traitement par plasma, encore plus en particulier un plasma d'oxygène O<sub>2</sub>. Un traitement par plasma est un traitement par voie sèche qui permet la fonctionnalisation et/ou l'activation de la surface. Le traitement de surface plasma consiste en une très forte oxydation de la surface d'un matériau.

L'oxydation des molécules de surface permet d'augmenter la tension de surface d'un support. Le traitement de plasma permet la création de radicaux libres en surface qui favorisent l'adhésion successive d'une couche mince en contact avec ces radicaux libres. Ainsi, le traitement de surface plasma permet d'améliorer les caractéristiques chimiques du matériau pour une meilleure adhésion à une couche de revêtement. Ainsi, l'étape de traitement par plasma du procédé selon l'invention permet d'améliorer l'adhérence entre la couche diélectrique formée sur le substrat piézoélectrique et la couche polymère du substrat donneur, et résulte en une stabilité mécanique du substrat donneur améliorée par rapport à l'état de l'art.

[0013] Selon un mode de réalisation, une étape d'amincissement du substrat piézoélectrique du substrat donneur peut être réalisée, de manière à obtenir soit un substrat piézoélectrique aminci avec une épaisseur  $t$  inférieure à  $t_1$  du substrat piézoélectrique, soit une couche piézoélectrique d'une épaisseur  $t_2$  inférieure à l'épaisseur  $t_1$  du substrat piézoélectrique. L'étape d'amincissement peut être réalisée par un procédé de meulage ou bien par un procédé de gravure chimique du substrat piézoélectrique. Ainsi, à partir d'un substrat épais piézoélectrique, un substrat piézoélectrique plus mince ou une couche piézoélectrique d'une épaisseur voulue plus mince est obtenu/e et le substrat donneur ainsi fabriqué par le procédé selon l'invention peut être utilisé comme substrat donneur dans un processus ultérieur de transfert de couche pour transférer une fine couche du matériau piézoélectrique sur un substrat support pour former ainsi un substrat piézoélectrique sur isolant (POI). L'utilisation d'un substrat piézoélectrique plus fin permet de réduire les problèmes ultérieurs dus à une non-symétrie des coefficients de dilatation thermique et ainsi de minimiser la déformation de l'assemblage lors de l'application d'étapes ultérieures de procédé.

[0014] Selon un mode de réalisation, l'étape d'assemblage du procédé de fabrication d'un substrat donneur peut comprendre une étape de traitement de la couche polymère pour obtenir une couche polymère réticulée pour coller le substrat de manipulation au substrat piézoélectrique. La formation d'une couche polymère réticulée par une étape de traitement de la couche polymère est simple à mettre en place et permet une adhésion qui satisfait les conditions du procédé.

[0015] L'objet de l'invention est aussi réalisé par un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique comprenant un substrat de manipulation, en particulier un substrat à base de silicium, un substrat piézoélectrique, une couche polymère en sandwich entre le substrat de manipulation et le substrat piézoélectrique, et caractérisé

en ce que le substrat donneur comprend en outre une couche intermédiaire en sandwich entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère. Grâce à la présence de la couche intermédiaire en sandwich entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère, une meilleure liaison est réalisée entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère. Cette liaison résulte en un substrat donneur ayant une stabilité mécanique améliorée et permet d'utiliser ce substrat donneur dans des procédés à posteriori sans rencontrer des problèmes de décollement au niveau de l'interface polymère - piézoélectrique.

- [0016] Selon un mode de réalisation, la couche intermédiaire peut comprendre une seule couche ou plusieurs sous-couches.
- [0017] Selon un mode de réalisation, la couche intermédiaire peut comprendre au moins une couche diélectrique, en particulier une couche à base d'oxyde de silicium et/ou de nitrure de silicium ou une combinaison de nitrure et d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ . L'utilisation d'une couche diélectrique formée sur un matériau piézoélectrique permet par la suite d'utiliser le substrat piézoélectrique pour assemblage à un autre substrat pour former un substrat donneur via cette couche diélectrique d'une manière solide et stable pour les différentes étapes de procédé que va ensuite subir le substrat donneur.
- [0018] Selon un mode de réalisation, la couche diélectrique de la couche intermédiaire peut être en contact direct avec la couche polymère du substrat donneur. Ainsi, la liaison entre le substrat piézoélectrique et la couche polymère du substrat donneur se fait via la couche diélectrique, ce qui permet d'obtenir une liaison stable pour que le substrat donneur subisse par la suite des étapes de procédé thermiques et/ou mécanique sans souffrir de dégradation au niveau de la liaison piézoélectrique – polymère.
- [0019] Selon un mode de réalisation, la couche polymère peut être une couche adhésive polymérisée pour coller le substrat piézoélectrique au substrat de manipulation via la couche intermédiaire du substrat piézoélectrique. La présence d'une couche polymère réticulée permet d'obtenir une liaison stable avec la couche intermédiaire du substrat piézoélectrique.
- [0020] Selon un mode de réalisation, le substrat piézoélectrique peut être un substrat de Tantalate de Lithium (LTO), de Niobate de Lithium (LNO), de Nitrure d'Aluminium (AlN), de Titano-Circonate de Plomb (PZT), de Langasite ou de Langatate. Le substrat donneur selon l'invention peut comprendre ces matériaux, qui jouent un rôle majeur dans les dispositifs exploitant l'effet piézoélectrique.
- [0021] L'objet de l'invention peut aussi être réalisé par un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de fournir un substrat donneur comme décrit auparavant avec un substrat piézoélectrique aminci ou obtenu par la mise en œuvre du procédé de fabrication comme décrit auparavant, former une zone de fragilisation à l'intérieur du substrat piézoélectrique, fournir un substrat

support, en particulier un substrat à base de silicium, attacher le substrat donneur sur le substrat support, pour obtenir un assemblage substrat donneur – substrat support, et réaliser la fracture le long de la zone de fragilisation pour séparer une couche piézo-électrique du restant du substrat donneur.

- [0022] Dans un tel procédé, grâce à l'usage d'un substrat donneur obtenu selon le procédé de fabrication décrit plus tôt, qui présente une meilleure stabilité mécanique au niveau de la liaison du matériau piézoélectrique avec la couche polymère grâce à la présence de la couche intermédiaire, le risque de décollement du matériau piézoélectrique dans l'assemblage substrat support – substrat donneur lors de la réalisation des différentes étapes de procédé appliquées à posteriori à l'assemblage substrat donneur – substrat support et qui est dû aux différences dans les coefficients de dilatation thermique est réduit. Ainsi, l'utilisation de substrats donneurs fabriqués selon l'invention permet la fabrication de substrats POI avec un meilleur rendement.
- [0023] L'invention et ses avantages seront expliqués plus en détail dans la suite au moyen de modes de réalisation préférés et en s'appuyant notamment sur les figures d'accompagnement suivantes, dans lesquelles les numéros de référence identifient des caractéristiques de l'invention.
- [0024] [Fig.1a] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur et un substrat donneur selon un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0025] [Fig.1b] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur et un substrat donneur selon une première variante du premier mode de réalisation de l'invention.
- [0026] [Fig.2] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur et un substrat donneur selon une deuxième variante du premier mode de réalisation de l'invention.
- [0027] [Fig.3] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur et un substrat donneur selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0028] [Fig.4] représente schématiquement un procédé de transfert d'une couche piézo-électrique selon un troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0029] L'invention va être décrite plus en détail en utilisant des modes de réalisation avantageux d'une manière exemplaire et en référence aux dessins. Les modes de réalisation décrits sont simplement des configurations possibles et il faut garder à l'esprit que les caractéristiques individuelles telles que décrites ci-dessus peuvent être fournies indépendamment les unes des autres ou peuvent être omises tout à fait lors de la mise en œuvre de la présente invention.
- [0030] La [Fig.1a] illustre schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur utilisé pour le transfert d'une couche piézoélectrique du substrat donneur sur un substrat support selon un premier mode de réalisation de l'invention.

- [0031] Le procédé de fabrication d'un substrat donneur commence par l'étape I) de fournir un substrat de manipulation 100, en particulier un substrat massif. Un substrat massif est un substrat à base d'un seul matériau typiquement d'une épaisseur comprise entre 300  $\mu\text{m}$  et 800  $\mu\text{m}$ , en particulier entre 350 $\mu\text{m}$  et 800 $\mu\text{m}$ . Le substrat de manipulation 100 est d'un matériau dont le coefficient de dilatation thermique est proche de celui du matériau du substrat support sur lequel la couche piézoélectrique est destinée à être transférée. Par « proche », on entend une différence de coefficient de dilatation thermique entre le matériau du substrat de manipulation 100 et le matériau du substrat support inférieure ou égale à 5%, et de préférence égale ou voisine de 0%.
- [0032] Le substrat de manipulation 100 peut être un substrat à base de silicium, de saphir, de nitrure d'aluminium (AlN), de carbure de silicium (SiC) ou encore d'arséniure de gallium (GaAs). Le substrat de manipulation 100 peut être un substrat cristallin ou poly cristallin.
- [0033] Lors de l'étape II) un substrat piézoélectrique 106 est fourni. Il s'agit de préférence d'un substrat massif formé d'un seul matériau piézoélectrique dont l'épaisseur est typiquement de l'ordre d'au moins 300 $\mu\text{m}$ , de préférence d'au moins 350 $\mu\text{m}$ . Selon une variante, le substrat de matériau piézoélectrique 106 peut aussi être une couche épaisse de matériau piézoélectrique entre 25 $\mu\text{m}$  et 50 $\mu\text{m}$ , formée sur un autre substrat.
- [0034] Le matériau piézoélectrique peut, par exemple, être du Tantalate de Lithium (LTO), du Niobate de Lithium (LNO), du Nitrure d'Aluminium (AlN), du Titano-Circonate de Plomb (PZT), de la Langasite ou du Langatate.
- [0035] Selon l'invention, une étape III) de formation d'une couche intermédiaire 108 sur une surface libre 110 du substrat piézoélectrique 106 est réalisée. La formation de la couche intermédiaire 108 sur la surface libre 110 du substrat piézoélectrique peut être réalisée par un dépôt par enduction centrifuge, ou « spin coating » en terminologie anglosaxonne ou par une technique de croissance thermique ou assisté par plasma telle que PECVD or PVD.
- [0036] Avant de réaliser la formation de la couche intermédiaire 108, une ou plusieurs étapes de nettoyage, de brossage ou de polissage de la surface du substrat piézoélectrique 106 peut / peuvent être réalisées pour enlever la présence de particules et de poussière pour obtenir ainsi une surface libre 110 plus propre ce qui permet l'obtention d'une couche intermédiaire 108 de meilleure qualité.
- [0037] Selon l'invention, la couche intermédiaire 108 formée sur le substrat piézoélectrique 106 est une couche diélectrique, par exemple une couche à base d'oxyde de silicium, ou à base de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ou encore une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ .
- [0038] Selon une variante de l'invention, une étape d'activation 118 de la surface de la couche intermédiaire 108 formée sur le substrat piézoélectrique 106 peut être réalisée

pour activer la surface libre 120 de la couche intermédiaire 108. En particulier, ce traitement d'activation 118 peut être un traitement de plasma, encore plus en particulier un traitement de plasma à base d'oxygène.

[0039] Un traitement par plasma est un traitement par voie sèche qui permet la fonctionnalisation, l'activation ou le nettoyage de la surface, ou une combinaison de ces effets par oxydation. L'oxydation des molécules de surface permet d'augmenter la tension de surface d'un support créant des liaisons pendantes sur la surface. Le traitement de plasma permet la création de radicaux libres en surface qui favorisent l'adhésion successive d'une couche mince en contact avec ces radicaux libres. Ainsi, le traitement de surface plasma permet d'améliorer les caractéristiques chimiques de la surface 120 de la couche diélectrique 108 du substrat piézoélectrique 106 en créant des sites de liaisons pendantes pour une meilleure adhésion à une couche qui est formée ou mise en contact avec la surface 120 de la couche 108 du substrat piézoélectrique 106 lors de la suite du procédé.

[0040] Selon l'invention, une étape IV) de dépôt d'une couche polymère 104 sur la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106 est réalisée. La couche polymère 104 est ainsi en contact direct avec la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106 à l'interface 126. La présence de la couche intermédiaire 108 entre le substrat piézoélectrique 106 et la couche polymère 104 résulte en une meilleure adhésion avec la couche polymère 104, et ainsi, avec le substrat piézoélectrique 106, comparé à une liaison directe entre la couche polymère 104 et le substrat piézoélectrique 106 de l'état de l'art. En effet, il est possible de choisir une couche intermédiaire 108 qui présente une bonne adhérence au substrat piézoélectrique 106 ainsi qu'à la couche polymère 104.

[0041] Le dépôt de la couche polymère 104 est avantageusement effectué par enduction centrifuge, ou « spin coating » en terminologie anglo-saxonne. Cette technique consiste à faire tourner le substrat sur lequel est prévu le dépôt de la couche polymère 104 sur lui-même à une vitesse donnée, afin d'étaler ladite couche polymère 104 de façon uniforme sur l'ensemble de la surface du substrat piézoélectrique 106 par force centrifuge. A cet effet, le substrat piézoélectrique 106 est typiquement posé et maintenu par tirage du vide sur un plateau tournant. L'épaisseur de la couche de polymère 104 obtenue dépend des paramètres utilisés lors du dépôt de la couche, c'est à dire par exemple de la vitesse et de la durée de rotation du substrat et du volume de la solution polymère déposée sur la surface du substrat 106. L'épaisseur de la couche polymère 104 est typiquement comprise entre 1µm et 6µm, de préférence 3.5µm.

[0042] La couche polymère 104 peut être une couche photo-polymérisable, en particulier à base de résine thiol-ène. Par exemple, la couche commercialisée sous la référence « NOA 61 » par la société NORLAND PRODUCTS peut être utilisée dans la présente

invention comme couche polymère 104.

- [0043] Après le dépôt par centrifugeuse de la couche polymère 104 sur le substrat piézoélectrique 106, un traitement thermique peut être réalisé pour améliorer l'adhésion de la couche polymère 104 à la surface activée 120 de la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106.
- [0044] Dans la variante ou une étape d'activation 118 de la surface 120 de la couche intermédiaire 108 est réalisée, l'étape de dépôt de la couche polymère 104 est réalisée après l'étape d'activation 118 de la surface 120 de la couche intermédiaire 108. Ainsi, le dépôt de la couche polymère 104 est réalisé sur la surface activée 120 de la couche intermédiaire 108, en direct contact avec la surface activée 120.
- [0045] Selon l'invention, le substrat piézoélectrique 106 obtenu après l'étape IV), est ensuite assemblé au substrat de manipulation 100 obtenu à l'étape I) durant une étape V) d'assemblage pour former le substrat donneur 124.
- [0046] L'assemblage du substrat piézoélectrique 106 sur le substrat de manipulation 100 est fait telle que la couche polymère 104 est positionnée en contact avec la couche 108 du substrat piézoélectrique 106 et le substrat de manipulation 100.
- [0047] Une fois les deux substrats assemblés, une étape VI) de collage est réalisée pour coller le substrat piézoélectrique 106 au substrat de manipulation 100 pour former un substrat donneur 128 stable.
- [0048] La couche polymère 104 subit un traitement de réticulation 130 pour modifier les propriétés mécaniques de la couche polymère 104. La réticulation est le terme général désignant le processus de formation de liaisons covalentes ou de séquences relativement courtes de liaisons chimiques pour joindre deux chaînes polymères. Lorsque les chaînes polymères sont réticulées, la couche polymère 104 devient plus rigide. Les réticulations chimiques covalentes sont stables mécaniquement et thermiquement, de sorte qu'une fois formées, elles sont difficiles à rompre.
- [0049] Un traitement de réticulation 130 peut être réalisé par usage de chaleur, de pression, par un changement de pH ou par de l'irradiation. Selon l'invention, le traitement de réticulation 130 peut être réalisé par irradiation par un flux lumineux 130 de la couche polymère 104. L'irradiation 130 est réalisée à travers le substrat piézoélectrique 106 ou le substrat 100 pour réticuler la couche polymère 104 et obtenir une couche polymère réticulée 132 ou également appelée couche polymérisée 132.
- [0050] L'irradiation 130 peut être réalisée à l'aide d'une source lumineuse, de préférence un laser. Le rayonnement lumineux 130, ou flux lumineux, est de préférence un rayonnement ultra-violet (UV), de préférence d'une longueur d'onde comprise entre 320nm et 365nm.
- [0051] L'épaisseur de la couche polymère réticulée 132 est de préférence comprise entre 1µm et 6µm, en particulier environ 3.5µm. Cette épaisseur dépend notamment du

matériau de la couche polymère 104 déposée avant collage, de l'épaisseur de ladite couche polymère 104 et des conditions d'irradiation.

- [0052] La réticulation de la couche polymère 104 par irradiation UV 130 permet de libérer des radicaux qui vont déclencher la polymérisation de la couche polymère 104. La polymérisation de la couche polymère 104 résulte en des liaisons chimiques qui sont stables mécaniquement et thermiquement, de sorte qu'une fois formées, elles sont difficiles à rompre. La liaison entre la couche polymérisée 132 et la couche intermédiaire diélectrique 108 assure ainsi la cohésion mécanique du substrat donneur 128, en maintenant collés ensemble le substrat de manipulation 100 et le substrat piézoélectrique 106 qui forment le substrat donneur 128.
- [0053] Dans la variante où un traitement d'activation de surface 118 est réalisé à la surface 120 de la couche intermédiaire 108, l'adhésion entre la couche polymère réticulée 132 et la couche diélectrique 108 du substrat piézoélectrique 106 à l'interface 126 est améliorée due à la surface activée de la couche intermédiaire 108. En effet, les liaisons pendantes présentes sur la surface activée de la couche intermédiaire diélectrique 108 du substrat piézoélectrique 106 vont former des liaisons covalentes avec les liaisons pendantes présentes à la surface de la couche polymère 104. Ainsi, l'interface de contact 126 entre la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106 et la couche polymère 104 est consolidée/renforcée grâce au traitement d'activation de surface de la couche intermédiaire 108 et résulte en une stabilité mécanique du substrat donneur 124 améliorée par rapport à l'état de l'art.
- [0054] Dans une première variante du premier mode de réalisation illustrée sur la [Fig.1b], l'étape III) du procédé de formation d'une couche intermédiaire 108 est remplacée par la formation d'une pluralité 112 de sous-couches 114, chaque sous-couche 114 de la pluralité 112 de sous-couches 114 étant les mêmes ou étant différentes de par leur matériau ou de par leurs propriétés ou encore de par leurs épaisseurs. Tous les autres étapes I à II et IV à VI sont les mêmes que celles décrites pour la [Fig.1a]. Ainsi, pour une description détaillée de ces étapes, référence est faite à la description de la [Fig.1a].
- [0055] Au moins une couche 116 des sous-couches 114 de la pluralité 112 de sous-couches est une couche diélectrique 116, en particulier une couche à base d'oxyde de silicium, ou d'oxyde de nitrure  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou une combinaison de nitrure d'oxyde  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ . En particulier, la couche supérieure 116 qui correspond à la dernière couche de la pluralité 112 de sous-couches 114 en partant du substrat piézoélectrique 106, est une couche à base d'oxyde de silicium, ou de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou une combinaison de nitrure et d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ . La pluralité 112 de sous-couches 114 peut être une superposition de couche d'oxyde de silicium et de couche de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

- [0056] Dans cette variante, le dépôt de la couche polymère 104 se fait sur la couche supérieure 116 de la pluralité 112 de sous-couches 114. Ainsi, la couche supérieure 116 est en sandwich entre la couche polymère 104 et le reste des sous-couches 114 de la pluralité 112 de sous-couches 114 du substrat piézoélectrique 106.
- [0057] Dans cette variante, l'assemblage du substrat piézoélectrique 106 sur le substrat de manipulation 100 est fait à l'interface 136 entre la surface libre 102 du substrat de manipulation 100 et la couche polymère 104 formée sur la couche supérieure 116 du substrat piézoélectrique 106. Ainsi, la couche supérieure 116 est en sandwich entre la couche polymère 104 du substrat de manipulation et le reste des sous-couches 114 de la pluralité 112 de sous-couches 114 du substrat piézoélectrique 106 pour former la hétérostructure 134 qui devient après l'étape VI) le substrat donneur 138.
- [0058] Selon une variante, un traitement d'activation de surface 118 peut être réalisé comme dans le procédé décrit par rapport à la [Fig.1a]. Le traitement plasma 118 est réalisé sur la surface libre 122 de la couche supérieure 116 de la pluralité 112 de sous-couches 114.
- [0059] L'utilisation d'une couche diélectrique 108, 116 formée sur un matériau piézoélectrique 106 permet par la suite d'assembler le substrat piézoélectrique 106 à un autre substrat de manipulation 100 via une couche polymère 104 déposée sur cette couche diélectrique 108, 116 d'une manière solide et stable pour former un substrat donneur. La stabilité mécanique du substrat donneur 128, 138 ainsi obtenu grâce à la liaison couche diélectrique – couche polymère permet à ce substrat donneur 128, 138 d'être ensuite utilisé dans d'autres procédés et de subir différentes étapes de procédé thermiques et mécaniques sans subir de déformation au niveau de l'interface du matériau piézoélectrique 106.
- [0060] La [Fig.2] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat donneur pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention.
- [0061] Toutes les caractéristiques communes avec le premier mode de réalisation utilisant le même numéro de référence que ci-dessus ne seront pas décrites à nouveau, mais il est fait référence à leur description détaillée ci-dessus.
- [0062] Le procédé illustré à la [Fig.2] comprend après l'étape VI) illustré dans la [Fig.1a], une étape d'amincissement VII) du substrat piézoélectrique 106 du substrat donneur 128 obtenu selon le procédé du premier mode de réalisation et sa première variante. De la même manière le substrat donneur 138 pourra être utilisé.
- [0063] L'étape d'amincissement VII) peut être réalisée par un procédé de meulage ou bien par un procédé de gravure chimique du substrat piézoélectrique 106 pour réduire l'épaisseur  $t_i$  du substrat de matériau piézoélectrique 106 du substrat donneur 128 pour obtenir soit un substrat piézoélectrique aminci 140 d'une épaisseur  $t$  inférieure à  $t_i$ , soit

une couche piézoélectrique 140 d'une épaisseur  $t_2$  de l'ordre de 20 $\mu$ m, ou encore entre 5 $\mu$ m et 25 $\mu$ m. Un traitement de la surface libre 142 de la couche piézoélectrique 140 obtenue peut être réalisé une fois l'étape d'amincissement VII) terminée pour améliorer la qualité de la surface libre 142 de la couche piézoélectrique 140.

- [0064] La [Fig.3] illustre le second mode de réalisation de l'invention dans lequel l'étape de dépôt de la couche polymère 154 est réalisée sur le substrat de manipulation 100, au lieu d'être réalisée sur le substrat piézoélectrique 106. Toutes les autres étapes I, II, III et V à VII sont les mêmes que dans le premier mode de réalisation et ses variantes. Toutes les caractéristiques communes avec le premier mode de réalisation et ses variantes et utilisant le même numéro de référence que ci-dessus ne seront pas décrites à nouveau, mais il est fait référence à leur description détaillée ci-dessus.
- [0065] Lors de l'étape IV) de dépôt de la couche polymère 154, la couche polymère 154 est déposée directement en contact avec la surface libre 102 du substrat de manipulation 100. Le substrat de manipulation 100 peut d'abord être soumis à une ou plusieurs étapes de nettoyage, de brossage ou de polissage de sa surface libre 102 pour réduire la présence de particules ou de poussière avant de réaliser le dépôt de la couche polymère 154.
- [0066] Lors de l'étape IV) d'assemblage, la couche polymère 154 du substrat de manipulation 100 est mise en contact direct avec la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106. Ainsi, l'interface 126 de contact entre la couche polymère 154 et la couche intermédiaire 108 du substrat piézoélectrique 106 présente aussi une meilleure adhésion. En effet, de la même façon que précédemment décrit, il est possible de choisir une couche intermédiaire 108 qui présente une bonne adhérence au substrat piézoélectrique 106 ainsi qu'à la couche polymère 154. Ainsi, l'interface de contact 126 entre le substrat piézoélectrique 106 et la couche polymère 154 via la couche intermédiaire 108 est consolidée/renforcée et résulte en une stabilité mécanique du substrat donneur 124 améliorée par rapport à l'état de l'art.
- [0067] La [Fig.4] représente schématiquement un procédé de transfert d'une couche piézoélectrique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention utilisant le substrat donneur 144. Selon des variantes, le procédé peut être réalisé avec le substrat donneur 128, 138 obtenu selon les autres variantes décrites par rapport aux Figures 1a, 1b ou 2.
- [0068] Lors de l'étape A) le substrat donneur 144 et un substrat support 156 sont fournis. Le substrat support 156 peut être un substrat massif à base de silicium, de saphir, de nitrure d'aluminium (AlN), de carbure de silicium (SiC) ou encore d'arséniure de gallium (GaAs). Le substrat support 156 peut être un substrat cristallin ou polycristallin. Le substrat donneur 144 montre une stabilité mécanique qui lui permet d'être utilisé dans le procédé de transfert de couche piézoélectrique 152 sur le substrat support 156.

- [0069] Comme illustré à la [Fig.4], le substrat support 156 peut comprendre une couche diélectrique 158 antérieurement formée sur la surface libre 160 du substrat support 156, par exemple par un dépôt par centrifugeuse ou par une technique de déposition telle que déposition plasma ou évaporation ou une croissance thermique. La couche diélectrique 158 est par exemple une couche d'oxyde de silicium, une couche de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ou une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde de silicium encore appelé oxynitrure de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ , ou une superposition d'une couche d'oxyde et d'une couche de nitrure. Selon une variante, la formation de la couche diélectrique 158 peut être suivie d'un traitement thermique pour améliorer l'adhérence de la couche diélectrique 158 au substrat support 156. Un traitement de surface pour améliorer la qualité de la surface de la couche diélectrique 158 formée peut également être réalisé.
- [0070] La couche diélectrique 158 peut également être une couche d'oxyde naturel qui est formée sur la surface libre 160 du substrat support 156.
- [0071] Dans une variante, d'autres couches peuvent être présentes sur le substrat support 156 et/ou la couche diélectrique 158. Par exemple, des couches pour réaliser un miroir de Bragg ou une couche de piégeage. Dans encore une autre variante, le substrat support 156 est fourni sans couche diélectrique 158 et/ou sans couche d'oxyde naturel.
- [0072] Dans une variante, une couche diélectrique peut être fournie sur la couche piézoélectrique 140 du substrat donneur 144 au lieu ou en plus de la couche diélectrique 158 formée sur le substrat support 156.
- [0073] Dans une variante, le substrat support 156 peut aussi comprendre d'autres couches. Par exemple, des couches pour réaliser un miroir de Bragg ou une couche de piégeage peut/peuvent être présente sur le substrat support 156. En particulier, une couche de piégeage de type silicium poly cristallin, amorphe ou poreux peut être présente, d'une épaisseur variant entre 500nm et 5 $\mu\text{m}$ .
- [0074] Une étape B) de former une zone de fragilisation 146 dans la couche piézoélectrique 140 du substrat donneur 144 est réalisée de manière à délimiter la couche piézoélectrique 152 à transférer du reste 162 de la couche piézoélectrique 140.
- [0075] Cette étape de formation d'une zone de fragilisation 140 est réalisée par une implantation 150 d'espèces atomiques ou ioniques dans la couche piézoélectrique 140 du substrat donneur 144. L'implantation atomique ou ionique 150 est réalisée de telle manière que la zone de fragilisation 140 est située à l'intérieure de la couche piézoélectrique 140 et sépare une couche piézoélectrique 152 du reste 162 de la couche piézoélectrique 140. Les espèces atomiques ou ioniques sont implantées à une profondeur déterminée de la couche piézoélectrique 140 qui détermine l'épaisseur  $t_3$  de la couche piézoélectrique 152 à transférer et l'épaisseur  $t_4$  du reste 148 de la couche piézoélectrique 140. L'épaisseur  $t_3$  est typiquement entre 50nm et 1 $\mu\text{m}$ , en particulier de

l'ordre de 600nm. De manière non-limitative, une couche diélectrique peut être formée sur la couche piézoélectrique 140 obtenue du substrat donneur 144. Cette couche diélectrique est par exemple une couche d'oxyde de silicium, une couche de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ou encore une couche comprenant une combinaison de nitrure et d'oxyde de silicium encore appelé oxynitrure de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ , ou une superposition d'une couche d'oxyde et d'une couche de nitrure. Selon une variante, la formation de cette couche diélectrique peut être suivie d'un traitement thermique pour améliorer l'adhérence de la couche diélectrique à la couche piézoélectrique 140. Un traitement de surface pour améliorer la qualité de la surface de cette couche diélectrique formée peut également être réalisé, en particulier après l'étape d'implantation 150 et avant l'étape C) mentionnée ci-dessous.

- [0076] Lors de l'étape C) du procédé de transfert selon l'invention, le substrat donneur 144 est assemblé avec le substrat support 156 pour obtenir un assemblage substrat support - substrat donneur 170. L'assemblage 170 du substrat donneur 144 avec le substrat support 156 se fait au niveau de la couche diélectrique 158, de telle manière que la couche piézoélectrique 140 du substrat donneur 144 est en contact direct avec la couche diélectrique 158 et la couche piézoélectrique 152 à transférer est en sandwich entre le substrat support 156 et le restant 162 du substrat donneur 144. Dans une variante, l'assemblage 170 du substrat donneur 144 avec le substrat support 156 se fait entre la couche diélectrique 158 et une couche diélectrique formée sur le substrat donneur 144 comme mentionné ci-dessus.
- [0077] L'assemblage se fait par adhésion moléculaire entre les deux substrats, à l'interface piézoélectrique – substrat support de manière connue.
- [0078] Ensuite, une étape D) de fracturation le long de la zone de fragilisation 140 du substrat donneur 144 est réalisée par apport d'énergie thermique et/ou mécanique pour séparer la couche piézoélectrique 152 du restant 162 du substrat donneur 144.
- [0079] Ainsi, on obtient le substrat POI 174 comprenant le substrat support 156, la couche diélectrique 158 et la couche piézoélectrique 152 transférée.
- [0080] Grâce à la présence de la couche intermédiaire diélectrique 108 entre la couche piézoélectrique 140 et la couche polymère 120, 132 il devient possible de réduire le risque d'un décollement entre la couche piézoélectrique 140 et la couche polymère 120, 132 du substrat donneur 144 lors de la fracturation du substrat donneur 144. Ainsi, l'utilisation du substrat donneur 144 fabriqué selon l'invention permet la fabrication d'un substrat POI 174 avec un meilleur rendement.
- [0081] Les modes de réalisation décrits sont simplement des configurations possibles et il faut garder à l'esprit que les caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation peuvent être combinées entre elles ou fournies indépendamment les unes des autres.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'un substrat donneur (128, 138, 144) pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de:
- fournir un substrat de manipulation (100), en particulier un substrat à base de silicium;
  - fournir un substrat piézoélectrique (106),
  - former une couche intermédiaire (108) sur une surface libre du substrat piézoélectrique (106),
  - déposer une couche polymère (104) sur la couche intermédiaire (108) du substrat piézoélectrique (106),
- et assembler le substrat piézoélectrique (106) sur le substrat de manipulation (100) pour former le substrat donneur (128, 138, 144).
- [Revendication 2] Procédé de fabrication d'un substrat donneur (128, 138, 144) pour le transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de:
- fournir un substrat de manipulation (100), en particulier un substrat à base de silicium;
  - déposer une couche polymère (154) sur une face libre du substrat de manipulation (100),
  - fournir un substrat piézoélectrique (106),
  - former une couche intermédiaire (108, 112) sur une surface libre du substrat piézoélectrique (106),
  - assembler le substrat piézoélectrique (106) sur le substrat de manipulation (100) de telle manière que la couche intermédiaire (108, 112) formée sur le substrat piézoélectrique (106) est en sandwich entre la couche polymère (132, 154) du substrat de manipulation (100) et le substrat piézoélectrique (106) pour former le substrat donneur (128, 138, 144)
- dans lequel le procédé comprend en outre une étape de traitement de surface (118) de la couche intermédiaire (108, 112), en particulier un traitement par plasma, encore plus en particulier un plasma de O<sub>2</sub>.
- [Revendication 3] Procédé de fabrication d'un substrat donneur (128, 138, 144) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la formation de la couche intermédiaire (108, 112) sur le substrat piézoélectrique (106) comprend au moins la formation d'une couche diélectrique, en particulier à base d'oxyde de silicium, à base de nitrure de silicium ou à base d'une combinaison

d'oxyde et de nitrure de silicium  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ .

[Revendication 4] Procédé de fabrication d'un substrat donneur (128, 138, 144) selon la revendication 1 ou la revendication 3 en combinaison avec la revendication 1, comprenant en outre une étape de traitement de surface (118) de la couche intermédiaire (108, 112), en particulier un traitement par plasma, encore plus en particulier un plasma de  $\text{O}_2$ .

[Revendication 5] Procédé de fabrication d'un substrat donneur (128, 138, 144) selon une des revendications 1 à 4, comprenant en outre une étape d'amincissement du substrat piézoélectrique (106) du substrat donneur (124, 138, 144) pour obtenir un substrat piézoélectrique aminci (140) ou une couche piézoélectrique (140), en particulier par meulage.

[Revendication 6] Procédé de transfert d'une couche piézoélectrique sur un substrat support comprenant les étapes de:

- fournir un substrat donneur (144) obtenu par la mise en œuvre du procédé de fabrication selon la revendication 5,
- former une zone de fragilisation (146) à l'intérieur du substrat piézoélectrique (140) du substrat donneur (144),
- fournir un substrat support (156), en particulier un substrat à base de silicium,
- attacher le substrat donneur (144) sur le substrat support (156), pour obtenir un assemblage substrat donneur – substrat support (170), et
- réaliser la fracture le long de la zone de fragilisation (146) pour séparer une couche piézoélectrique (152) du restant (162) du substrat donneur (144).

[Fig. 1a]

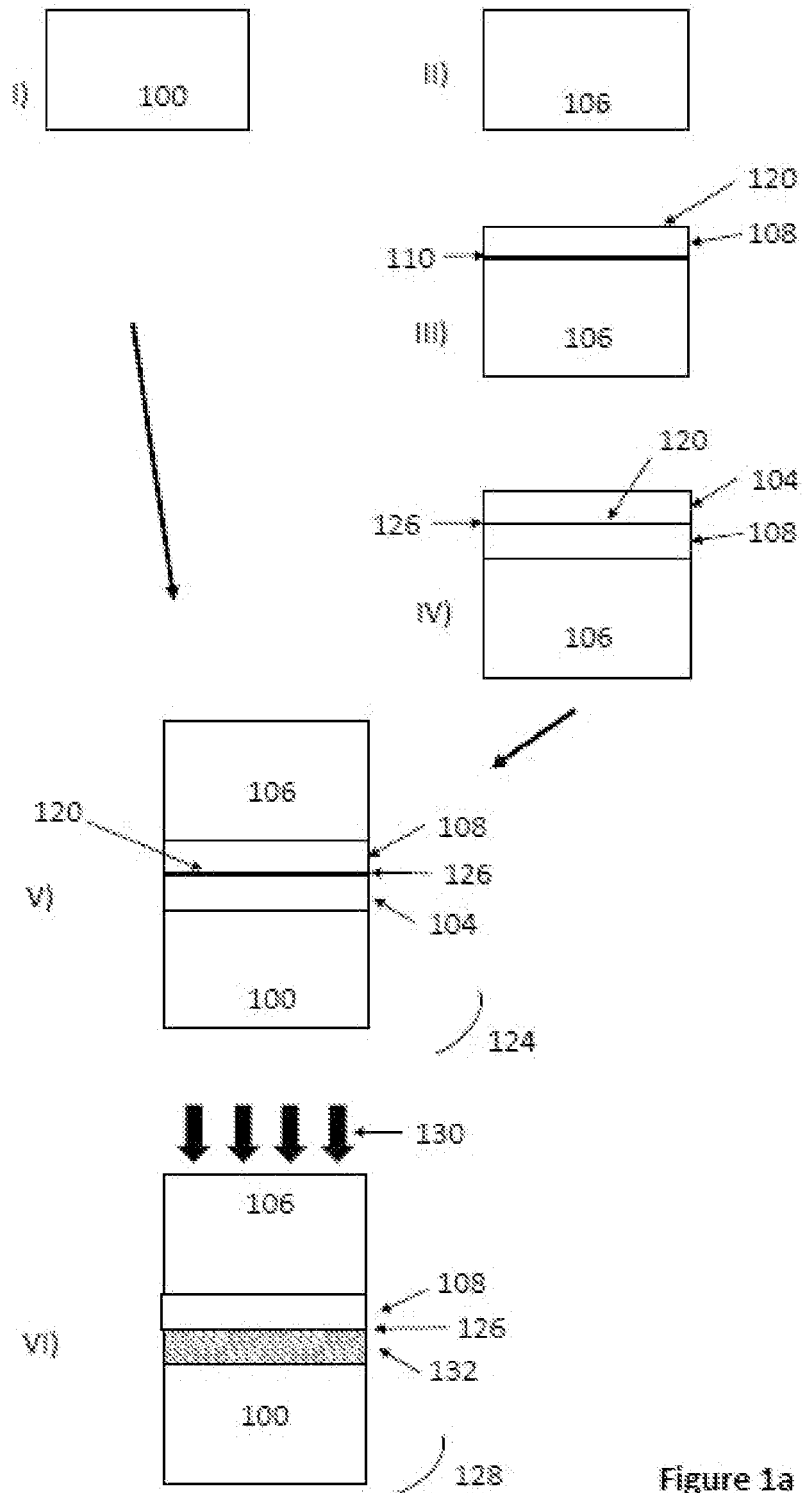


Figure 1a

[Fig. 1b]

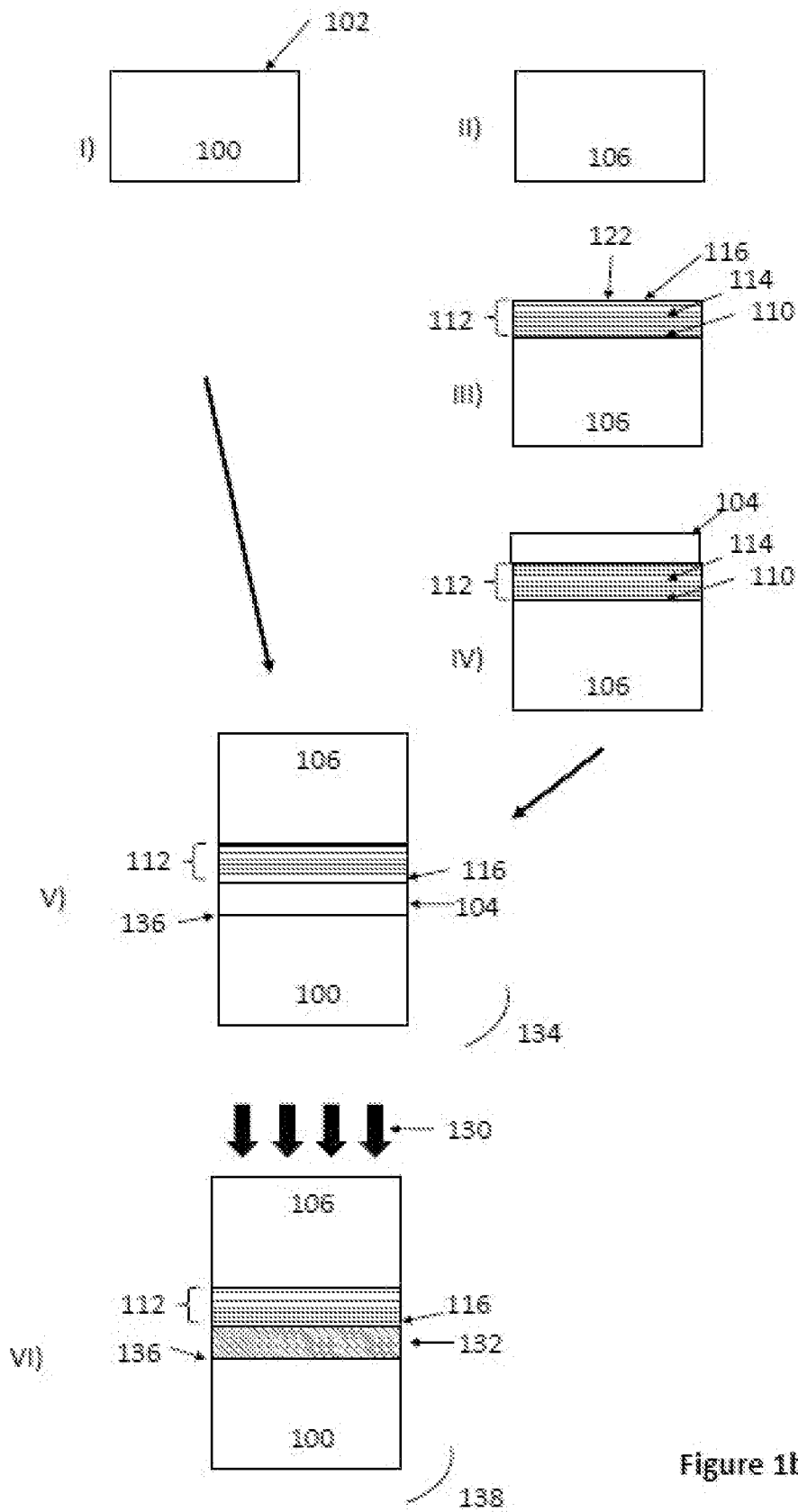


Figure 1b

[Fig. 2]

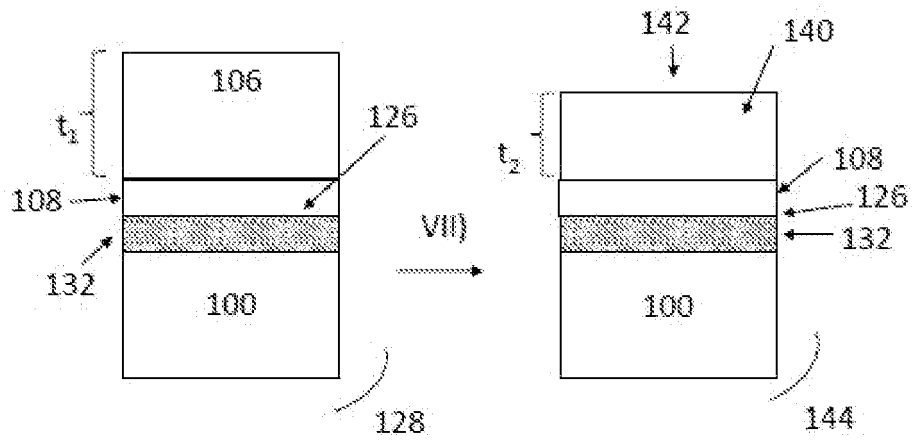


Figure 2

[Fig. 3]

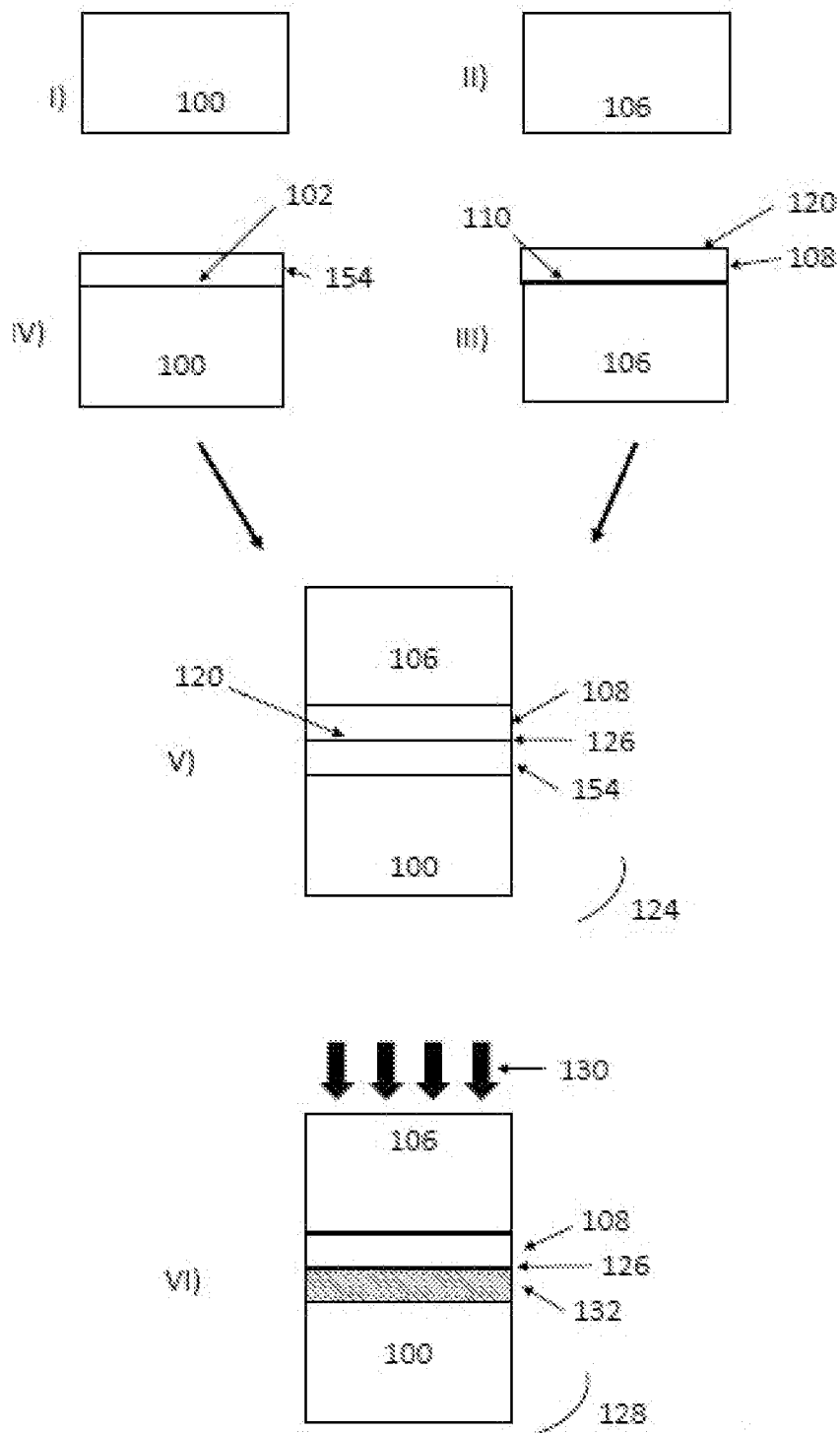


Figure 3

[Fig. 4]

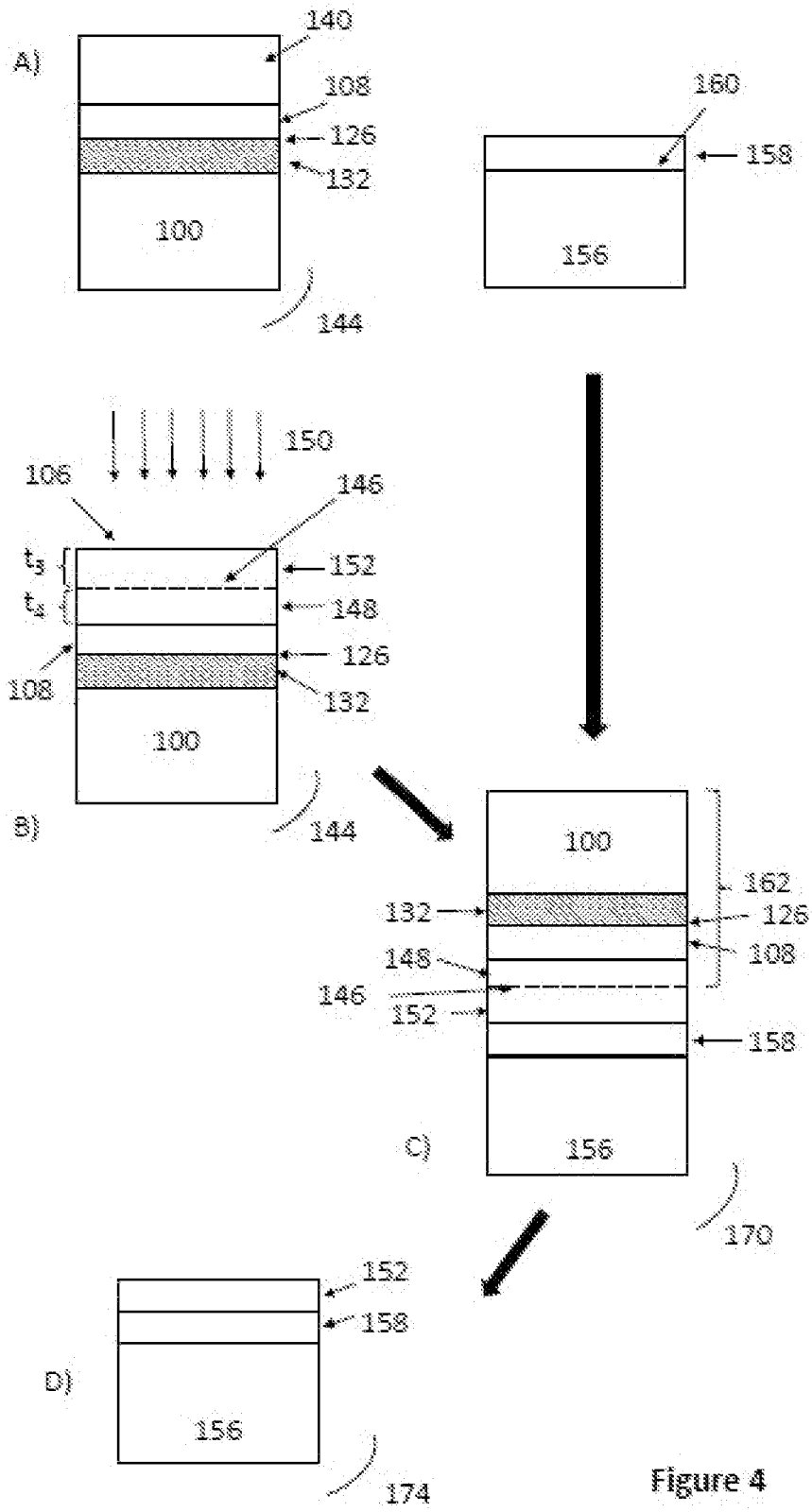


Figure 4

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2021/075389 A1 (BELHACHEMI DJAMEL [FR]  
ET AL) 11 mars 2021 (2021-03-11)

WO 2019/186032 A1 (SOITEC SILICON ON  
INSULATOR [FR])  
3 octobre 2019 (2019-10-03)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT