

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT DONNEUR.

②② Date de dépôt : 23.12.21.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

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

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 30.06.23 Bulletin 23/26.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.04.25 Bulletin 25/17.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : Thibert Sebastien, Gaumer Clement et
Charles-Alfred Cedric.

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

⑦④ Mandataire(s) : IP TRUST.



Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT DONNEUR

Domaine de l'invention

- [0001] 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

- [0002] 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®.
- [0003] 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.
- [0004] 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.
- [0005] 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.
- [0006] 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

[0007] 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

[0008] 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.

[0009] 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 du 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.

[0010] 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.

- [0011] 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.
- [0012] 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.
- [0013] 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.
- [0014] 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.
- [0015] 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.
- [0016] 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.
- [0017] 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.
- [0018] 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.
- [0019] 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.

- [0020] 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.
- [0021] 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.
- [0022] 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.
- [0023] 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.
- [0024] 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

- [0025] 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.
- [0026] La [Fig.1] représente schématiquement les étapes successives d'un procédé de fabrication d'un substrat donneur selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0027] La [Fig.2] représente schématiquement les étapes successives d'un procédé de transfert d'une couche selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0028] 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 di-

mensions cartésiennes relatives.

- [0029] La [Fig.3] montre un graphe extrait de résultats d'essais effectués dans le cadre de l'optimisation du procédé de fabrication.

Description détaillées des dessins

- [0030] Un mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un substrat donneur 1 selon l'invention est décrit en référence à la [Fig.1]. La [Fig.1] illustre schématiquement les étapes successives de la fabrication du substrat donneur 1.
- [0031] 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.
- [0032] 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.
- [0033] Selon une réalisation du procédé, le substrat cible 5 peut être un substrat piézo-électrique. 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.
- [0034] 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.
- [0035] 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.
- [0036] 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.

- [0037] 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.
- [0038] 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 ».
- [0039] 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.
- [0040] 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.
- [0041] 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®.
- [0042] 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.

[0043] 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 [Fig.2]. Le procédé décrit concerne un substrat donneur 1 obtenu selon le procédé décrit dans la [Fig.1].

[0044] 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 [Fig.1].

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

- [0051] 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.
- [0052] 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 [Fig.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.
- [0053] La [Fig.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 [Fig.3] comprend 818 substrats donneurs 1 qui ont été fabriqués par le procédé de la [Fig.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.

- [0054] La [Fig.3] montre un graphe concernant un échantillon de substrats multicouches 21 finaux suite à l'étape E15 du procédé de la [Fig.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.
- [0055] 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.
- [0056] 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 [Fig.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.
- [0057] En étudiant les courbes 31 et 33 de la [Fig.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.
- [0058] La [Fig.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 [Fig.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 [Fig.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.
- [0059] 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.
- [0060] En même temps, il est aussi apparent des courbes 31 et 33 de la [Fig.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.

[0061] 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 [Fig.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.

[0062] 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.

[0063] Selon un mode de réalisation décrit ci-dessus en référence à la [Fig.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.

[0064] Ainsi, en fournissant un substrat donneur selon l'invention, par exemple un substrat donneur 1 obtenu selon le procédé décrit en référence à la [Fig.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

- [Revendication 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 , et étant polymérisée lors de son irradiation par un flux lumineux,
- 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.
- [Revendication 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.
- [Revendication 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.
- [Revendication 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.
- [Revendication 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.
- [Revendication 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).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la durée prédé-

terminée 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.

[Revendication 8]

Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le délai d'attente est respecté dans les conditions ambiantes.

[Revendication 9]

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 8 ;

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]

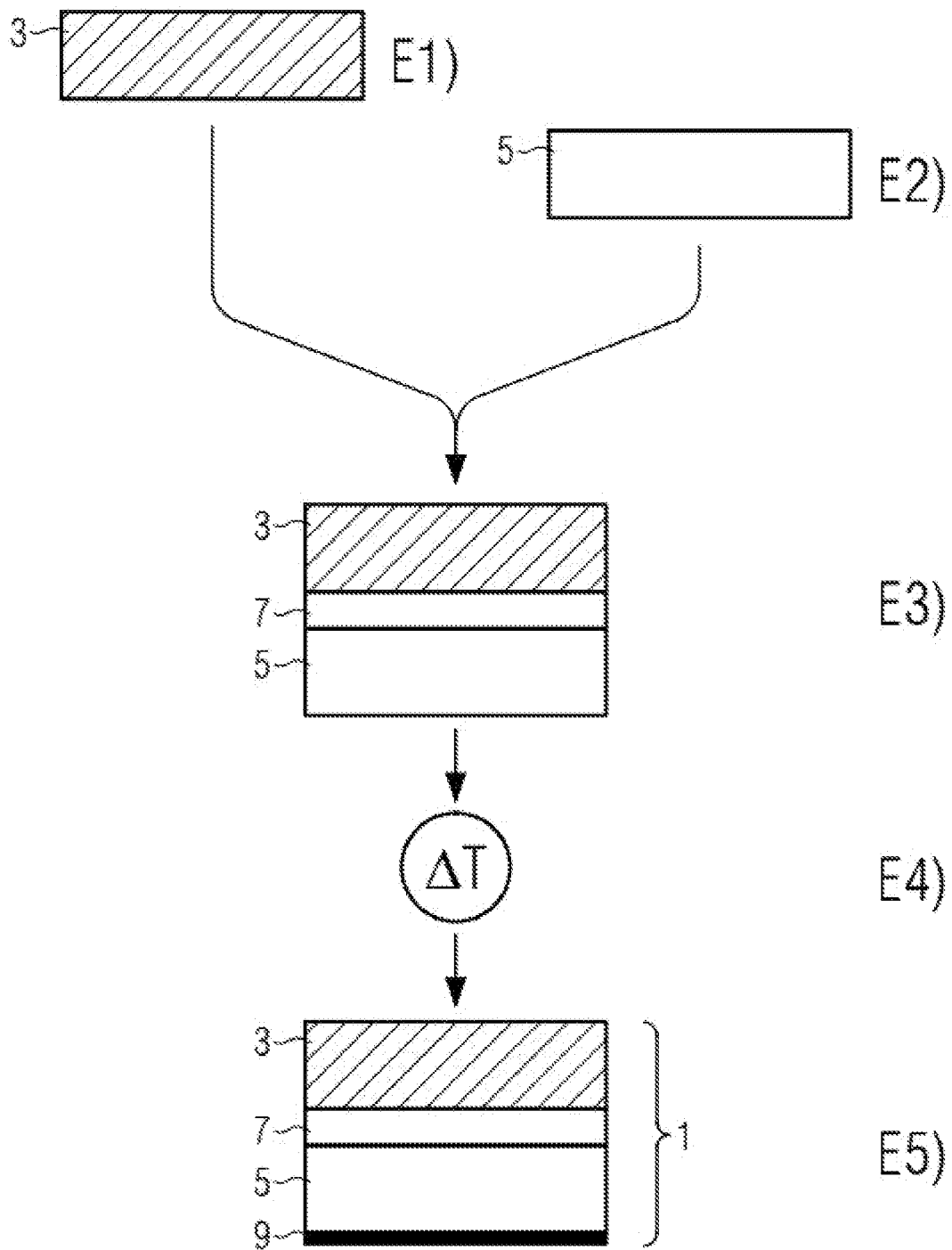


FIG. 1

[Fig. 2]

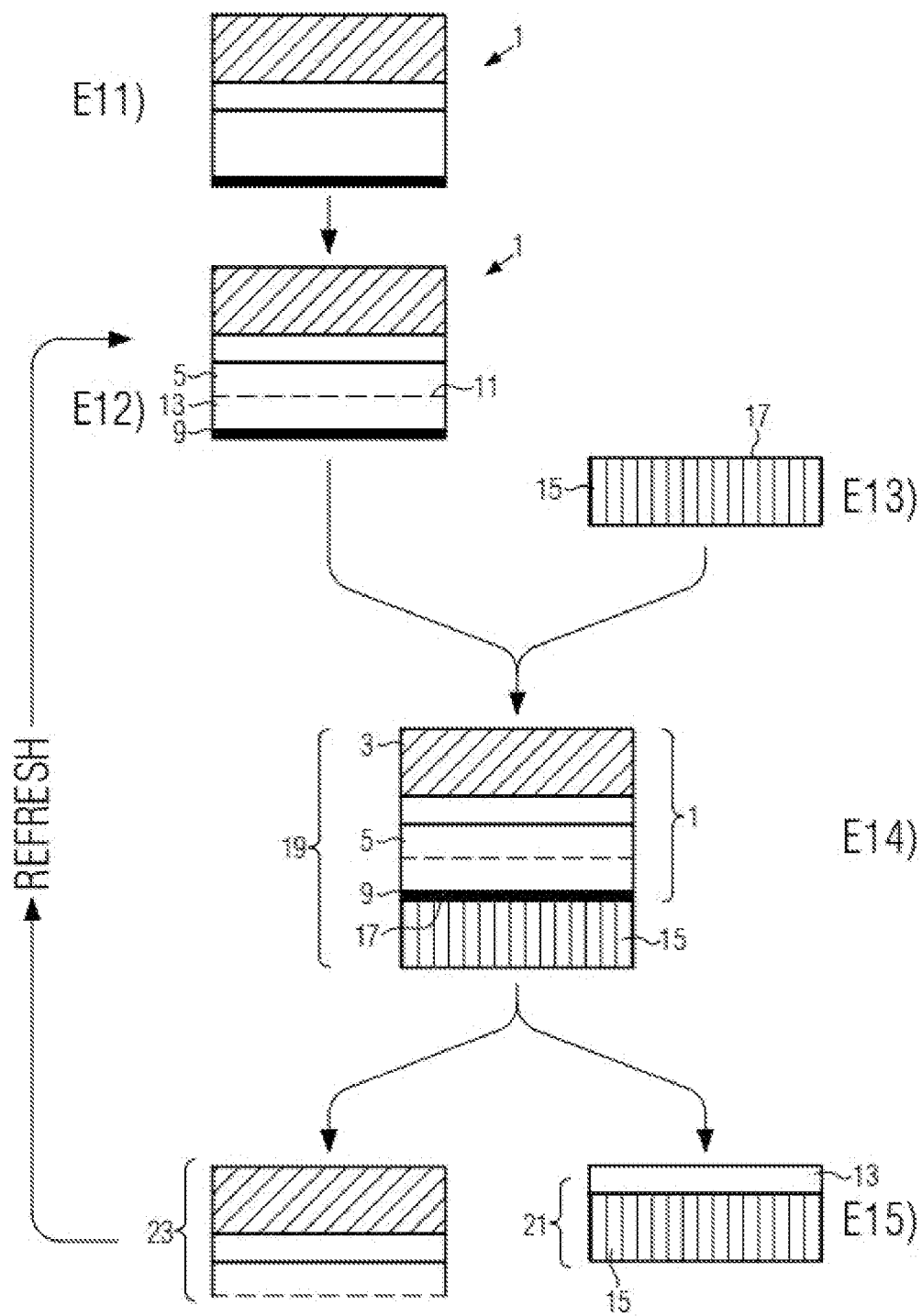


FIG. 2

[Fig. 3]

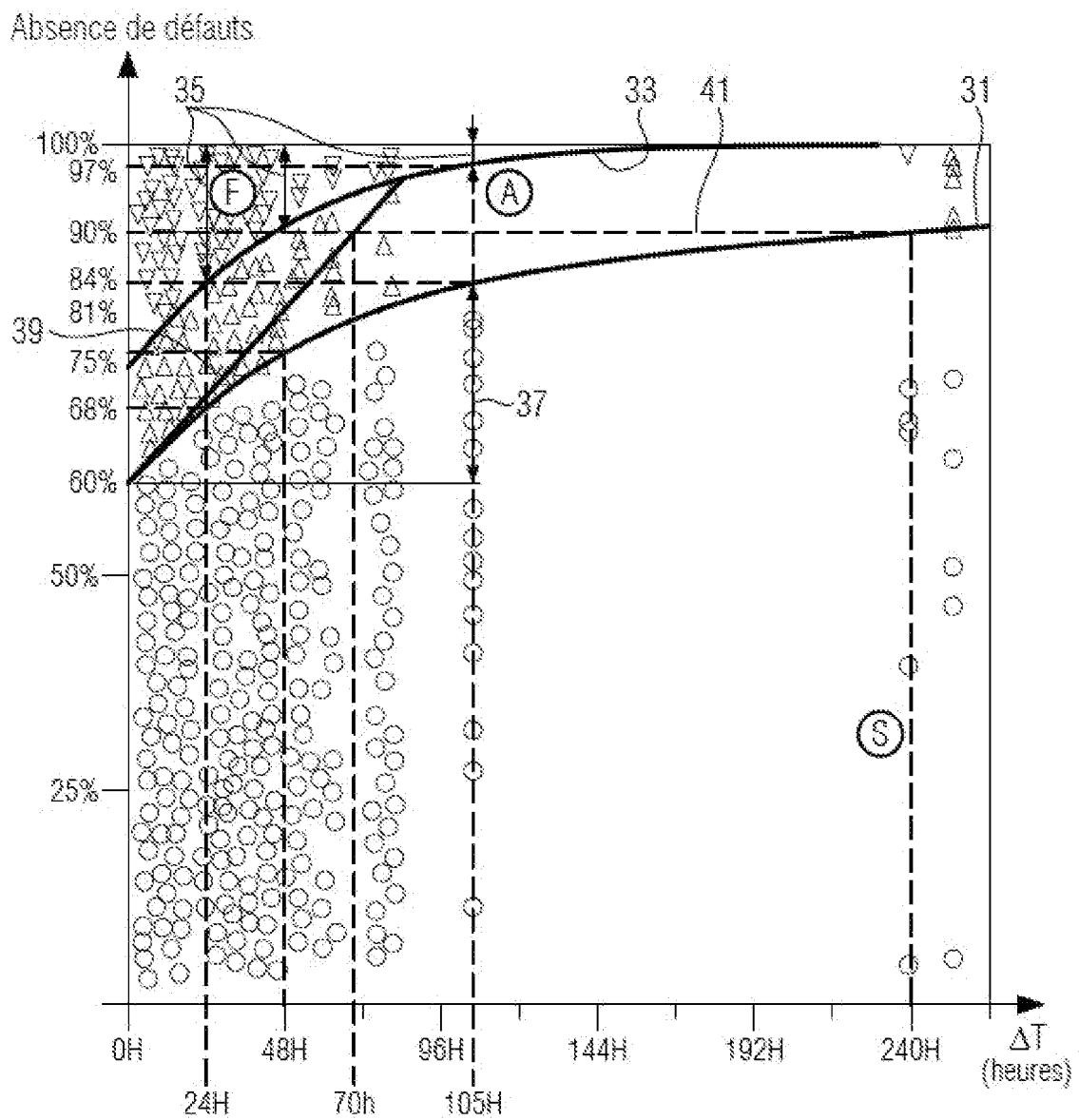


FIG. 3

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**

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

WO 2019/186053 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