

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/047035 A1

(43) Date de la publication internationale
30 mars 2023 (30.03.2023)

(51) Classification internationale des brevets :

H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/762 (2006.01)
H01L 21/18 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2022/051682

(22) Date de dépôt international :

06 septembre 2022 (06.09.2022)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2109961 22 septembre 2021 (22.09.2021) FR

(71) Déposant : SOITEC [FR/FR] ; Parc Technologique des

Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR).

(72) Inventeurs : **BIARD, Hugo** ; c/o SOITEC, Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR). **LAGRANGE, Mélanie** ; c/o SOITEC, Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, 38190 BERNIN (FR).

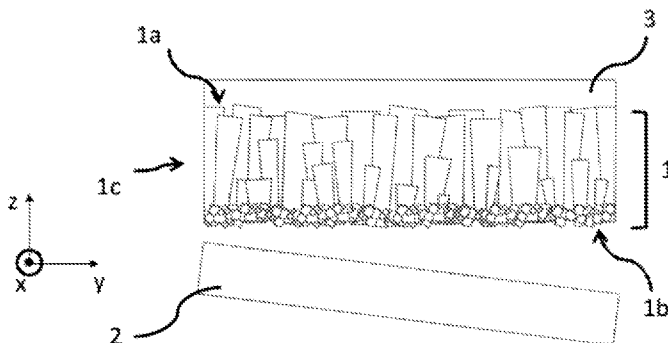
(74) Mandataire : **BREESE, Pierre** ; 2 rue de Clichy, 75009 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,

(54) Title: METHOD FOR FABRICATING A POLYCRYSTALLINE SILICON CARBIDE CARRIER SUBSTRATE

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT SUPPORT EN CARBURE DE SILICIUM POLY-CRISTALLIN

[Fig. 1c]



(57) Abstract: The invention relates to a method for fabricating a polycrystalline silicon carbide carrier substrate, comprising the following steps: a) growing an initial polycrystalline silicon carbide substrate on a seed of graphite or of silicon carbide; on conclusion of step a), the initial substrate having a free front face and a back face in contact with the seed, b) forming a stiffening carbon film on the front face of the initial substrate, the initial substrate having, in the plane of its front face and just before the formation of the stiffening film, a first average silicon carbide grain size, c) removing the seed, so as to free the back face of the initial substrate, the latter having, in the plane of its back face and just after the removal of the seed, a second average silicon carbide grain size, smaller than the first average size, d) thinning the back face of the initial substrate to a thickness for which the initial substrate has, in the plane of its thinned back face, a third average grain size equal to the first average grain size to within $\pm 30\%$, the thinned initial substrate forming the carrier substrate.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat support en carbure de silicium poly-cristallin comprenant les étapes suivantes : a) la croissance d'un substrat initial en carbure de silicium poly-cristallin sur un germe en graphite ou en carbure de silicium; à l'issue de l'étape a), le substrat initial présentant une face avant libre et une face arrière en contact avec le germe, b) la formation d'un film raidisseur en carbone, sur la face avant du substrat initial, le substrat initial présentant, dans le plan de sa face avant et juste avant la formation du film raidisseur, une première taille moyenne de grains de carbure de silicium, c) le retrait du germe, de manière à libérer la face arrière du substrat initial, ce dernier présentant, dans le plan de sa face arrière et juste après le retrait du

[Suite sur la page suivante]

WO 2023/047035 A1

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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

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

germe, une deuxième taille moyenne de grains de carbure de silicium, inférieure à la première taille moyenne, d) l'amincissement de la face arrière du substrat initial, jusqu'à une épaisseur pour laquelle le substrat initial présente, dans le plan de sa face arrière amincie, une troisième taille moyenne de grains égale à la première taille moyenne de grains à +/- 30% près, le substrat initial aminci formant le substrat support.

DESCRIPTION

TITRE : PROCÉDE DE FABRICATION D'UN SUBSTRAT SUPPORT EN CARBURE DE SILICIUM POLY-CRISTALLIN

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine des matériaux semi-conducteurs pour composants microélectroniques. Elle concerne en particulier un procédé de fabrication d'un substrat support en carbure de silicium poly-cristallin, particulièrement adapté à l'élaboration d'une structure composite comprenant une couche mince en carbure de silicium monocristallin disposée sur ledit substrat support.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

Le SiC est de plus en plus largement utilisé pour la fabrication de dispositifs de puissance innovants, pour répondre aux besoins de domaines montants de l'électronique, comme notamment les véhicules électriques. En effet, les dispositifs de puissance et les systèmes intégrés d'alimentation basés sur du carbure de silicium monocristallin peuvent gérer une densité de puissance beaucoup plus élevée par rapport à leurs homologues traditionnels en silicium, et ce avec des dimensions de zone active inférieures.

Les substrats en SiC monocristallin (c-SiC) de haute qualité, destinés à l'industrie microélectronique, restent néanmoins chers et difficiles à approvisionner en grande taille. Il est donc avantageux de recourir à des solutions de transfert de couches, pour élaborer des structures composites comprenant typiquement une couche mince en SiC monocristallin (issue du substrat en c-SiC de haute qualité) sur un substrat support plus bas coût, par exemple en SiC poly-cristallin (p-SiC). Une

solution de transfert de couche mince bien connue est le procédé Smart Cut[®], basé sur une implantation d'ions légers et sur un assemblage, par collage direct, au niveau d'une interface de collage.

Le document US2019153616 propose un procédé de fabrication d'un substrat support en p-SiC sur lequel peut être reportée une couche mince en c-SiC. Le substrat support comprend des grains de taille moyenne de l'ordre de 10 μ m et présente un taux de variation de la taille de grain entre ses faces avant et arrière, ramené à son épaisseur, inférieur ou égal à 0,43% ; cette dernière caractéristique permet de limiter la contrainte résiduelle dans le substrat support et donc sa courbure.

Le procédé de fabrication implique un premier substrat de base en carbone sur lequel une couche épaisse (typiquement 2mm) en p-SiC est élaborée par dépôt chimique en phase vapeur. Un deuxième substrat de base en p-SiC, d'environ 350 μ m d'épaisseur, est extrait de la couche épaisse de p-SiC, par retrait du premier substrat de base en carbone et par amincissement mécanique des deux faces de la couche épaisse. Le deuxième substrat de base présente un taux de variation de la taille de grains entre ses faces avant et arrière, ramené à son épaisseur, inférieur ou égal à 0,43%. Une nouvelle couche de p-SiC (typiquement de l'ordre de 400 μ m) est ensuite formée par dépôt chimique en phase vapeur sur le deuxième substrat de base : séparée du deuxième substrat de base, par exemple par irradiation laser, cette nouvelle couche de p-SiC constitue le substrat support en p-SiC destiné à être utilisé dans une structure composite. Le deuxième substrat de base peut ensuite être réutilisé.

En pratique, l'étape consistant à former le deuxième substrat de base peut s'avérer complexe car le retrait du premier substrat de base en carbone induit généralement une courbure de la couche épaisse en p-SiC très importante, qui peut provoquer la casse de

ladite couche épaisse, ou tout au moins qui complique, voire empêche la réalisation de l'étape d'amincissement requise pour atteindre l'épaisseur du deuxième substrat de base. En outre, cet amincissement est très substantiel (de l'ordre de 1,5mm) et couteux en matériau p-SiC et en étapes de dépôt et d'amincissement.

OBJET DE L'INVENTION

La présente invention propose un procédé de fabrication adressant la problématique précitée. Elle concerne un procédé de fabrication d'un substrat support en SiC poly-cristallin, économique et simplifié. Ledit substrat support est en outre particulièrement adapté à la fabrication d'une structure composite comportant une couche mince en c-SiC disposée sur ledit substrat support en p-SiC.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat support en carbure de silicium poly-cristallin comprenant les étapes suivantes :

- a) la croissance d'un substrat initial en carbure de silicium poly-cristallin sur un germe en graphite ou en carbure de silicium ; à l'issue de l'étape a), le substrat initial présentant une face avant libre et une face arrière en contact avec le germe,
- b) la formation d'un film raidisseur en carbone, sur la face avant du substrat initial, le substrat initial présentant, dans le plan de sa face avant et juste avant la formation du film raidisseur, une première taille moyenne de grains de carbure de silicium,
- c) le retrait du germe, de manière à libérer la face arrière du substrat initial, ce dernier présentant, dans le plan de sa face

arrière et juste après le retrait du germe, une deuxième taille moyenne de grains de carbure de silicium, inférieure à la première taille moyenne,

d) l'amincissement de la face arrière du substrat initial, jusqu'à une épaisseur pour laquelle le substrat initial présente, dans le plan de sa face arrière amincie, une troisième taille moyenne de grains égale à la première taille moyenne de grains à +/- 30% près, le substrat initial aminci formant le substrat support.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- le film raidisseur présente une épaisseur comprise entre 100nm et plusieurs millimètres, par exemple 10mm ;
- le film raidisseur présente une épaisseur comprise entre 100nm et 10 μ m ;
- le film raidisseur en carbone présente une structure cristallographique de type diamant ou de type carbone vitreux ;
- l'étape b) est réalisée par étalement d'une résine polymère comportant des liaisons carbone-carbone préformées dans les trois dimensions, sous forme de couche visqueuse, sur la face avant du substrat initial, et par recuit à une température comprise entre 500°C et 2000°C, pour former le film raidisseur en carbone ;
- la résine polymère est à base de goudron de houille, de phénol formaldéhyde, d'alcool polyfurfurylique, d'alcool polyvinylique, de polyacrylonitrile, de chlorure de polyvinylidène, et/ou de polystyrène ;
- l'étape b) est réalisée par dépôt par plasma, dépôt par bombardement d'ions ou dépôt par évaporation ;

- le procédé de fabrication comprend une étape a'), entre l'étape a) et l'étape b), de rectification de la face avant et/ou d'un pourtour du substrat initial, pour diminuer une rugosité de surface de ladite face et/ou une variation d'épaisseur dudit substrat, et/ou pour régulariser son pourtour ;
- l'étape a') comprend un amincissement mécanique ou mécano-chimique ;
- le procédé de fabrication comprend :
 - une étape e), après l'étape d), de retrait du film raidisseur, et/ou
 - une étape, après l'étape d) ou après l'étape e), de traitement thermique à une température supérieure ou égale à 1500°C.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure composite, mettant en œuvre le procédé ci-dessus et comprenant en outre une étape f) de transfert d'une couche mince en carbure de silicium monocristallin sur une première ou sur une deuxième face du substrat support, directement ou via une couche intermédiaire, pour former la structure composite.

Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- la couche intermédiaire est formée par le film raidisseur en carbone conservé sur la première face du substrat support ;
- le transfert de la couche mince est réalisé sur l'une des faces du substrat support et un film additionnel en carbone est disposé sur l'autre face libre du substrat support préalablement au transfert ;

- le film additionnel est retiré, préférentiellement après que la structure composite ait subi tous traitements thermiques à températures supérieures à 1400°C requis pour sa fabrication ou celle de composants sur et/ou dans ladite structure.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquelles :

[Fig. 1a]

[Fig. 1b]

[Fig. 1c]

[Fig. 1d]

[Fig. 1e]

[Fig. 1f] Les figures 1a à 1f présentent des étapes d'un procédé de fabrication conforme à l'invention ;

[Fig. 2a]

[Fig. 2b]

[Fig. 2c]

[Fig. 2d] Les figures 2a à 2d présentent d'autres étapes du procédé de fabrication conforme à l'invention ;

[Fig. 3a]

[Fig. 3b]

[Fig. 3c]

[Fig. 3d]

[Fig. 3e] Les figures 3a à 3e présentent des variantes d'étapes du procédé de fabrication conforme à l'invention.

Les mêmes références sur les figures pourront être utilisées pour des éléments de même type. Les figures sont des représentations schématiques qui, dans un objectif de lisibilité, ne sont pas à l'échelle. En particulier, les épaisseurs des couches selon l'axe z ne sont pas à l'échelle par rapport aux dimensions latérales selon les axes x et y ; et les épaisseurs relatives des couches entre elles ne sont pas nécessairement respectées sur les figures.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un substrat support 10 en carbure de silicium poly-cristallin (p-SiC).

Le procédé comprend en premier lieu une étape a) de croissance d'un substrat initial 1 en carbure de silicium poly-cristallin sur un germe 2 en graphite ou en carbure de silicium monocristallin ou poly-cristallin de faible qualité (figure 1a). Le germe 2 se présente préférentiellement sous la forme d'une plaquette dont le diamètre est sensiblement celui qui est visé pour le substrat support 10, par exemple 100mm, 150mm, 200mm voire 300mm.

La croissance du substrat initial 1 en p-SiC est opérée par une technique connue de dépôt chimique en phase vapeur (CVD), à une température typiquement comprise entre 1100°C et 1500°C. Les précurseurs peuvent être choisis parmi le méthylsilane, le diméthylchlorosilane ou encore le dichlorosilane et i-butane, préférentiellement avec un rapport C/Si proche ou supérieur à 1. Optionnellement, des espèces dopantes (telles que l'azote ou le phosphore, par exemple) pourront être introduites au cours du dépôt CVD, de manière à ajuster la résistivité du substrat initial 1 (dont sera issu le substrat support 10) aux

spécifications du produit final, en particulier de la structure composite visée. Les niveaux de dopage habituellement visés sont supérieurs à $1E18/cm^3$, voire supérieurs à $1E20/cm^3$.

A l'issue de l'étape a), le substrat initial 1 présente une face avant la libre et une face arrière 1b en contact avec le germe 2. L'épaisseur du substrat initial 1 est inférieure à 1mm, préférentiellement inférieure à $550\mu m$. Notons que la gamme d'épaisseurs habituellement souhaitée, pour un substrat support 10 destiné à l'élaboration d'une structure composite, est $100\mu m$ - $500\mu m$.

Le substrat initial 1 peut comporter des grains de carbure de silicium de type 4H, 6H et/ou 3C, selon les conditions de dépôt CVD.

La taille moyenne des grains au niveau de la face arrière 1b du substrat initial 1 est relativement faible, typiquement inférieure ou égale à $1\mu m$, voire inférieure ou égale à $100nm$; lesdits grains correspondent au matériau p-SiC élaboré en début de dépôt CVD (phase de nucléation) sur le germe de graphite 2.

Rappelons que la taille d'un grain, délimité par les joints de grains, correspond à la plus grande dimension dudit grain, dans le plan de la face considérée du substrat. On définit la taille moyenne des grains par la moyenne des tailles des différents grains dans ledit plan. Pour mesurer les dimensions des grains ou distances entre joints de grain, il est possible de se baser sur des images obtenues par microscopie électronique à balayage (MEB) classique ou impliquant une diffraction électronique (EBSD « Electron Back Scattered Diffraction »). Il est également envisageable d'utiliser des cristallographies par rayons X. Lorsque la face considérée comprend majoritairement des grains

de taille micrométrique (typiquement de quelques microns à quelques dizaines de microns), les grains de très petite taille, typiquement inférieure à 50nm, sont préférentiellement exclus de la mesure, pour limiter les incertitudes de mesure.

Au fur et à mesure du dépôt CVD, les grains de p-SiC augmentent en taille, jusqu'à atteindre une taille moyenne relativement stable, pour une épaisseur de dépôt qui peut varier entre quelques micromètres et quelques dizaines de micromètres, selon les conditions de dépôt.

Ainsi, selon l'épaisseur déposée de p-SiC pour croître le substrat initial 1, la taille moyenne des grains au niveau de la face avant dudit substrat 1 pourra typiquement varier entre 1 et 10 μm .

Par la suite, la taille moyenne des grains p-SiC au niveau de la face avant 1a du substrat initial 1 sera appelée première taille moyenne, et la taille moyenne des grains de p-SiC au niveau de la face arrière 1b du substrat initial 1 sera appelée deuxième taille moyenne.

La première taille moyenne des grains p-SiC (côté face avant 1a) est supérieure à la deuxième taille moyenne des grains (côté face arrière 1b), cette dernière correspondant à la phase de nucléation.

Le procédé de fabrication comprend ensuite une étape b) de formation d'un film raidisseur 3 en carbone, sur la face avant 1a du substrat initial 1 (figure 1b). Le film raidisseur 3 peut présenter une épaisseur allant de 100nm à plusieurs millimètres, par exemple 10mm. Préférentiellement, son épaisseur est comprise entre 100nm et 10 μm .

Avantageusement, le film raidisseur 3 en carbone présente une structure cristallographique de type diamant, c'est-à-dire comportant des liaisons atomiques carbone-carbone sp³, ou de

type carbone vitreux, comportant des liaisons atomiques carbone-carbone sp^2 .

Le film raidisseur 3 peut être formé par différentes techniques de dépôt classiques, comme notamment un dépôt par plasma, un dépôt par bombardement d'ions ou encore un dépôt par évaporation.

Alternativement, l'étape b) peut être réalisée par étalement d'une résine polymère comportant des liaisons carbone-carbone préformées dans les trois dimensions, sous forme de couche visqueuse, sur la face avant 1a du substrat initial 1. Cet étalement peut être effectué par centrifugation. Puis, un recuit est appliqué à une température comprise entre 500°C et 2000°C , typiquement entre 600°C et 1100°C , sous azote, pour former le film raidisseur 3 en carbone, par décomposition chimique de la résine (pyrolyse). Les rampes en température sont typiquement choisies de l'ordre de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ et la durée du recuit est de l'ordre de l'heure. La montée en températures est contrôlée de sorte que la température effective demeure inférieure à la température de transition vitreuse résine/carbone.

La résine polymère peut être formée de goudron de houille, de phénol formaldéhyde, d'alcool polyfurfurylique, d'alcool polyvinylique, de polyacrylonitrile, de chlorure de polyvinylidène, et/ou de polystyrène, etc.

A titre d'exemple, des résines photosensibles connues peuvent être utilisées, telles que les produits commerciaux AZ-4330, AZ-P4620 (marques déposées) (à base de 1-méthoxy-2-propanol acetate, esters diazonaphthoquinonesulfonic, 2-méthoxy-1-propanol acetate, résine Cresol novolak), OCG-825 (à base d'ethyl-3-ethoxypropionate), SU-8 2000 (à base de cyclopentanone, sels triarylsulfonium/hexafluoroantimonate, propylene carbonate, résine epoxy), habituellement mis en œuvre

pour des étapes de photolithographie dans le domaine de la microélectronique.

Des résines époxy, telles que par exemple le produit Epoxy Novolac EPON (marque déposée), proposé pour recouvrir et protéger différentes surfaces dans des domaines variés (aéronautique, marine, automobile, construction...), peuvent également être mises en œuvre à l'étape b) du procédé selon l'invention.

Dans le cas d'utilisation de résines, il est important de tenir compte de la contraction que la couche visqueuse de résine va subir lors du recuit, pour définir son épaisseur initiale suffisante en vue de l'obtention de l'épaisseur de film raidisseur 3 visée. La contraction en épaisseur peut être typiquement entre 70% et 95%. Le ratio carbone, c'est-à-dire le ratio entre la masse de la couche de résine polymère après pyrolyse (correspondant au film raidisseur 3) et la masse initiale de la couche de résine polymère étalée, doit être d'au moins 5%, préférentiellement supérieur à 50%.

Optionnellement, le procédé de fabrication peut comprendre une étape a'), entre l'étape a) et l'étape b), de rectification de la face avant 1a et/ou d'un pourtour 1c du substrat initial 1, pour diminuer une rugosité de surface de ladite face 1a et/ou diminuer une variation d'épaisseur dudit substrat 1, et/ou pour régulariser le pourtour 1c.

L'étape a') peut comprendre un amincissement mécanique ou mécano-chimique (polissage), avec un enlèvement de matière de l'ordre de quelques microns à quelques dizaines de microns.

Le procédé de fabrication selon l'invention comprend ensuite une étape c) de retrait du germe 2, de manière à libérer la face arrière 1b du substrat initial 1 (figure 1c).

Lorsque le germe 2 est en graphite, le retrait peut être effectué en brûlant le graphite, en appliquant un traitement thermique, sous atmosphère riche en oxygène (l'air, par exemple), à une température supérieure à 400°C, préférentiellement supérieure à 550°C.

Il est également envisageable de détacher mécaniquement le germe 2, qu'il soit en graphite ou en carbure de silicium, par exemple par application localisée d'une contrainte mécanique, à ou proche de l'interface entre le germe 3 et le substrat initial 1.

Si d'éventuels résidus subsistent sur la face arrière 1b du substrat initial 1 après retrait du germe 2, ils peuvent être brûlés (lorsqu'ils sont en graphite) ou retirés mécaniquement ou chimiquement par polissage ou gravure (lorsqu'ils sont en graphite ou en SiC).

Ce retrait génère classiquement une forte courbure du substrat initial 1, pouvant aller jusqu'à 500µm pour un diamètre de 150mm. Cette courbure est principalement due aux contraintes associées à la différence de tailles de grains entre la deuxième face 1b (grains de nucléation, de taille moyenne faible) et la première face 1a.

Dans le cadre de l'invention, le film raidisseur 3 en carbone permet de limiter grandement l'augmentation de courbure lors du retrait du germe 2, en maintenant mécaniquement le substrat initial 1 par sa face avant 1a. La courbure du substrat initial 1, muni du film raidisseur 3 en carbone, n'excède pas 200µm pour un diamètre de substrat de 150 mm ; voire même, la courbure est maintenue inférieure à 100µm. Dans ces gammes de courbure, le substrat initial 1 peut être traité sans problème dans des lignes et des équipements standard, sans risque de casse ou de mise en défaut des équipements ; ces problématiques sont essentiellement

rencontrées pour des courbures supérieures à 300 μ m (diamètre 150 mm).

Le procédé de fabrication comprend enfin une étape d) d'amincissement de la face arrière 1b du substrat initial 1. Le substrat initial 1 aminci forme le substrat support 10 (figure 1d).

L'amincissement de l'étape d) est réalisé par rectification mécanique, polissage mécanique et/ou polissage mécano-chimique de la face arrière 1b. L'enlèvement de matière est typiquement compris entre quelques dizaines de microns et 200 μ m, en fonction de l'épaisseur du substrat initial 1 à l'entrée de l'étape d), et bien sûr en fonction de l'épaisseur visée pour le substrat support 10.

L'amincissement est opéré jusqu'à une épaisseur pour laquelle le substrat initial 1 présente, dans le plan de sa face arrière amincie 1b', une troisième taille moyenne de grains égale à la première taille moyenne de grains à +/- 30% près. Autrement dit, si la première taille moyenne est par exemple de 5 μ m, la troisième taille moyenne est attendue entre 4 μ m et 6 μ m.

Il peut arriver que les tailles de grains dans le plan de la face avant 1a ou dans le plan de la face arrière 1b se répartissent selon une double population, chaque pic suivant une distribution sensiblement gaussienne. Selon une première option, la taille moyenne de grains est calculée en effectuant la moyenne globale incluant les deux populations, et les première et troisième tailles moyennes ne doivent pas différer de plus de 30%. Selon une deuxième option, on prendra en considération les deux premières tailles moyennes (correspondant à la double population du côté de la face avant 1a) et les deux troisièmes tailles moyennes (correspondant à la double population du côté

de la face arrière 1b), qui ne devront pas différer respectivement entre elles de plus de 30%.

Après l'amincissement de l'étape d), la face arrière amincie 1b' du substrat initial 1 présente une taille moyenne de grains en p-SiC différant de moins de 30% de la taille moyenne de grains de la face avant 1a. La contrainte résiduelle dans le substrat initial 1 aminci (qui forme le substrat support 10) est alors compatible avec une courbure faible, et tout le moins gérable dans les lignes de fabrication.

Le procédé de fabrication peut alors comprendre une étape e) de retrait du film raidisseur 3, par exemple par gravure chimique sèche ou humide (figure 1e). Après ce retrait, le substrat support 10 présente une courbure inférieure à 200 μ m, voire inférieure à 100 μ m (pour un diamètre de 150 mm), du fait de la contrainte résiduelle réduite dans son volume.

A ce stade, le substrat support 10 présente une première face 10a, une deuxième face 10b et un bord 10c, correspondant respectivement à la face avant 1a, à la face arrière amincie 1b' et au bord 1c du substrat initial 1 après l'étape d).

A titre d'exemple, pour former un substrat support de 350 μ m d'épaisseur et de diamètre 150mm, on peut élaborer un substrat initial 1 de 500 μ m sur le germe 2, le substrat initial 1 présentant une première taille moyenne de grains de p-SiC au niveau de sa face avant 1a de l'ordre de 4 μ m. Une étape de correction de l'uniformité de l'épaisseur du substrat initial 1 peut être réalisée, par exemple via un enlèvement de 50 μ m. Un film raidisseur 3 en carbone de 4 μ m est formé sur cette face avant 1a. Après le retrait du germe de graphite 2, la deuxième taille moyenne de grains au niveau de la face arrière 1b du substrat initial 1 est inférieure à 100nm ; mais la courbure du

substrat initial 1, du fait de la présence du film raidisseur 3, est maintenue inférieure à $150\mu\text{m}$. Un enlèvement de $100\mu\text{m}$ au niveau de sa face arrière 1b est opéré, et la troisième taille moyenne de grains de p-SiC au niveau de la face arrière amincie 1b', de l'ordre de $3\mu\text{m}$, respecte la condition d'égalité à 30% près vis-à-vis de la première taille moyenne de grains. Ainsi, après retrait du film raidisseur 3, la courbure du substrat support 10 est inférieure à $200\mu\text{m}$ et compatible avec des étapes ultérieures de fabrication d'une structure composite 100.

Optionnellement, après l'étape e), un traitement de surface peut être appliqué à la première face 10a du substrat support 10, en particulier si cette face 10a est destinée à recevoir la couche mince 20 de la structure composite 100, à une étape f) ultérieure du procédé. Ce traitement de surface peut comprendre une rectification mécanique, un polissage mécano-chimique ou autres nettoyages chimiques, en fonction de la rugosité de surface de la première face 10a.

Si la deuxième face 10b du substrat support 10 est destinée à recevoir la couche mince 20, et que l'étape d) n'a pas permis d'atteindre un niveau de rugosité suffisamment faible (typiquement $< 1\text{nm RMS}$, mesurée par microscopie à force atomique sur des scans de $20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$), un traitement de surface additionnel pourra également lui être appliqué.

La face du substrat support 10 destinée à former la face arrière de la structure composite 100 peut présenter une rugosité de surface plus importante, par exemple de l'ordre de 10nm RMS .

Le procédé de fabrication peut également comprendre un traitement thermique, après l'étape d) ou après l'étape e), à une température supérieure ou égale à 1500°C , typiquement entre 1500°C et 1900°C , de manière à stabiliser la structure poly-

crystalline du substrat support 10. En effet, ces gammes de températures sont susceptibles d'être appliquées plus tard dans le procédé, notamment pour la fabrication d'une structure composite.

Grâce au procédé de fabrication selon la présente invention, un substrat support 10, présentant des caractéristiques mécaniques compatibles avec les spécifications d'une structure composite pour applications microélectroniques, peut être obtenu de manière simple, sans nécessiter le dépôt d'un substrat initial p-SiC de très forte épaisseur, laquelle est à plus de 80% éliminée, pour sélectionner une infime portion utile de p-SiC, comme cela est pratiqué dans les procédés de l'état de l'art. Dans le procédé de fabrication selon l'invention, l'épaisseur de substrat initial 1 formé est inférieure ou égale à 1mm et l'enlèvement de matière au niveau de sa face avant 1a et/ou de sa face arrière 1b est inférieur à 70%, voire inférieur à 50% de l'épaisseur initiale, ce qui procure une économie de matière et d'étapes technologiques.

Dans le cadre de l'élaboration d'une structure composite 100, le procédé de fabrication selon l'invention peut se poursuivre par une étape f) de transfert d'une couche utile 20 en carbure de silicium monocristallin sur le substrat support 10, basée sur un collage par adhésion moléculaire (figure 1f).

Il existe différentes options, connues de l'état de la technique pour effectuer un transfert de couche, qui ne seront pas décrites ici de manière exhaustive.

Selon un mode préféré, l'étape f) du procédé implique une implantation d'espèces légères selon le principe du procédé Smart Cut®.

Dans une première phase f1), un substrat donneur 21 en carbure de silicium monocristallin, dont sera issue la couche utile 20, est fourni (figure 2a). Le substrat donneur 1 se présente préférentiellement sous la forme d'une plaquette de diamètre 100mm, 150mm, 200mm voire 300mm (identique à ou très proche de celui du substrat support 10) et d'épaisseur comprise typiquement entre 300 μ m et 800 μ m. Il présente une face avant 21a et une face arrière 21b. La rugosité de surface de la face avant 1a est avantageusement choisie inférieure à 1nm RMS, voire inférieure à 0,5nm RMS, mesurée par microscopie à force atomique (AFM) sur un scan de 20 μ m x 20 μ m. Le substrat donneur 21 peut être de polytype 4H ou 6H, et présenter un dopage de type n ou p, en fonction des besoins des composants qui seront élaborés sur et/ou dans la couche utile 20 de la structure composite 100.

Une deuxième phase f2) correspond à l'introduction d'espèces légères dans le substrat donneur 21 pour former un plan fragile enterré 22 délimitant, avec une face avant 21a du substrat donneur 21, la couche utile 20 à transférer (figure 2b).

Les espèces légères sont préférentiellement de l'hydrogène, de l'hélium ou une co-implantation de ces deux espèces, et sont implantées à une profondeur déterminée dans le substrat donneur 21, cohérente avec l'épaisseur de la couche utile 20 visée. Ces espèces légères vont former, autour de la profondeur déterminée, des microcavités distribuées dans une fine couche parallèle à la surface libre 21a du substrat donneur 21, soit parallèle au plan (x,y) sur les figures. On appelle cette fine couche le plan fragile enterré 22, par souci de simplification.

L'énergie d'implantation des espèces légères est choisie de manière à atteindre la profondeur déterminée. Par exemple, des ions hydrogène seront implantés à une énergie comprise entre 10 keV et 250 keV, et à une dose comprise entre 5^E16/cm² et 1^E17/cm², pour délimiter une couche utile 20 présentant une épaisseur de l'ordre de 100nm à 1500nm. Notons qu'une couche de protection

pourra être déposée sur la face avant 21a du substrat donneur 21, préalablement à l'étape d'implantation ionique. Cette couche de protection peut être composée par un matériau tel que l'oxyde de silicium ou le nitrure de silicium par exemple. Elle est retirée préalablement à la phase suivante.

Optionnellement, une couche intermédiaire 4 peut être formée sur la face avant 21a du substrat donneur 21, avant ou après la deuxième phase f2) d'introduction des espèces légères (figures 3b, 3c, 3d, 3e). Cette couche intermédiaire 4 peut être en un matériau semi-conducteur, par exemple silicium ou carbure de silicium, ou en un matériau métallique tel que le tungstène, le titane, etc. L'épaisseur de la couche intermédiaire 4 est avantageusement limitée, typiquement entre quelques nanomètres et quelques dizaines de nanomètres.

Dans le cas où la couche intermédiaire 4 est formée avant la phase f2), l'énergie d'implantation (et potentiellement la dose) des espèces légères sera ajustée à la traversée de cette couche supplémentaire. Dans le cas où la couche intermédiaire 4 est formée après la phase f2), on prendra soin de former cette couche en appliquant un budget thermique inférieur au budget thermique de bullage, ledit budget thermique de bullage correspondant à l'apparition de cloques à la surface du substrat donneur 21 du fait d'une croissance et d'une mise sous pression trop importante des microcavités dans le plan fragile enterré 22.

L'étape f) de transfert comprend ensuite une troisième phase f3) d'assemblage du substrat donneur 21, du côté de sa face avant 21a, sur le substrat support 10, du côté de sa première face 10a ou de sa deuxième face 10b, par collage par adhésion moléculaire, le long d'une interface de collage 30 (figure 2c).

De manière optionnelle, une couche intermédiaire 4' peut également être déposée sur la face à assembler du substrat

support 10, préalablement à la phase f3) d'assemblage (figures 3d, 3e) ; elle peut être choisie de même nature ou de nature différente de la couche intermédiaire 4 évoquée pour le substrat donneur 21. Une couche intermédiaire 4,4' peut éventuellement n'être déposée que sur l'un ou l'autre des deux substrats 21,10 à assembler.

L'objectif de la (ou des) couche(s) intermédiaire(s) est essentiellement de favoriser l'énergie de collage (notamment dans la gamme de températures inférieures à 1100°C), du fait de la formation de liaisons covalentes à plus basses températures que dans le cas de deux surfaces SiC assemblées directement ; un autre avantage de cette(ces) couche(s) intermédiaire(s) peut être d'améliorer la conduction électrique verticale de l'interface de collage 30.

Selon une variante envisageable, la couche intermédiaire peut être formée par le film raidisseur 3 en carbone, conservé sur la première face 10a du substrat support 10 (figures 3a, 3c). Dans ce cas, l'étape e) du procédé de fabrication selon l'invention n'est pas réalisée et la face à assembler du substrat support 10 est sa première face 10a munie du film 3. Pour favoriser la conduction électrique verticale à travers le film raidisseur 3, dans la structure composite 100 finale, on privilégiera un film en carbone avec une structure cristallographique de type diamant.

De manière optionnelle, un film additionnel 5 en carbone est disposé sur la face opposée à la face à assembler du substrat support 10, toujours préalablement à la phase f3) d'assemblage (figure 3e). Ses caractéristiques peuvent par exemple être choisies parmi celles proposées pour le film raidisseur 3 précédemment dans cette description.

Même si la présence de ce film additionnel 5 a été illustré sur la figure 3e en combinaison de couches intermédiaires 4,4' sur les faces à assembler respectivement du substrat donneur 21 et

du substrat support 10, ce film additionnel 5 peut être mis en œuvre dans l'une quelconque des configurations possibles évoquées, notamment celles illustrées sur les figures 3a à 3c. Le film additionnel 5 pourra être retiré ultérieurement, préférentiellement après que la structure composite 100 ait subi tous traitements thermiques à températures supérieures à 1400°C requis pour sa fabrication ou celle de composants sur et/ou dans ladite structure 100.

Revenant à la description de la phase f3) d'assemblage, et comme cela est bien connu en soi, le collage direct par adhésion moléculaire ne nécessite pas une matière adhésive, car des liaisons s'établissent à l'échelle atomique entre les surfaces assemblées. Plusieurs types de collage par adhésion moléculaire existent, qui diffèrent notamment par leurs conditions de température, de pression, d'atmosphère ou de traitements préalables à la mise en contact des surfaces. On peut citer le collage à température ambiante avec ou sans activation préalable par plasma des surfaces à assembler, le collage par diffusion atomique (« Atomic diffusion bonding » ou ADB selon la terminologie anglo-saxonne), le collage avec activation de surface (« Surface-activated bonding » ou SAB), etc.

La phase f3) d'assemblage peut comprendre, préalablement à la mise en contact des faces 21a,10a à assembler, des séquences classiques de nettoyages par voie chimique (par exemple, nettoyage RCA), d'activation de surface (par exemple, par plasma oxygène ou azote) ou autres préparations de surface (telles que le nettoyage par brossage (« scrubbing »)), susceptibles de favoriser la qualité de l'interface de collage 30 (faible défektivité, forte énergie d'adhésion).

Enfin, une quatrième phase f4) comprend la séparation le long du plan fragile enterré 22, qui mène au report de la couche utile 20 sur le substrat support 10 (figure 2d).

La séparation le long du plan fragile enterré 22 s'opère habituellement par l'application d'un traitement thermique à une température comprise entre 800°C et 1200°C. Un tel traitement thermique induit le développement des cavités et microfissures dans le plan fragile enterré 22, et leur mise sous pression par les espèces légères présentes sous forme gazeuse, jusqu'à la propagation d'une fracture le long dudit plan fragile 22. Alternativement ou conjointement, une sollicitation mécanique peut être appliquée à l'ensemble collé et en particulier au niveau du plan fragile enterré 22, de manière à propager ou aider à propager mécaniquement la fracture menant à la séparation. A l'issue de cette séparation, on obtient d'une part la structure semi-conductrice 100 comprenant le substrat support 10 et la couche utile 20 transférée en SiC monocristallin, et d'autre part, le reste 21' du substrat donneur. Le niveau et le type de dopage de la couche utile 20 sont définis par le choix des propriétés du substrat donneur 21 ou peuvent être ajustés ultérieurement via les techniques connues de dopage de couches semi-conductrices.

La surface libre 20a de la couche utile 20 est habituellement rugueuse après séparation : par exemple, elle présente une rugosité comprise entre 5nm et 100nm RMS (AFM, scan 20µm x 20µm). Des phases de nettoyage et/ou de lissage peuvent être appliquées pour restaurer un bon état de surface (typiquement, une rugosité inférieure à quelques angströms RMS sur un scan de 20µm x 20µm par AFM). En particulier, ces phases peuvent comprendre un traitement de lissage mécano-chimique de la surface libre de la couche utile 20. Un enlèvement compris entre 50nm et 300nm permet de restaurer efficacement l'état de surface de ladite couche 20. Elles peuvent également comprendre au moins un traitement

thermique à une température comprise entre 1300°C et 1800°C. Un tel traitement thermique est appliqué pour évacuer les espèces légères résiduelles de la couche utile 20 et pour favoriser le réarrangement du réseau cristallin de la couche utile 20. Il permet en outre de renforcer l'interface de collage 30.

Le traitement thermique peut également comprendre ou correspondre à une épitaxie de carbure de silicium sur la couche mince 20.

Enfin, notons que l'étape f) de transfert peut comprendre une étape de reconditionnement du reste 21' du substrat donneur en vue d'une réutilisation en tant que substrat donneur 21 pour une nouvelle structure composite 100. Des traitements mécaniques et/ou chimiques, similaires à ceux appliqués à la structure composite 100, peuvent être mis en œuvre au niveau de la face avant 21'a du substrat restant 21'.

La structure composite 100 obtenue est extrêmement robuste aux traitements thermiques à très hautes températures susceptibles d'être appliqués pour améliorer la qualité de la couche utile 20 ou pour fabriquer des composants sur et/ou dans ladite couche 20.

La structure composite 100 selon l'invention est particulièrement adaptée pour l'élaboration d'un (ou plusieurs) composant(s) microélectronique(s) à haute tension, tels que par exemple des diodes Schottky, des transistors MOSFET, etc. Elle répond plus généralement aux applications microélectroniques de puissance, en autorisant une excellente conduction électrique verticale, une bonne conductibilité thermique et en procurant une couche utile en c-SiC de haute qualité.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation et aux exemples décrits, et on peut y apporter des

variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un substrat support (10) en carbure de silicium poly-cristallin comprenant les étapes suivantes :
 - a) la croissance d'un substrat initial (1) en carbure de silicium poly-cristallin sur un germe (2) en graphite ou en carbure de silicium ; à l'issue de l'étape a), le substrat initial (1) présentant une face avant (1a) libre et une face arrière (1b) en contact avec le germe (2),
 - b) la formation d'un film raidisseur (3) en carbone, sur la face avant (1a) du substrat initial (1), le substrat initial (1) présentant, dans le plan de sa face avant (1a) et juste avant la formation du film raidisseur (3), une première taille moyenne de grains de carbure de silicium,
 - c) le retrait du germe (2), de manière à libérer la face arrière (1b) du substrat initial (1), ce dernier présentant, dans le plan de sa face arrière (1b) et juste après le retrait du germe (2), une deuxième taille moyenne de grains de carbure de silicium, inférieure à la première taille moyenne,
 - d) l'amincissement de la face arrière (1b) du substrat initial (1), jusqu'à une épaisseur pour laquelle le substrat initial (1) présente, dans le plan de sa face arrière amincie (1b'), une troisième taille moyenne de grains égale à la première taille moyenne de grains à +/- 30% près, le substrat initial (1) aminci formant le substrat support (10).

2. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel le film raidisseur (3) présente une épaisseur comprise entre 100nm et plusieurs millimètres, par exemple 10mm.

3. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel le film raidisseur (3) présente une épaisseur comprise entre 100nm et 10 μ m.
4. Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le film raidisseur (3) en carbone présente une structure cristallographique de type diamant ou de type carbone vitreux.
5. Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape b) est réalisée par étalement d'une résine polymère comportant des liaisons carbone-carbone préformées dans les trois dimensions, sous forme de couche visqueuse, sur la face avant du substrat initial (1), et par recuit à une température comprise entre 500°C et 2000°C, pour former le film raidisseur (3) en carbone.
6. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel la résine polymère est à base de goudron de houille, de phénol formaldéhyde, d'alcool polyfurfurylique, d'alcool polyvinylique, de polyacrylonitrile, de chlorure de polyvinylidène, et/ou de polystyrène.
7. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape b) est réalisée par dépôt par plasma, dépôt par bombardement d'ions ou dépôt par évaporation.
8. Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape a'), entre l'étape a) et l'étape b), de rectification de la face avant (1a) et/ou d'un pourtour du substrat initial (1), pour diminuer une rugosité de surface de ladite face (1a) et/ou une variation

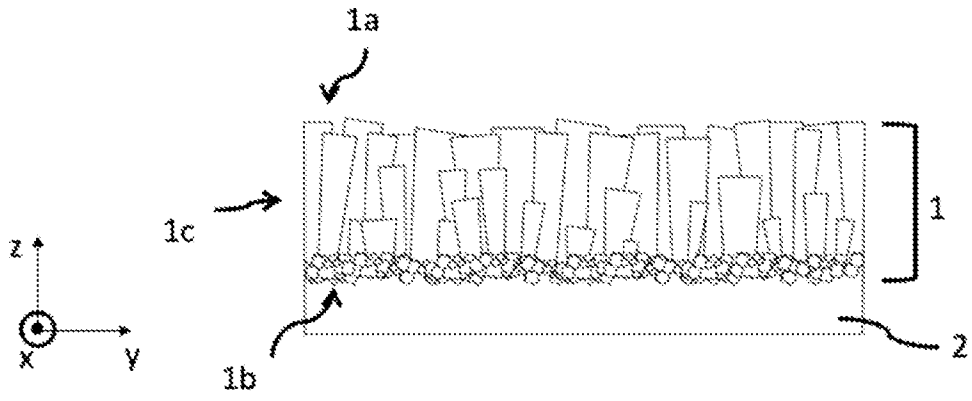
d'épaisseur dudit substrat (1), et/ou pour régulariser son pourtour.

9. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'étape a') comprend un amincissement mécanique ou mécano-chimique.
10. Procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, comprenant :
 - une étape e), après l'étape d), de retrait du film raidisseur, et/ou
 - une étape, après l'étape d) ou après l'étape e), de traitement thermique à une température supérieure ou égale à 1500°C.
11. Procédé de fabrication d'une structure composite (100), mettant en œuvre le procédé selon l'une des revendications précédentes et comprenant en outre une étape f) de transfert d'une couche mince (20) en carbure de silicium monocristallin sur une première (10a) ou sur une deuxième (10b) face du substrat support (10), directement ou via une couche intermédiaire, pour former la structure composite (100).
12. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel la couche intermédiaire est formée par le film raidisseur (3) en carbone conservé sur la première face (10a) du substrat support (10).
13. Procédé de fabrication selon la revendication 11, dans lequel le transfert de la couche mince (20) est réalisé sur l'une des faces (10a ;10b) du substrat support (10) et un film additionnel (5) en carbone est disposé sur l'autre face

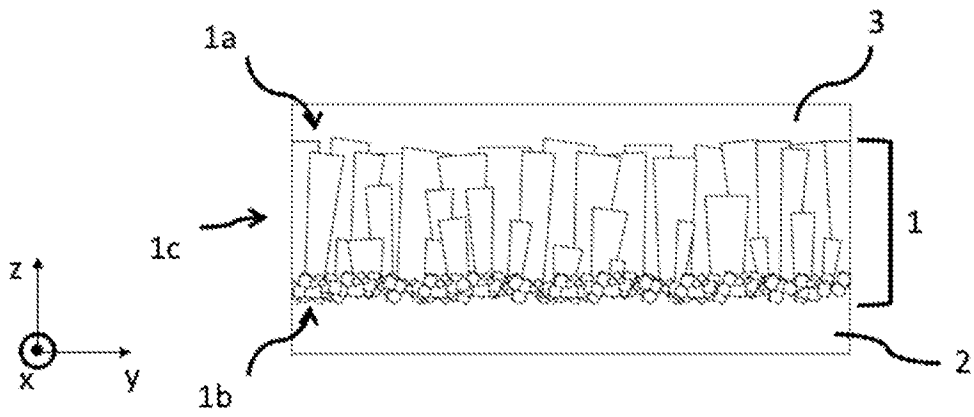
libre (10b ;10a) du substrat support (10) préalablement au transfert.

14. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel le film additionnel (5) est retiré, préférentiellement après que la structure composite (100) ait subi tous traitements thermiques à températures supérieures à 1400°C requis pour sa fabrication ou celle de composants sur et/ou dans ladite structure (100).

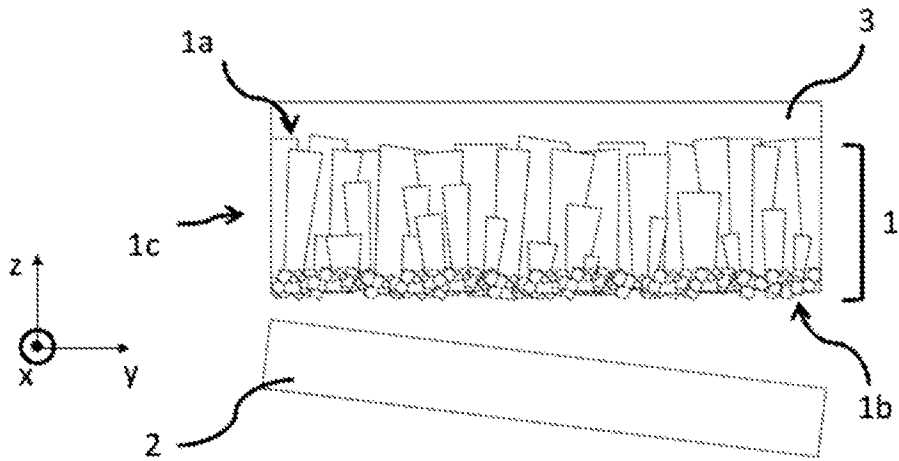
[Fig. 1a]



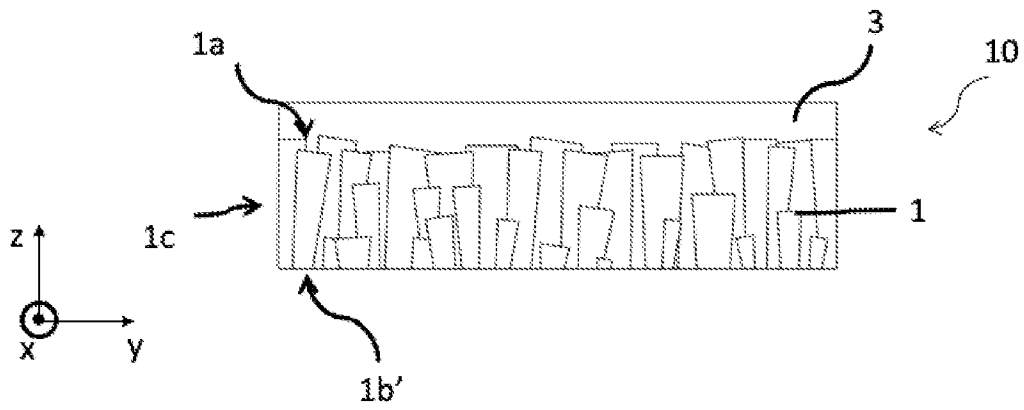
[Fig. 1b]



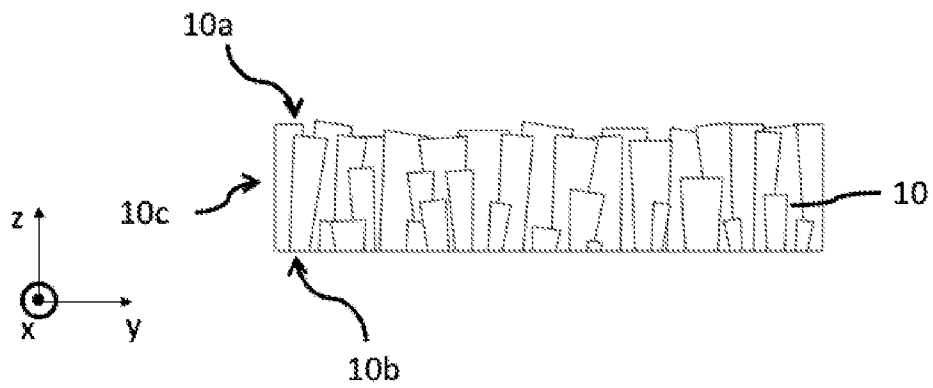
[Fig. 1c]



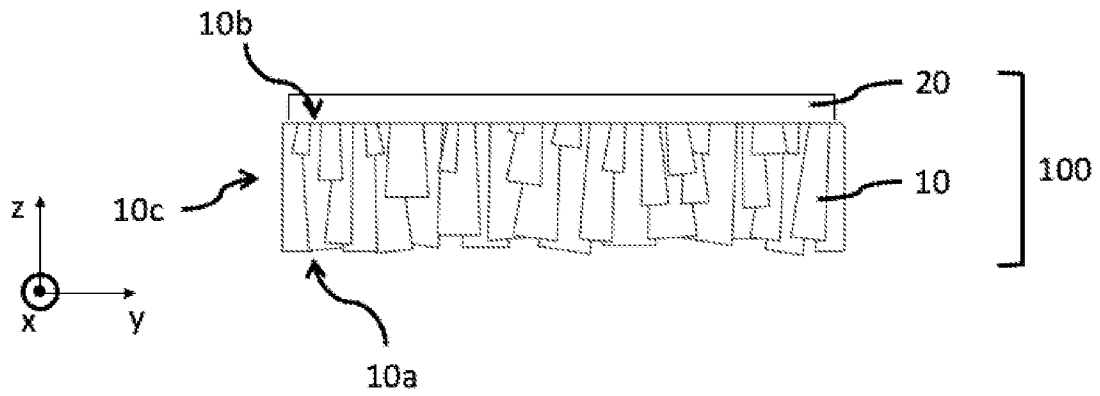
[Fig. 1d]



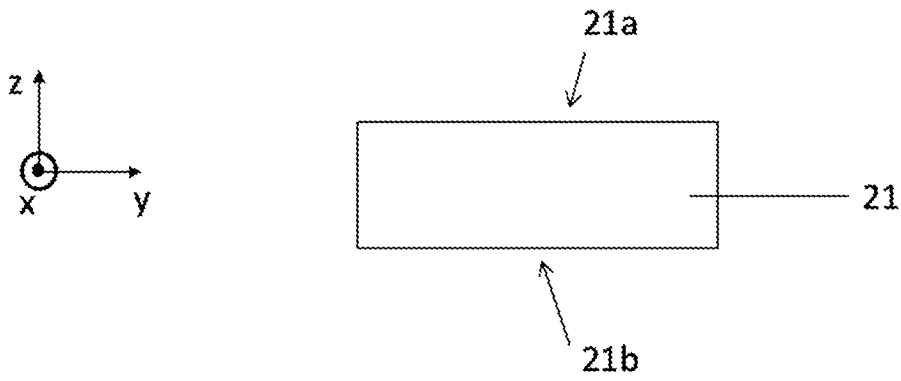
[Fig. 1e]



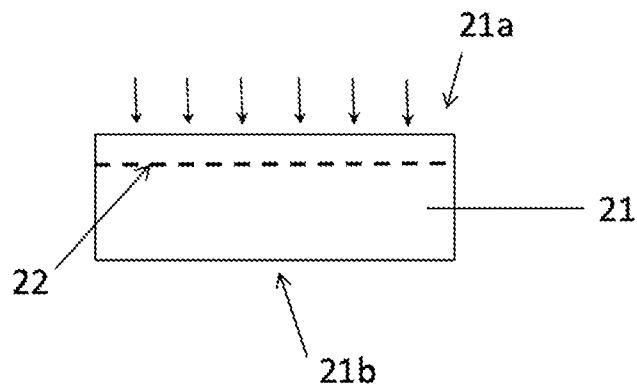
[Fig. 1f]



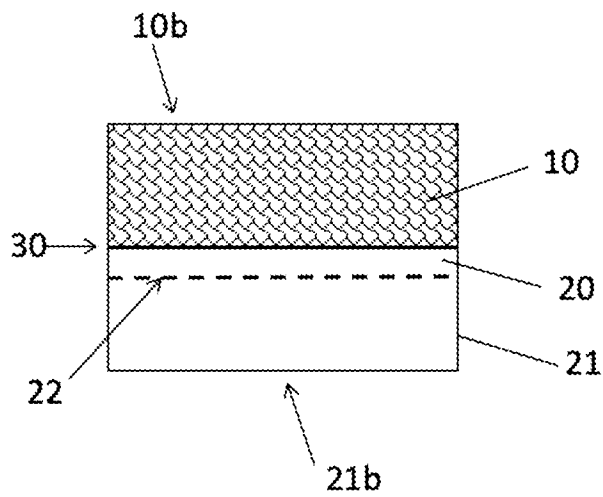
[Fig. 2a]



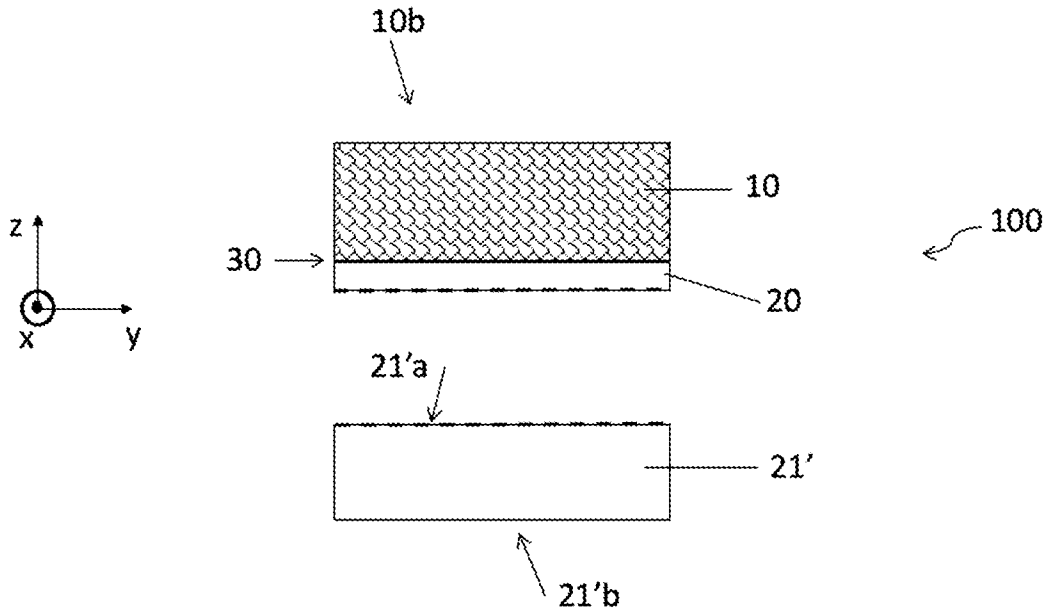
[Fig. 2b]



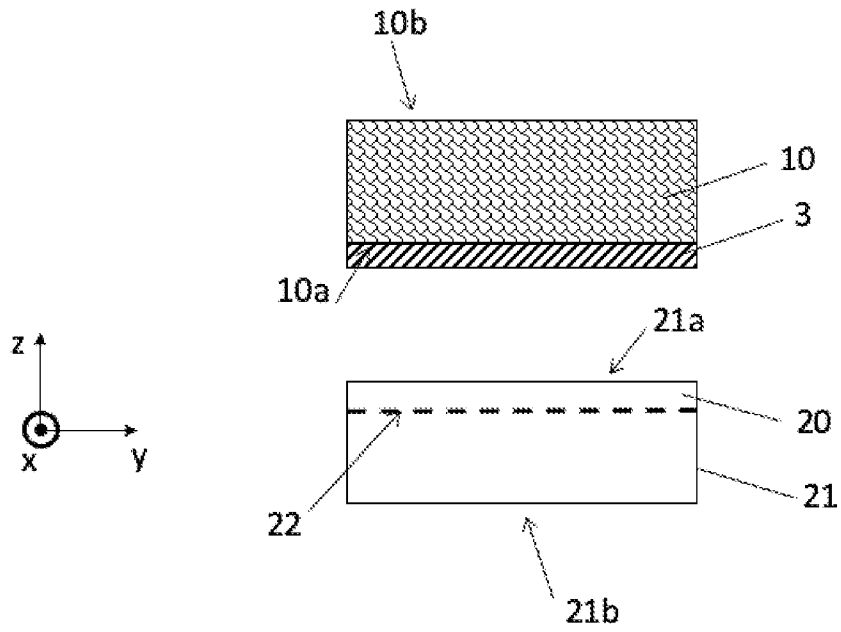
[Fig. 2c]



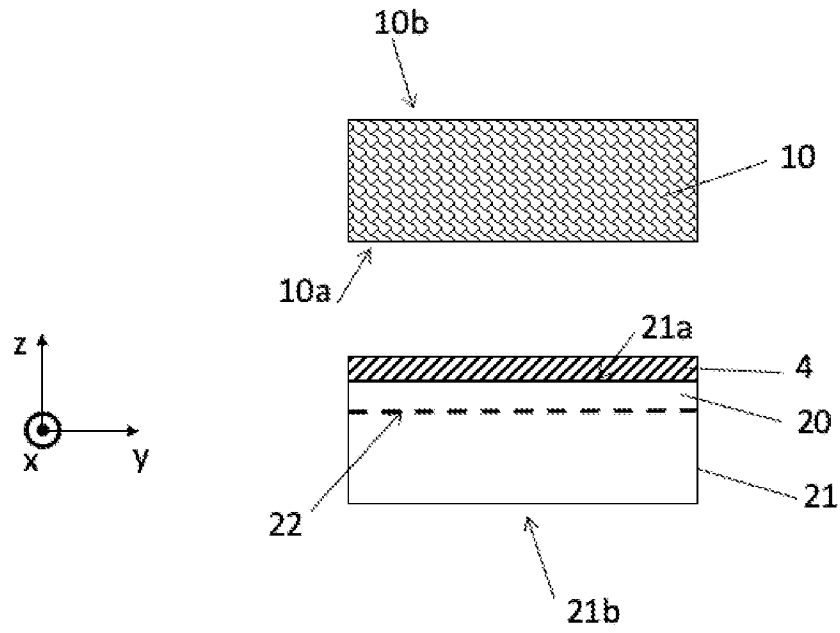
[Fig. 2d]



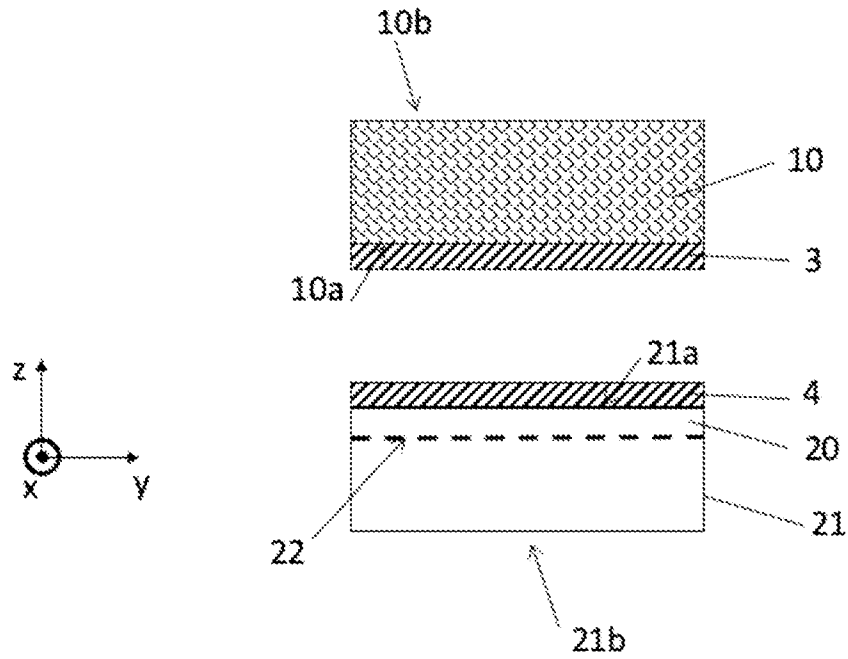
[Fig. 3a]



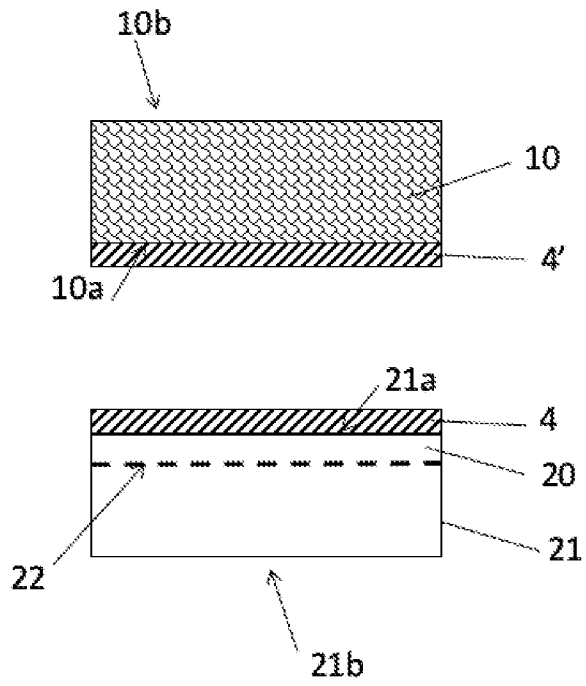
[Fig. 3b]



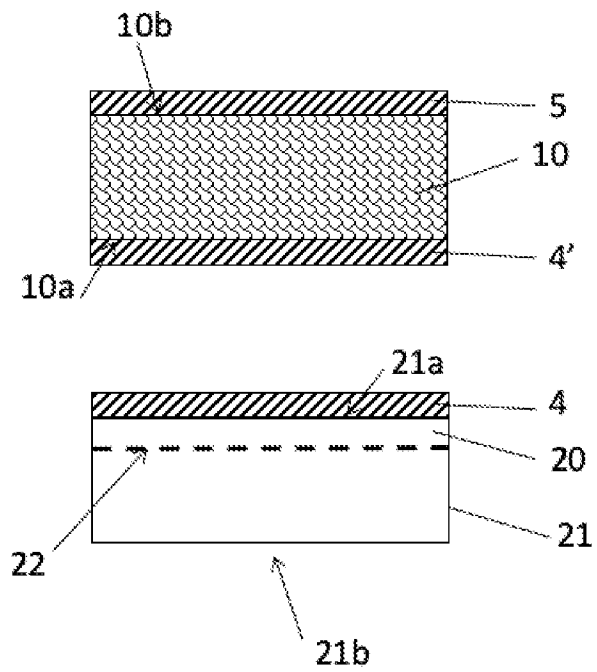
[Fig. 3c]



[Fig. 3d]



[Fig. 3e]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2022/051682

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 21/02(2006.01); H01L 21/18(2006.01)n; H01L 21/762(2006.01)n</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2019153616 A1 (YAGI KUNIAKI [JP] ET AL) 23 May 2019 (2019-05-23) cited in the application paragraphs [0034] - [0040]; figures 2A, 2B, 3A	1-14
A	US 5714395 A (BRUEL MICHEL [FR]) 03 February 1998 (1998-02-03) claim 1; figure 4	1-14
A	JP H08188408 A (TOYO TANSO CO) 23 July 1996 (1996-07-23) claims; figures	1-14
A	US 2019382918 A1 (NAGASAWA HIROYUKI [JP] ET AL) 19 December 2019 (2019-12-19) claims; figures 1A-1D	1-14
A	US 2003129780 A1 (AUBERTON-HERVE ANDRE [FR]) 10 July 2003 (2003-07-10) paragraphs [0080] - [0087]; figures 1a, 1b, 2, 3	1-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 09 December 2022		Date of mailing of the international search report 23 December 2022
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 Ott, André Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2022/051682

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2019153616	A1	23 May 2019	CN	108884593	A	23 November 2018
				EP	3441506	A1	13 February 2019
				JP	6619874	B2	11 December 2019
				JP	WO2017175799	A1	08 November 2018
				KR	20180126566	A	27 November 2018
				US	2019153616	A1	23 May 2019
				WO	2017175799	A1	12 October 2017
US	5714395	A	03 February 1998	DE	69617147	T2	04 July 2002
				EP	0763849	A1	19 March 1997
				FR	2738671	A1	14 March 1997
				JP	4049834	B2	20 February 2008
				JP	H09181011	A	11 July 1997
				KR	970018021	A	30 April 1997
				US	5714395	A	03 February 1998
JP	H08188408	A	23 July 1996	NONE			
US	2019382918	A1	19 December 2019	CN	110366611	A	22 October 2019
				EP	3591101	A1	08 January 2020
				JP	6743963	B2	19 August 2020
				JP	WO2018159754	A1	26 December 2019
				KR	20190121366	A	25 October 2019
				RU	2019130866	A	02 April 2021
				US	2019382918	A1	19 December 2019
WO	2018159754	A1	07 September 2018				
US	2003129780	A1	10 July 2003	AT	357740	T	15 April 2007
				AU	6767601	A	24 December 2001
				CN	1436369	A	13 August 2003
				DE	60127402	T2	29 November 2007
				EP	1292975	A1	19 March 2003
				FR	2810448	A1	21 December 2001
				JP	5374006	B2	25 December 2013
				JP	5461593	B2	02 April 2014
				JP	2004503942	A	05 February 2004
				JP	2012099848	A	24 May 2012
				KR	20030047900	A	18 June 2003
				TW	I266359	B	11 November 2006
				US	2003129780	A1	10 July 2003
				US	2005151155	A1	14 July 2005
				WO	0197282	A1	20 December 2001

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L21/02 ADD. H01L21/18 H01L21/762				
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				
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		
A	US 2019/153616 A1 (YAGI KUNIAKI [JP] ET AL) 23 mai 2019 (2019-05-23) cité dans la demande alinéas [0034] - [0040]; figures 2A, 2B, 3A -----	1-14		
A	US 5 714 395 A (BRUEL MICHEL [FR]) 3 février 1998 (1998-02-03) revendication 1; figure 4 -----	1-14		
A	JP H08 188408 A (TOYO TANSO CO) 23 juillet 1996 (1996-07-23) revendications; figures -----	1-14		
A	US 2019/382918 A1 (NAGASAWA HIROYUKI [JP] ET AL) 19 décembre 2019 (2019-12-19) revendications; figures 1A-1D ----- -/--	1-14		
<table border="0"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> 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 9 décembre 2022		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 23/12/2022		
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 Ott, André		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>US 2003/129780 A1 (AUBERTON-HERVE ANDRE [FR]) 10 juillet 2003 (2003-07-10) alinéas [0080] - [0087]; figures 1a, 1b, 2, 3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2022/051682

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2019153616 A1	23-05-2019	CN 108884593 A	23-11-2018
		EP 3441506 A1	13-02-2019
		JP 6619874 B2	11-12-2019
		JP WO2017175799 A1	08-11-2018
		KR 20180126566 A	27-11-2018
		US 2019153616 A1	23-05-2019
		WO 2017175799 A1	12-10-2017
US 5714395 A	03-02-1998	DE 69617147 T2	04-07-2002
		EP 0763849 A1	19-03-1997
		FR 2738671 A1	14-03-1997
		JP 4049834 B2	20-02-2008
		JP H09181011 A	11-07-1997
		KR 970018021 A	30-04-1997
		US 5714395 A	03-02-1998
JP H08188408 A	23-07-1996	AUCUN	
US 2019382918 A1	19-12-2019	CN 110366611 A	22-10-2019
		EP 3591101 A1	08-01-2020
		JP 6743963 B2	19-08-2020
		JP WO2018159754 A1	26-12-2019
		KR 20190121366 A	25-10-2019
		RU 2019130866 A	02-04-2021
		US 2019382918 A1	19-12-2019
US 2003129780 A1	10-07-2003	AT 357740 T	15-04-2007
		AU 6767601 A	24-12-2001
		CN 1436369 A	13-08-2003
		DE 60127402 T2	29-11-2007
		EP 1292975 A1	19-03-2003
		FR 2810448 A1	21-12-2001
		JP 5374006 B2	25-12-2013
		JP 5461593 B2	02-04-2014
		JP 2004503942 A	05-02-2004
		JP 2012099848 A	24-05-2012
		KR 20030047900 A	18-06-2003
		TW I266359 B	11-11-2006
		US 2003129780 A1	10-07-2003
		US 2005151155 A1	14-07-2005
WO 0197282 A1	20-12-2001		