

(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
29 juin 2023 (29.06.2023)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/118574 A1

(51) Classification internationale des brevets :

H01L 21/02 (2006.01) H03H 3/02 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) H03H 3/08 (2006.01)
H01L 21/762 (2006.01) H03H 9/02 (2006.01)
H10N 30/073 (2023.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2022/087749

(22) Date de dépôt international :

23 décembre 2022 (23.12.2022)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2114469 23 décembre 2021 (23.12.2021) FR

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

(72) Inventeurs : **THIBERT, Sebastien** ; Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 Bernin (FR). **GAUMER, Clement** ; Parc Technologique des Fontaines, Chemin Des Franques, 38190 Bernin (FR). **CHAR-**

LES-ALFRED, Cedric ; Parc Technologique des Fontaines, Chemin Des Franques, 38190 Bernin (FR).

(74) Mandataire : **GRÜNECKER PATENT- UND RECHTSANWÄLTE PARTG MBB** ; Leopoldstr. 4, 80802 Munich (DE).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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, 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, 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,

(54) Title: METHOD FOR FABRICATING A DONOR SUBSTRATE

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT DONNEUR

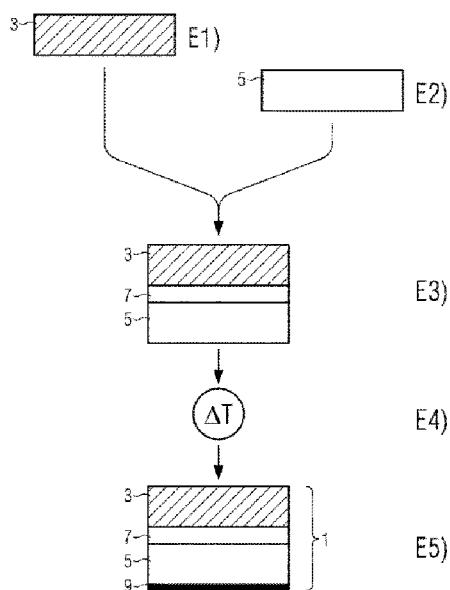


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for fabricating a donor substrate comprising the steps of A: providing a manipulation substrate, B: providing a target substrate, C: attaching the target substrate to the manipulation substrate, and D: grinding, particularly machine-grinding the target substrate attached to the manipulation substrate in order to form the donor substrate, the method being characterized in that a waiting time of predetermined duration is observed between step C and step D.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur comprenant les étapes de A: la fourniture d'un substrat de manipulation, B: la fourniture d'un substrat cible, C: l'attachement du substrat cible sur le substrat de manipulation et D: la rectification, en particulier par meulage, du substrat cible attaché sur le substrat de manipulation, pour former le substrat donneur, le procédé étant caractérisé en ce qu'un délai d'attente d'une durée prédéterminée est respecté entre l'étape C et l'étape D.

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).

Publiée:

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

Description**TITRE : PROCEDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT DONNEUR****Domaine de l'invention**

L'invention objet de la présente demande porte sur un procédé de fabrication d'un substrat donneur. L'invention trouve son application notamment dans le domaine de la fabrication de substrats multicouche, tels que par exemple des substrats piezo-on-insulator (POI) ou silicon-on-insulator (SOI).

Arrière-plan technologique de l'invention

Il est connu dans l'art de fabriquer un substrat donneur, aussi appelé pseudo-substrat donneur (PSD), qui est adapté au transfert d'une couche dudit substrat donneur sur un substrat support. Un PSD comprend typiquement au moins un substrat de manipulation, en particulier d'un matériau semi-conducteur tel que le silicium ou le saphir, et un substrat cible, dont une couche est destinée à être transférée. Un PSD est utilisé notamment dans le cadre d'une fabrication de substrat multicouche par méthode de type SmartCut®.

La mise en œuvre d'un PSD pour transfert de couche a pour avantage principal de pallier aux forces mécaniques parasites qui peuvent être induites par un différentiel de dilatation thermique entre un substrat support et une couche déposée sur le substrat support. Ainsi, en adaptant le coefficient de dilatation thermique du substrat donneur à celui du substrat support, la déformation lors de traitements thermiques peut être minimisée.

Un avantage additionnel de la mise en œuvre d'un PSD réside dans l'ergonomie de fabrication, chaque substrat donneur pouvant être réutilisé un nombre de fois pour un fournir à chaque cycle de production une nouvelle couche à un nouveau substrat support en utilisant un procédé de type SmartCut®. On parle alors de « refresh » du PSD.

Ainsi, FR 18 52573 A1 divulgue un premier procédé de fabrication d'un substrat donneur présentant une bonne tenue mécanique par polymérisation d'une couche adhésive photo-polymérisable. Ce procédé permet d'éviter de recourir à des étapes de fabrication sous haute température qui peuvent être coûteuses et engendrer des courbures des substrats.

Afin d'augmenter le rendement de production de substrats multicouches tels que des POI ou SOI, il est envisageable de réduire les défauts de qualité qui peuvent apparaître lors et à l'issue des procédés de fabrication. En particulier peuvent être observés des défauts matériels dans les substrats multicouches produits, tels que des fissurations ou amorces

de fissurations, notamment en bordure des substrats. Ces défauts peuvent prendre leur origine dans les PSD et être transférés ou apparaître sur d'autres substrats produits par le transfert d'une couche du substrat donneur sur un substrat support, par exemple lors d'une étape SmartCut®. Ainsi, l'apparition de défauts de qualité abouti dans certains cas dans un rebut de production.

Objet de l'invention

Compte tenu de ce qui précède, la présente invention a pour objectif d'apporter un procédé de fabrication de substrat donneur qui augmente la qualité de production des substrats donneurs, et abouti à la réduction de l'incidence de défauts, en particulier l'incidence de défauts observés sur des substrats multicouches finaux.

Brève description de l'invention

A cet égard, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat donneur comprenant les étapes de A : la fourniture d'un substrat de manipulation, B : la fourniture d'un substrat cible, C : l'attachement du substrat cible sur le substrat de manipulation, comprenant un collage par l'intermédiaire d'une couche adhésive, la couche adhésive étant une couche d'un matériau photo-polymérisable, en particulier une couche d'un liquide photo-polymérisable d'une épaisseur de 3µm à 8µm, et D : la rectification, en particulier par meulage, du substrat cible attaché sur le substrat de manipulation, pour former le substrat donneur. Le procédé est caractérisé en ce qu'un délai d'attente d'une durée prédéterminée est respecté entre l'étape C et l'étape D.

Selon une découverte inattendue des inventeurs, la mise en œuvre d'un délai d'attente d'une durée prédéterminée entre étapes C et D peut permettre d'aboutir à une réduction importante de la quantité de fissurations observées dans les substrats multicouches produits à partir de substrats donneurs fabriqués par le procédé objet de l'invention. En effet, le délai d'attente peut permettre aux éléments constituant le substrat donneur non-rectifié de se reposer et de gagner en robustesse. En particulier, l'effet stabilisant de la couche adhésive du matériau photo-polymérisable pour l'attachement de l'étape C peut être amplifié. Ainsi, le substrat donneur non-rectifié peut être rendu plus résistant aux contraintes mécaniques subies lors de la rectification suivante, ainsi que lors d'une étape de transfert de couches ultérieure. Par conséquent, le taux de substrats multicouches, fabriqués à partir de substrats donneurs, présentant un risque de fissuration peut être réduit et la qualité générale de la production de substrats multicouches augmentée. Par exemple, en réduisant la quantité de fissurations en bordure de substrat, la surface ou le rayon d'un substrat utilisable peut être augmentée.

Selon un aspect de l'invention, le substrat cible est un substrat piézoélectrique, en particulier un substrat piézoélectrique comprenant un matériau choisi parmi le quartz, le tantalate de lithium, le niobate de lithium, le nitrure d'aluminium, l'oxyde de zinc, l'orthophosphate de gallium, le titanate de baryum, le langasite, le langanite, le nitrure de gallium, le titano-zirconate de plomb ou le langatate.

Ainsi, le PSD obtenu par le procédé peut être utilisé pour la fabrication de substrats POI. Les substrats piézoélectriques étant particulièrement précieux en raison de leur prix élevé et applicabilité diverse, une réduction du rebut de production par le procédé inventif peut être d'autant plus avantageuse.

Selon un aspect de l'invention, le substrat de manipulation comprend un matériau choisi parmi le silicium, le saphir, le nitrure d'aluminium, le carbure de silicium ou l'arséniure de gallium.

En choisissant un de ces matériaux, le coefficient de dilatation thermique du substrat de manipulation peut être adapté avantageusement à une utilisation ultérieure du PSD pour la fabrication d'un substrat multicouche.

Selon un aspect de l'invention, la durée prédéterminée est d'au moins 24h, préférentiellement d'au moins 48h, et de préférence d'au moins 105h.

En choisissant la durée prédéterminée de telle manière, des gains particulièrement grands en qualité de substrats produites peuvent être obtenus. Par exemple peuvent être obtenus des taux de fissuration de 20% ou moins, 10% ou moins ou 5% ou moins respectivement sur des substrats multicouches obtenus à partir de substrats donneurs fabriqués par le procédé selon cet aspect de l'invention.

Selon un aspect de l'invention, la durée prédéterminée est de moins de 300h, préférentiellement de moins de 200h, et de préférence de moins de 150h.

En limitant ainsi la durée du délai d'attente, une bonne balance entre gain en qualité de production et réduction de débit de production peut être maintenue. Selon un aspect de l'invention, la durée prédéterminée est déterminée en fonction du matériau de la couche adhésive.

Ainsi le délai d'attente peut être adapté aux propriétés d'adhésion et de relaxation spécifiques à chaque matériau de couche adhésive. En particulier, cela peut permettre d'adapter précisément le délai d'attente nécessaire pour obtenir un gain en qualité de substrats produits.

Selon un aspect de l'invention, la durée prédéterminée est choisie, sur base d'une étude statistique élaborant un taux de fissuration observée sur des substrats multicouches obtenus à partir des substrats donneurs fabriqués par ce procédé selon la durée du délai d'attente respecté, de manière à ce que ladite durée corresponde à la durée nécessaire pour obtenir un taux de fissuration de 20% ou moins, en particulier de 10% ou moins, ou encore plus en particulier de 5% ou moins. En particulier, l'étude statistique peut résulter d'essais comprenant au moins 500 substrats donneurs fabriqués, par exemple sous forme de plaquettes ou « wafer » selon la terminologie anglo-saxonne.

En basant la durée du délai d'attente sur une telle étude statistique, le procédé peut être adapté encore plus précisément à un objectif recherché de qualité de substrat donneur produit.

Selon un aspect de l'invention, le délai d'attente est respecté dans les conditions ambiantes. Ainsi sont évités les coûts et l'encombrement d'équipements de contrôle environnemental et l'effet de l'invention peut être obtenu.

Un autre objet de l'invention porte sur un procédé de transfert d'une couche d'un substrat donneur sur un substrat support, comprenant les étapes de A : la fourniture d'un substrat donneur obtenu par la mise en œuvre d'un aspect du procédé décrit précédemment, B: la formation d'une zone de fragilisation dans le substrat cible de manière à délimiter la couche du substrat cible à transférer, C : la fourniture d'un substrat support, notamment comprenant un matériau correspondant à un matériau du substrat de manipulation, D : l'attachement du substrat donneur sur le substrat support, et E : la fracture et la séparation du substrat donneur le long de la zone de fragilisation.

La mise en œuvre de ce procédé peut permettre d'obtenir un substrat multicouche avec une incidence de défauts matériels réduite, tel qu'élaboré précédemment : en mettant en place un délai d'attente d'une durée prédéterminée, la qualité des substrats donneurs obtenus peut être augmentée. En conséquence, la couche du substrat cible transférée sur le substrat support est elle aussi d'une plus haute qualité.

La combinaison du procédé de fabrication d'un substrat donneur avec ce procédé de transfert d'une couche d'un substrat donneur est particulièrement avantageuse car le substrat donneur fracturé, c'est-à-dire le reste de substrat donneur subsistant après l'étape E, peut être réutilisé. Ainsi, par exemple dans le cadre de « refresh » d'un procédé de type SmartCut®, le même substrat donneur résiduel peut, dans un cycle de production subséquent, être préparé pour transférer une autre couche du substrat cible vers un autre substrat support.

Brève description des dessins

Les objets, caractéristiques et avantages de l'invention telle qu'exposée ci-dessus seront plus exhaustivement compris et appréciés par l'étude de la description suivante plus détaillée concernant l'invention, ainsi que des dessins annexés.

La Figure 1 représente schématiquement les étapes successives d'un procédé de fabrication d'un substrat donneur selon un mode de réalisation de l'invention.

La Figure 2 représente schématiquement les étapes successives d'un procédé de transfert d'une couche selon un mode de réalisation de l'invention.

Pour des raisons de lisibilité des figures, les éléments illustrés ne sont pas nécessairement représentés à l'échelle, ni relativement les uns aux autres, ni dans leurs dimensions cartésiennes relatives.

La Figure 3 montre un graphe extrait de résultats d'essais effectués dans le cadre de l'optimisation du procédé de fabrication.

Description détaillées des dessins

Un mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un substrat donneur 1 selon l'invention est décrit en référence à la Figure 1. La Figure 1 illustre schématiquement les étapes successives de la fabrication du substrat donneur 1.

Le procédé comprend une étape E1 de fourniture d'un substrat de manipulation 3, aussi appelé « handle substrate » selon la désignation anglo-saxonne. Le substrat de manipulation 3 peut comprendre un matériau choisi parmi le silicium (Si), le saphir (Al_2O_3), le nitrure d'aluminium (AlN), le carbure de silicium (SiC), l'arséniure de gallium (GaAs), le quartz (SiO_2), ou un autre verre.

Le procédé comprend une étape E2 de fourniture d'un substrat cible 5. Le substrat cible 5 est un substrat qui a vocation à être ultérieurement transféré au moins en partie sur un substrat support.

Selon une réalisation du procédé, le substrat cible 5 peut être un substrat piézoélectrique. Par exemple, le substrat cible 5 peut comprendre un matériau choisi parmi le LTO ($\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$), le quartz (SiO_2), le tantalate de lithium (LiTaO_3), le niobate de lithium (LiNbO_3), le nitrure d'aluminium (AlN), l'oxyde de zinc (ZnO), l'orthophosphate de gallium (GaPO_4), le titanate de baryum (BaTiO_3), le langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), le langanite ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$),

le nitrure de gallium (GaN), le titano-zirconate de plomb (PZT) ou le langatate ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$). Ces matériaux sont particulièrement adaptés aux applications à onde élastique de volume (BAW) ou de surface (SAW), telle qu'un capteur SAW ou un filtre BAW sur base de POI.

Selon une autre réalisation, le substrat cible 5 peut être un substrat comprenant un matériau semi-conducteur tel que le silicium (Si), le saphir (Al_2O_3), le nitrure d'aluminium (AlN), le carbure de silicium (SiC), l'arséniure de gallium (GaAs), le quartz (SiO_2), ou un autre verre.

Dans une étape E3, le substrat cible 5 est attaché sur le substrat de manipulation 3. Dans ce mode de réalisation, l'attachement de l'étape E3 est exécuté par collage, notamment par collage par l'intermédiaire d'une couche adhésive 7. De préférence est employée une couche adhésive d'un matériau photo-polymérisable. Un tel matériau peut être polymérisé lors de son irradiation par un flux lumineux. A titre exemplaire peut être formé dans cette étape une couche adhésive 7 d'une épaisseur de 3 μm à 8 μm du produit commercialisé sous la référence « NOA 61 » par la société NORLAND PRODUCTS, puis soumise à un rayonnement UV à travers la surface exposée du substrat cible 5 attaché au substrat de manipulation 3.

Selon l'invention et contrairement aux procédés connus dans l'art de fabrication d'un substrat donneur, le procédé continue avec une étape E4 lors de laquelle le procédé de fabrication est interrompu pendant un délai d'attente d'une durée prédéterminée. La durée d'attente est d'au moins 24h, et de préférence de 105h.

Le délai d'attente est respecté dans les conditions ambiantes. C'est-à-dire, pendant l'attente, le substrat cible 5 attaché sur le substrat de manipulation 3 est préservé à une température ambiante, notamment entre 20°C et 26°C de température, et à une pression ambiante, notamment entre 950 hPa et 1030 hPa de pression.

Finalement, le substrat cible 5 attaché au substrat de manipulation 3 est soumis à une étape E5 de rectification. Par rectification est entendu un traitement de surface visant à réduire la rugosité de la surface 9 exposée du substrat cible 5 attaché au substrat de manipulation 3. La rectification est effectuée de préférence par meulage ou par planarisation mécano-chimique, ou CMP selon le terme anglais « Chemical-mechanical polishing ».

Dans un exemple, la rectification peut comprendre une succession de multiples étapes de meulage et/ou de CMP. En variante, la rectification peut comprendre une ou plusieurs

étapes de gravure sèche, par exemple de gravure ionique réactive, ou RIE selon le terme anglais « Reactive ion etching ».

Ce procédé de fabrication permet d'aboutir à un substrat donneur qui résout le problème de l'invention. L'utilisation d'un substrat de manipulation 3 est avantageuse par exemple pour fabriquer un substrat SOI ou POI, car, contrairement à des méthodes conventionnelles telles que la croissance épitaxiale, elle permet d'éviter des déformations induites par des hautes températures lors de traitements thermiques.

Le collage par couche adhésive 7 dans l'étape E3 assure une cohésion mécanique satisfaisante des deux substrats collés. En utilisant un matériau photo-polymérisable, l'attachement peut être effectué sans recourir à un collage sous haute température, par exemple à plus de 200°C.

La rectification dans l'étape E5 permet d'obtenir une surface qui est suffisamment lisse et de planéité uniforme pour un transfert ultérieur d'une couche sur un substrat support, par exemple en utilisant un procédé de type SmartCut®.

De manière inattendue, les inventeurs ont découvert que moins de défauts sont observés lorsque les substrats donneurs 1 ont subi le délai d'attente entre l'étape E3 d'attachement et l'étape E5 de rectification. L'effet est particulièrement avantageux en comparaison avec des substrats multicouches, par exemple des POI ou SOI, obtenus avec des substrats donneurs 1 fabriqués sans respect de délai d'attente. En effet, le délai d'attente permet aux éléments constituant du substrat donneur 1 non-rectifié, c'est-à-dire du substrat cible 5 attaché sur le substrat de manipulation 3, de gagner en robustesse, avant de subir la rectification, et notamment avant de subir une étape ultérieure de transfert de couche lors que la fabrication d'un substrat multicouche, par exemple de type SOI ou POI par SmartCut®. Ainsi, le substrat donneur non-rectifié est rendu plus résistant aux contraintes mécaniques subies lors de l'étape de la rectification ou lors d'un transfert de couche ultérieur. Par conséquent, le nombre de substrats donneurs 1 fabriqués susceptibles de mener à des défauts, et notamment de donner lieu à des fissurations, à l'issue du transfert d'une couche du substrat cible, est réduit et la qualité générale de la production augmentée.

Un procédé de transfert d'une couche d'un substrat donneur sur un substrat support selon un mode de réalisation de l'invention est décrit en référence à la Figure 2. Le procédé décrit concerne un substrat donneur 1 obtenu selon le procédé décrit dans la Figure 1.

Le procédé de transfert d'une couche commence par une étape E11 de fourniture du substrat donneur 1 issu de l'étape E4 du procédé de fabrication selon le mode de réalisation de l'invention de la Figure 1.

Ensuite, une zone de fragilisation 11 est formée dans le substrat cible 5 du substrat donneur 1 dans une étape E12. La zone 11 est formée de manière à délimiter une couche 13 du substrat cible 5 à transférer. La couche 13 est délimitée dans le substrat cible 5 par la zone de fragilisation 11 d'une part, et par la surface rectifiée 9 d'autre part. La zone de fragilisation 11 est de préférence formée par implantations d'ions, par exemple d'ions d'hydrogène ou d'un gaz rare, tel que l'hélium. La dose d'ions, la distribution de la dose d'ions, et l'énergie d'implantation des ions peuvent varier et déterminent les propriétés de la zone de fragilisation 11 formée. La profondeur de la zone de fragilisation 11 dans le substrat cible 5 détermine l'épaisseur de la couche 13 à transférer.

Un substrat support 15 est fourni dans une étape E13. Le substrat support 15 peut comprendre de préférence un matériau choisi parmi le silicium (Si), le saphir (Al_2O_3), le nitrure d'aluminium (AlN), le carbure de silicium (SiC), l'arséniure de gallium (GaAs), le quartz (SiO_2), ou un autre verre. Le substrat support présente une surface principale 17.

De préférence, le matériau du substrat de manipulation 3 du substrat donneur 1 a été choisi de manière à présenter une valeur de coefficient de dilatation thermique équivalente ou similaire à la valeur de coefficient de dilatation thermique du substrat support 15, sur lequel la couche 13 est destinée à être transférée. Une valeur de coefficient similaire correspond typiquement à une valeur comprise entre +10% et -10% de la valeur référence.

Ainsi, pour obtenir une valeur de coefficient de dilatation thermique convenable, le substrat support 15 et le substrat de manipulation 3 est de préférence constitué d'un même matériau.

Dans l'étape E14, le substrat donneur 1 est attaché sur le substrat support 15. Le substrat donneur 1 est attaché en attachant la surface rectifiée 9 le long de la surface principale 17 du substrat support 15, formant un complexe 19.

L'attachement peut être effectué par exemple par collage par l'intermédiaire d'une couche diélectrique déposée sur au moins une des deux surfaces 9, 17 à coller. La couche diélectrique peut être par exemple une couche de verre déposée par centrifugation sur le substrat cible 5 selon la méthode spin-on glass (SOG). L'attachement peut être renforcé en soumettant la surface à coller, sur laquelle la couche diélectrique n'a pas été déposée,

à un traitement adapté pour permettre ultérieurement un collage moléculaire hydrophile avec la surface sur laquelle la couche diélectrique a été déposée. L'attachement peut aussi être renforcé par un recuit thermique de densification, par exemple à une température d'environ 250°C. Dans ce cas, les forces mécaniques parasites induites par un différentiel de dilation thermique entre substrat support 15 et substrat cible 5 sont au moins partiellement palliées par l'attachement du substrat cible 5 au substrat de manipulation 3, du côté opposé au substrat support 15. Ainsi, les coefficients de dilatation thermique des substrats 3 et 15 de part et d'autre du substrat cible 5 sont similaires.

Ensuite, dans l'étape E15, le complexe 19 du substrat donneur 1 comprenant le substrat cible 5 fragilisé, attaché au substrat support 15, est fracturé le long de la zone de fragilisation 11 et séparé en deux parties : d'une part le substrat multicouches 21 final, tel qu'un substrat POI ou SOI, comprenant le substrat support 15 sur lequel la couche 13 délimitée du substrat cible 5 a été transférée, et d'autre part le reste du substrat donneur après l'étape de fracturation, désigné substrat donneur fracturé 23.

Le substrat donneur fracturé 23 peut être remis en état, ou rafraîchi, « refreshed » selon la terminologie anglo-saxonne, afin d'être resoumise à l'étape E12 de formation d'une zone de fragilisation 11. Ainsi les étapes E12, E13, E14, et E15 peuvent être répétées un nombre de fois à base d'un seul substrat donneur 1 original fourni, afin de réaliser plusieurs substrats multicouches 21 finaux, tels que des POI ou SOI. Le nombre de « refresh » possible par substrat donneur 1 est limité par l'épaisseur du substrat cible 5 du substrat donneur 1, dont une couche 13 est enlevée à chaque itération de « refresh ». Par contre, des défauts matériels présents dans le substrat cible 5 du substrat donneur 1 fourni dans l'étape E11 y demeurent, voir deviennent plus importants tout au long du procédé décrit en référence à la Figure 2. Ces défauts sont transmis à l'étape E14 à chaque cycle sur le substrat support 15 par la couche 13 transférée. Une augmentation de qualité générale du substrat donneur 1 fourni dans l'étape E11 se cascade donc positivement sur tous les produits issus du procédé.

La Figure 3 reproduit graphiquement les résultats d'observation de fissurations sur un échantillon de substrats multicouches 21, par exemple POI ou SOI, fabriqués par le mode de réalisation du procédé de l'invention décrit ci-dessus. L'échantillon de la Figure 3 comprend 818 substrats donneurs 1 qui ont été fabriqués par le procédé de la Figure 1 en respectant des délais d'attente variés, allant jusqu'à une durée de 300h. Les substrats de l'échantillon comprennent un substrat de manipulation 3 en silicium (Si), un substrat cible 5 en LTO ($\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$) et une couche adhésive 7 en NOA 61.

La Figure 3 montre un graphe concernant un échantillon de substrats multicouches 21 finaux suite à l'étape E15 du procédé de la Figure 2 dans un premier cycle de production. Le substrat donneur 1, à partir duquel l'échantillon de substrats 21 a été produit, n'a donc pas encore été soumis à un « refresh » dans le cadre d'un procédé SmartCut®. Chaque point sur le graphe correspond à un substrat multicouches 21 de l'échantillon pour lequel l'état de qualité, c'est-à-dire la présence ou absence de défauts matériels, a été observé et enregistré en fonction du délai d'attente respecté à l'étape E5 du procédé de fabrication du substrat donneur 1 de l'étape E11.

Ainsi, l'échantillon de substrats multicouches vérifiés est classifié et quantifié en trois groupes : sans défaut matériel (S), présentant une amorce de fissuration (A), et présentant une fissuration (F). Une amorce de fissuration est une fissuration qui ne traverse pas l'épaisseur du substrat.

Ainsi peuvent être déterminés, en fonction du délai d'attente respecté lors de la fabrication du substrat donneur 1, le taux d'absence de défaut matériel $T_a = S/(S+A+F)$ et le taux d'absence de fissuration $T_b = (S+A)/(S+A+F)$. Dans la Figure 3, T_a est représenté par la référence 31 et T_b par la référence 33. Les courbes 31 et 33 représentant les taux T_a et T_b sont obtenus par une régression non linéaire des résultats statistiques des observations.

En étudiant les courbes 31 et 33 de la Figure 3, il est apparent que plus la durée du délai d'attente de l'étape E4 respecté est longue, plus les taux T_a et T_b de substrats multicouches fabriqués sans défaut, respectivement sans fissuration, est haut. Ainsi, plus le délai d'attente est prolongé, plus la qualité de production obtenue augmente.

La Figure 3 permet d'identifier que de manière générale, le taux d'incidence de défaut matériel $T_i (= 1 - T_a)$ peut être réduit en choisissant une durée prédéterminée d'au moins 24 h, préférentiellement d'au moins 48 h, et de préférence d'au moins 105 h. Ces valeurs permettent d'obtenir des gains particulièrement grands en qualité de substrats produits. Ainsi peuvent être lus dans le graphe de la Figure 3 des taux T_a d'absence de défaut matériel de l'ordre de 68%, 75% ou 81% pour ces délais de 24h, 48h et 105h respectivement. Par ailleurs peuvent être lus dans le graphe de la Figure 3 des taux de fissuration $T_f (= 1 - T_b)$ d'approximativement 20%, 10%, et 5% pour ces délais de 24h, 48h et 105h respectivement, tel qu'identifié par la référence 35.

Par exemple, cette étude permet lire par la référence 37 qu'en respectant un délai d'attente de 105 h lors de l'étape E4, un gain de qualité de 21%, par rapport au niveau de défaut matériel sans respect de délai d'attente, est acquis.

En même temps, il est aussi apparent des courbes 31 et 33 de la Figure 3 que l'augmentation du gain en qualité de substrats donneurs fabriqués diminue plus le délai d'attente respecté est long. Or, il est préférable de ne pas interrompre les lignes de production et de retarder la production d'un substrat donneur trop longtemps. Ainsi, il est préférable de limiter le temps d'attente à au plus 300h, préférentiellement à au plus 200h, et de préférence à au plus 150h. En limitant ainsi la durée du délai d'attente, une bonne balance entre gain de qualité et ralentissement du flux de production peut être maintenue.

Selon une variante de l'invention, la durée prédéterminée de l'étape E4 peut être choisie, sur base des courbes 31 ou 33 élaborées par l'étude statistique représentée par la Figure 3. Par exemple un objectif de qualité peut être fixé, et la durée du délai d'attente à respecter peut être lu sur la courbe 31 ou 33 concernées. Par exemple, en fixant un objectif qualité d'un taux de fissuration de au plus 3%, il suffit d'identifier le délai d'attente correspondant à la valeur $T_b = 97\%$, qui correspond en l'occurrence à un délai 105 h. En ainsi basant la durée du délai d'attente sur les résultats de l'étude, le procédé est précisément adapté à l'objectif qualité désiré.

Alternativement, le temps d'attente prédéterminé de E4 peut être déterminé grâce une analyse du gradient des courbes 31 ou 33. Par exemple, la tangente de la courbe 31 à $x=0h$, ou alors l'extrapolation linéaire du taux T_a d'absence de défaut matériel entre $x=0h$ et $x=1h$, peut être déterminée, comme indiqué par la référence 39. La tangente 39 peut être croisée avec l'asymptote 41 du taux T_a correspondant pour obtenir un délai d'attente de 70 h pour une valeur T_b de 90% ou T_a de 78% de substrat multicouches 21.

Selon un mode de réalisation décrit ci-dessus en référence à la Figure 1, l'attachement du substrat cible sur le substrat de manipulation comprend une étape de collage par couche adhésive. Dans ce cas, il est approprié d'adapter la durée du délai d'attente au matériau de la couche adhésive, en particulier aux propriétés d'adhésion et de relaxation spécifiques au matériau de la couche adhésive choisie. Par exemple, un coefficient comparatif peut être élaboré comparant le matériau de la couche adhésive choisie avec le mode d'attachement choisi dans un cas référence. Le coefficient comparatif peut alors servir à adapter la durée du délai d'attente choisie pour la fabrication du substrat donneur

plus précisément. Cela permet d'adapter précisément le délai d'attente nécessaire pour obtenir un gain maximal en qualité de substrats multicouches 21, en particulier de POI ou de SOI, produits.

Ainsi, en fournissant un substrat donneur selon l'invention, par exemple un substrat donneur 1 obtenu selon le procédé décrit en référence à la Figure 1, le procédé de transfert d'une couche peut aussi être amélioré et fournir des substrats multicouches plus qualitatifs. Par exemple, en employant la méthode SmartCut[®] peuvent être obtenus des substrats SOI et POI commerciaux avec un plus haut rendement en vertu de la réduction de défauts matériels observés.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un substrat donneur, comprenant les étapes suivantes :

A : la fourniture d'un substrat de manipulation (3),

B : la fourniture d'un substrat cible (5),

C : l'attachement du substrat cible (5) sur le substrat de manipulation (3),
comprenant un collage par l'intermédiaire d'une couche adhésive (7), la couche adhésive (7) étant une couche d'un matériau photo-polymérisable, en particulier une couche d'un liquide photo-polymérisable d'une épaisseur de 3 μm à 8 μm ,

D : la rectification, en particulier par meulage, du substrat cible (5) attaché sur le substrat de manipulation (3), pour former le substrat donneur (1),

ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'**un délai d'attente d'une durée prédéterminée est respecté entre l'étape C et l'étape D.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le substrat cible (5) est un substrat piézoélectrique, en particulier un substrat piézoélectrique comprenant un matériau choisi parmi le quartz, le tantalate de lithium, le niobate de lithium, le nitrure d'aluminium, l'oxyde de zinc, l'orthophosphate de gallium, le titanate de baryum, le langasite, le langanite, le nitrure de gallium, le titano-zirconate de plomb ou le langatate.
3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le substrat de manipulation (3) comprend un matériau choisi parmi le silicium, le saphir, le nitrure d'aluminium, le carbure de silicium, ou l'arséniure de gallium.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la durée prédéterminée est d'au moins 24 h, préférentiellement d'au moins 48 h, et de préférence d'au moins 105 h.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la durée prédéterminée est de moins de 300 h, préférentiellement de moins de 200 h, et de préférence de moins de 150 h.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la durée prédéterminée est déterminée en fonction du matériau de la couche adhésive (7).
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la durée prédéterminée est choisie, sur base d'une étude statistique, en particulier d'une étude résultant d'essais comprenant au moins 500 substrats donneurs (1), élaborant un taux de fissuration observée sur des substrats multicouches (21) obtenus à partir des substrats donneurs (1) selon la durée du délai d'attente respecté, de manière à ce ladite durée corresponde à la durée nécessaire pour obtenir un taux de fissuration de 20% ou moins, en particulier de 10% ou moins, ou encore plus en particulier de 5% ou moins.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le délai d'attente est respecté dans les conditions ambiantes.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel l'étape C comprend la polymérisation de la couche adhésive lors de son irradiation par un flux lumineux.
10. Procédé de transfert d'une couche d'un substrat donneur (1) sur un substrat support (15), comprenant les étapes suivantes :

A : la fourniture d'un substrat donneur (1) obtenu par la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 9 ;

B : la formation d'une zone de fragilisation (11) dans le substrat cible (5) de manière à délimiter la couche (13) du substrat cible (5) à transférer ;

C : la fourniture d'un substrat support (15), notamment comprenant un matériau correspondant à un matériau du substrat de manipulation (3)

D : l'attachement du substrat donneur (1) sur le substrat support (15)

E : la fracture et la séparation du substrat donneur (1) le long de la zone de fragilisation (11).

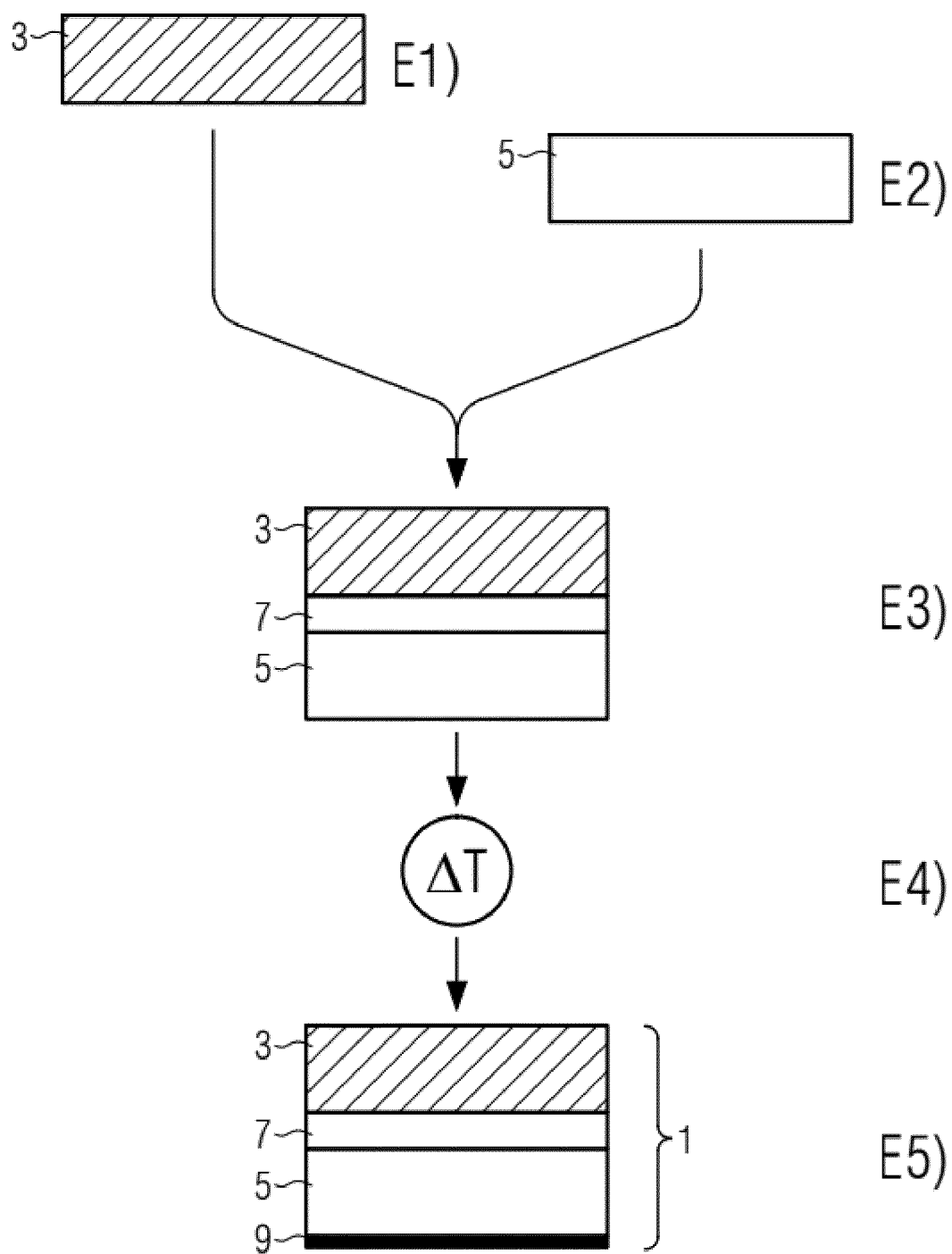


FIG. 1

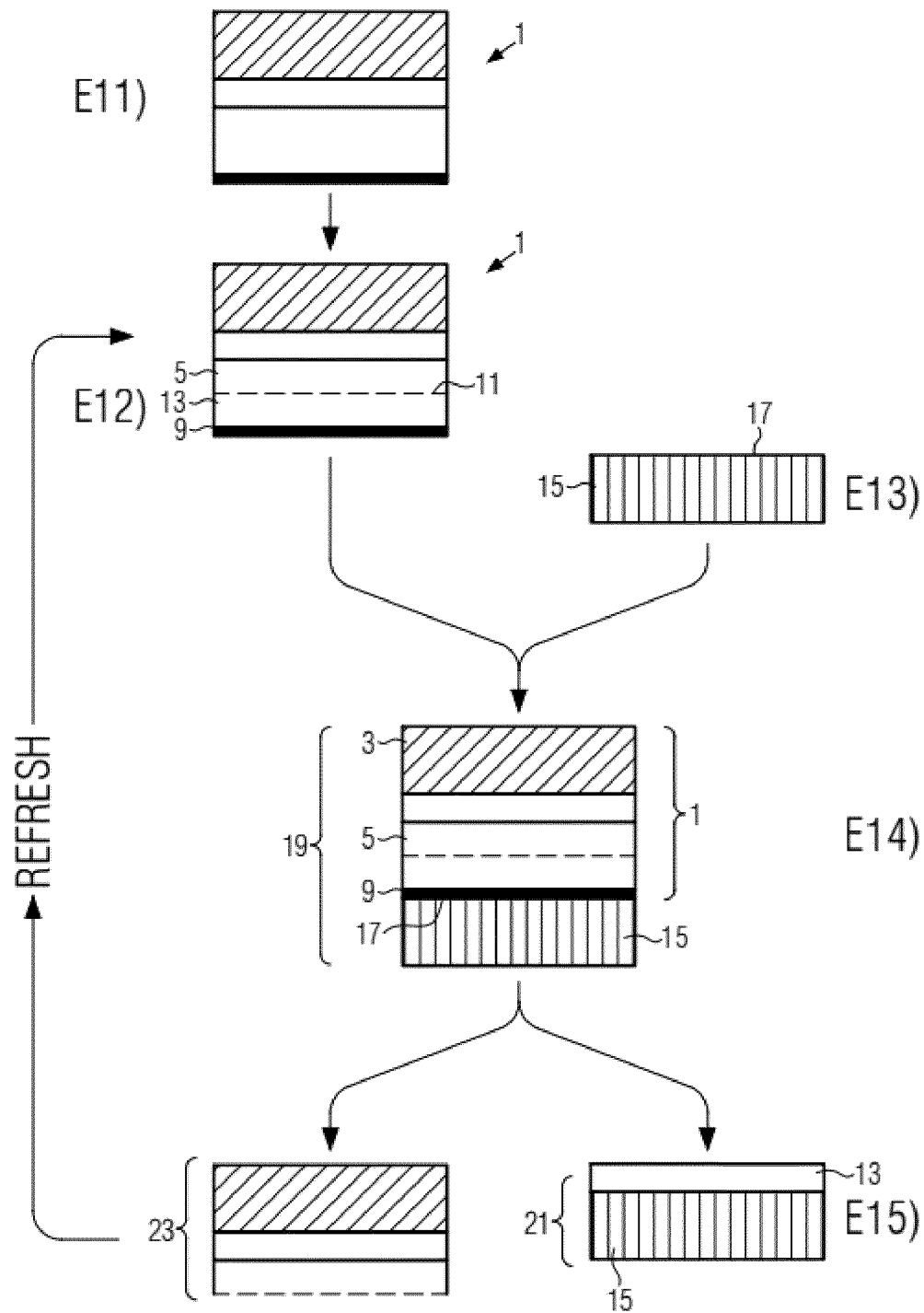


FIG. 2

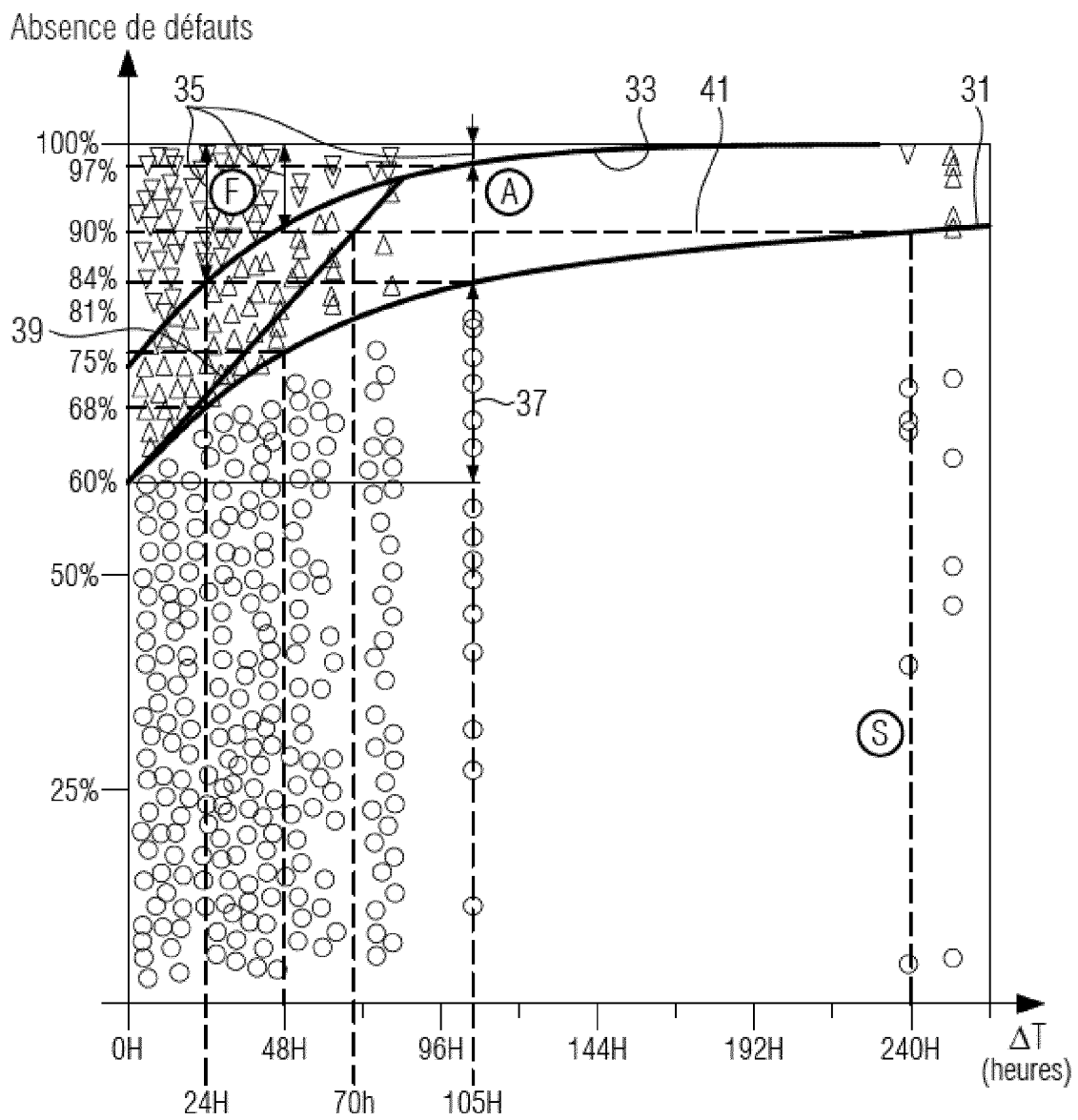


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/087749**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H01L 21/02(2006.01)i; **H01L 21/20**(2006.01)i; **H01L 21/762**(2006.01)i; **H10N 30/073**(2023.01)i; **H03H 3/02**(2006.01)n;
H03H 3/08(2006.01)n; **H03H 9/02**(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L; H10N

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 2019186032 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 03 October 2019 (2019-10-03) page 5, line 36 - page 10, line 9; figures 1-8	1-10
X	WO 2019186053 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 03 October 2019 (2019-10-03) page 2 - page 10, line 9	1-9
X	JP 2005229455 A (SHINETSU CHEMICAL CO) 25 August 2005 (2005-08-25) paragraphs [0019], [0020], [0023], [0024], [0027]; figure 1; example 1	1-9



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

07 March 2023

Date of mailing of the international search report

15 March 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Szarowski, Anne

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/087749

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2019186032	A1	03 October 2019	CN	111919290	A	10 November 2020
				EP	3776641	A1	17 February 2021
				FR	3079346	A1	27 September 2019
				JP	2021519536	A	10 August 2021
				KR	20200135411	A	02 December 2020
				SG	11202009335R	A	29 October 2020
				US	2021020826	A1	21 January 2021
				WO	2019186032	A1	03 October 2019
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
				KR	20200136427	A	07 December 2020
				SG	11202009404S	A	29 October 2020
				US	2021075389	A1	11 March 2021
				WO	2019186053	A1	03 October 2019
JP	2005229455	A	25 August 2005	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2022/087749

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. **H01L21/02** **H01L21/20** **H01L21/762** **H10N30/073**
ADD. **H03H3/02** **H03H3/08** **H03H9/02**

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H01L H10N

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 2019/186032 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 3 octobre 2019 (2019-10-03) page 5, ligne 36 – page 10, ligne 9; figures 1-8 -----	1-10
X	WO 2019/186053 A1 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 3 octobre 2019 (2019-10-03) page 2 – page 10, ligne 9 -----	1-9
X	JP 2005 229455 A (SHINETSU CHEMICAL CO) 25 août 2005 (2005-08-25) alinéas [0019], [0020], [0023], [0024], [0027]; figure 1; exemple 1 -----	1-9

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

7 mars 2023

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

15/03/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Szarowski, Anne

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2022/087749

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2019186032 A1	03-10-2019	CN 111919290 A	10-11-2020
		EP 3776641 A1	17-02-2021
		FR 3079346 A1	27-09-2019
		JP 2021519536 A	10-08-2021
		KR 20200135411 A	02-12-2020
		SG 11202009335R A	29-10-2020
		US 2021020826 A1	21-01-2021
		WO 2019186032 A1	03-10-2019

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
		WO 2019186053 A1	03-10-2019

JP 2005229455 A	25-08-2005	AUCUN	
