

Description

Titre de l'invention : STRUCTURE COMPOSITE COMPRENANT UNE COUCHE MINCE MONOCRISTALLINE SUR UN SUBSTRAT SUPPORT EN CARBURE DE SILICIUM POLY- CRISTALLIN ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine des matériaux semi-conducteurs pour composants microélectroniques. Elle concerne en particulier une structure composite comprenant une couche mince monocristalline disposée sur un substrat support en carbure de silicium polycristallin. La couche mince monocristalline est préférentiellement en carbure de silicium, et la structure composite vise les applications d'électronique de puissance.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] 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.

[0003] 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 polycristallin (p-SiC). Les composants électroniques peuvent ensuite être élaborés sur et/ou dans la couche mince.

[0004] 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, entre un substrat donneur monocristallin et un substrat support, au niveau d'une interface de collage.

[0005] Des substrats en p-SiC, susceptibles de former des substrats supports, sont actuellement disponibles sur le marché. Néanmoins, leurs caractéristiques mécaniques, électriques, voire thermiques ne sont pas nécessairement optimaux pour l'obtention, à partir d'un procédé de transfert de couche mince, d'une structure composite de haute qualité, visant des applications de puissance.

- [0006] Comme évoqué plus haut, les applications d'électronique de puissance requièrent une excellente conduction électrique verticale dans la structure composite. La couche mince monocristalline peut ainsi être dopée, selon les besoins de l'application : par exemple, pour présenter un dopage de type n ou p et une résistivité inférieure à 30 mOhm.cm, à 10 mOhm.cm, voire inférieure à 1 mOhm.cm. L'interface d'assemblage de la structure composite doit être élaborée de manière à ne pas (ou très peu) augmenter la résistance électrique verticale. Enfin, une bonne conductivité électrique doit être assurée dans le substrat support de la structure composite. Il est donc requis de doper fortement (dopage de type n ou p) le substrat polycristallin pour atteindre une résistivité inférieure ou égale à 15 mOhm.cm, à 10 mOhm.cm, voire inférieure à 5 mOhm.cm. Cependant, il est connu qu'une concentration importante en dopants, par exemple azote, dans un matériau p-SiC peut être un facteur limitant pour obtenir une bonne planéité (faible déformation) du fait d'une densité importante de défauts générés.
- [0007] Or, il est essentiel d'utiliser des substrats supports présentant une courbure ou déformation faible. La courbure correspond à la flèche ou « warp » selon la terminologie anglo-saxonne, lequel équivaut à la différence algébrique des déviations du substrat par rapport à un plan de référence. Une courbure réduite est requise d'une part, pour que ces substrats supports soient compatibles avec un assemblage direct de bonne qualité et une forte énergie de collage, et d'autre part pour qu'ils ne soient pas susceptibles de provoquer des dommages dans la couche mince monocristalline durant ou après le procédé de transfert, du fait de contraintes mécaniques importantes. Une courbure faible est également importante pour garantir les performances des étapes de fabrication (par exemple, photolithographie) des composants sur/dans la couche mince de la structure composite. Le rayon de courbure (proportionnel à l'inverse du « warp ») des substrats supports en p-SiC est typiquement visé supérieur à environ 25 m (soit un « warp » inférieur à 100 μm pour un substrat de 150mm de diamètre, voire inférieur à 50 μm , voire idéalement inférieur à 30 μm).
- [0008] Enfin, un procédé de transfert de couche mince, basé sur un collage direct par adhésion moléculaire, est très dépendant de la qualité de surface des substrats assemblés. En particulier, une rugosité inférieure ou égale à 1 nm RMS (rugosité moyenne quadratique) est requise, couplée à une défektivité de surface (particules, trous... ou autres reliefs susceptibles de générer des défauts de collage) très faible, tant pour le substrat support que pour le substrat donneur. Notons que la dureté du SiC ainsi que la présence de grains à la surface du substrat support polycristallin complexifie grandement la préparation de surface et une qualité parfaite s'avère difficile à obtenir.
- [0009] De surcroit, il apparait souvent important que le substrat support garantisse une bonne conductibilité thermique (typiquement supérieure à 200W/(m.K), voire su-

périeure à 250 W/(m.K)), pour évacuer efficacement la chaleur, notamment générée par des composants de puissance. Or, la conductibilité thermique peut être défavorablement impactée par un fort taux de dopants qui nuit à la propagation des phonons, notamment du fait de la génération de défauts cristallins supplémentaires.

[0010] L'ensemble de ces spécifications est très complexe à atteindre avec les substrats en p-SiC actuellement disponibles.

[0011] Le document US10934634 propose un substrat en p-SiC pour lequel le taux de changement de la taille des grains entre les deux faces du substrat est inférieur à 0,43%, ce qui lui procure un rayon de courbure supérieur à 142 m, soit une très faible déformation. En outre, une face au moins dudit substrat présente une rugosité moyenne arithmétique inférieure à 1 nm. Ce procédé demeure néanmoins dispendieux et très consommateur en énergie et en matière, car une importante portion du p-SiC initialement déposé sur un substrat de graphite est retirée et perdue pour obtenir le substrat proposé en p-SiC (typiquement 2 mm initialement déposés pour former un substrat en p-SiC de 350 μ m).

[0012] Pour réduire les coûts de fabrication, il serait optimal de faire croître, par dépôt chimique en phase vapeur à vitesse élevée, une couche de p-SiC d'épaisseur la plus proche possible de l'épaisseur finale du substrat souhaité, avec une taille de grains très rapidement stabilisée après le début de la croissance de la couche, pour éviter toute surépaisseur inutile qui deviendrait nécessaire pour réduire ou éliminer le gradient de taille de grains dommageable à la planéité du substrat ; cela en assurant une concentration très élevée de dopants (par exemple de type n, tel que l'azote ou le phosphore), typiquement supérieur à 5×10^{19} atomes/cm³, préférentiellement supérieur à 10^{20} atomes/cm³, pour atteindre typiquement une résistivité du matériau inférieure à 15 mOhm.cm, voire inférieure à 10 mOhm.cm, et en autorisant une bonne conductibilité thermique.

[0013] OBJET DE L'INVENTION

[0014] La présente invention propose une structure composite comportant une couche mince en matériau monocristallin, en particulier en c-SiC, de haute qualité, disposée sur un substrat support en p-SiC présentant une très faible résistivité, une faible déformation et une bonne conductibilité thermique. Elle concerne également un procédé de fabrication d'une telle structure composite.

[0015] BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0016] L'invention concerne une structure composite pour la fabrication de composants microélectroniques comprenant une couche mince monocristalline, disposée sur un substrat support en carbure de silicium polycristallin, ledit substrat support présentant, sur chacune de ses faces, une orientation cristalline préférentielle selon laquelle :

[0017] - un coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40%, et

- [0018] - la somme de coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 50%, de préférence supérieure à 80%.
- [0019] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :
- le substrat support présente une résistivité électrique inférieure ou égale à 10 mOhm.cm, préférentiellement inférieure ou égale à 5 mOhm.cm, encore préférentiellement inférieure ou égale à 3 mOhm.cm ;
 - le substrat support est dopé à l'azote avec une concentration, mesurée par spectroscopie de masse des ions secondaires, supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{19}$ atomes/cm³, préférentiellement supérieure ou égale à $1,0 \times 10^{20}$ atomes/cm³, encore préférentiellement supérieure ou égale à $1,5 \times 10^{20}$ atomes/cm³, ou encore préférentiellement supérieure ou égale à 3×10^{20} atomes/cm³ ;
 - le coefficient de texture C_{422} est inférieur à 20%, préférentiellement inférieur à 15%, encore préférentiellement inférieur à 10% ;
 - la somme des coefficients de texture $C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 1%, préférentiellement supérieure à 2%, encore préférentiellement supérieure à 5% ;
 - la couche mince est composée de carbure de silicium ;
 - la couche mince est composée de nitrure de gallium ;
 - la couche mince est composée d'oxyde de gallium ;
 - la couche mince est composée de diamant ;
 - la structure composite comprend une couche intermédiaire continue ou discontinue, disposée entre la couche mince et le substrat support et composée d'au moins un matériau métallique ou semi-conducteur ;
 - la couche intermédiaire est composée de silicium, de carbure de silicium, de tungstène, et/ou de titane ;
 - le substrat support présente une épaisseur comprise entre 50 microns et 650 microns ;
 - la structure composite comprend un composant électronique sur et/ou dans la couche mince et comprenant optionnellement un contact électrique au niveau de la face arrière du substrat support.
- [0020] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure composite comportant une couche mince monocristalline disposée sur un substrat support en carbure de silicium polycristallin, le procédé de fabrication comprenant les étapes suivantes :
- [0021] a) la fourniture d'un substrat support en carbure de silicium polycristallin présentant, sur chacune de ses faces, une orientation cristalline préférentielle selon laquelle :
- [0022] - un coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40%, et
- [0023] - la somme de coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 50%, de

préférence supérieure à 80%,

- [0024] b) la fourniture d'un substrat donneur en un matériau monocristallin,
- [0025] c) le transfert d'une couche mince issue du substrat donneur sur le substrat support.
- [0026] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- l'étape c) de transfert comprend :
 - c1) la formation d'un plan fragile enterré dans le substrat donneur, délimitant la couche mince entre ledit plan fragile enterré et une face avant du substrat donneur,
 - c2) l'assemblage par collage par adhésion moléculaire du substrat donneur sur le substrat support, directement ou via une couche intermédiaire,
 - c3) la séparation le long du plan fragile enterré pour donner lieu au transfert de la couche mince sur le substrat support ;
- l'étape c2) comprend, avant l'assemblage des deux substrats :
 - la formation d'une couche intermédiaire sur le substrat donneur, avant ou après l'étape c1), et/ou
 - la formation d'une couche intermédiaire sur le substrat support, la couche intermédiaire étant formée en au moins un matériau métallique ou semi-conducteur, choisi parmi le silicium, le carbure de silicium, le tungstène et le titane ;
- le procédé de fabrication comprend en outre l'élaboration de composants électroniques sur et/ou dans la couche mince de la structure composite ;
- l'élaboration de composants électroniques comprend notamment une étape d'homoépitaxie ou d'hétéroépitaxie sur la couche mince.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0027] 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 :
- [0028] [Fig.1] La [Fig.1] présente une structure composite conforme à l'invention ;
- [0029] [Fig.2] La [Fig.2] présente une table répertoriant les 10 pics de diffraction, classés par indices de Miller (hkl) croissants, pris en compte dans un substrat SiC de polytype 3C et mesurables par diffraction aux rayons X ; sont également indiquées dans la table, la position des pics et leur intensité théorique ;
- [0030] [Fig.3a]
- [0031] [Fig.3b] Les figures 3a et 3b présentent des images obtenues par microscopie électronique à balayage des électrons rétrodiffusés d'une section transversale, respectivement d'un disque brut en p-SiC et d'un substrat support issu dudit disque brut, le substrat support étant mis en œuvre pour fabriquer des structures composites

conformes à la présente invention ;

- [0032] [Fig.4] La [Fig.4] présente une structure composite conforme à l'invention ;
- [0033] [Fig.5a]
- [0034] [Fig.5b]
- [0035] [Fig.5c]
- [0036] [Fig.5c']
- [0037] [Fig.5c'']
- [0038] [Fig.5d] Les figures 5a, 5b, 5c, 5c', 5c'' et 5d présentent des étapes du procédé de fabrication conforme à l'invention.
- [0039] Les mêmes références sur les figures pourront être utilisées pour des éléments de même type. Certaines 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

- [0040] La présente invention concerne une structure composite 100 particulièrement adaptée pour la fabrication de composants microélectroniques comprenant une couche mince 10 monocristalline, en particulier en carbure de silicium, en diamant, en silicium, en composés semi-conducteurs II-VI ou III-V (par exemple AlN, GaN,...), en oxyde de gallium (Ga₂O₃), ou en tout matériau semi-conducteur à large bande interdite, disposée sur un substrat support 20 en carbure de silicium polycristallin ([Fig.1]).
- [0041] Dans un plan principal (x,y), la structure composite 100 se présente préférentiellement sous la forme d'une plaquette circulaire (« wafer » selon la terminologie anglo-saxonne) de diamètre de 100mm, 150mm, 200mm, voire plus. Elle pourrait néanmoins se présenter sous toute autre forme permettant son traitement ultérieur pour la fabrication de composants. L'épaisseur de la structure composite 100 s'étend selon l'axe z sur les figures.
- [0042] La couche mince 10 de la structure composite 100 présente une épaisseur typiquement comprise entre quelques dizaines de nm et quelques centaines de nm, par exemple, entre 50nm et 800nm. Nous verrons par la suite que des étapes d'épitaxie peuvent être mises en œuvre sur ladite couche mince 10, de manière à l'épaissir (homoépitaxie) ou à faire croître d'autres matériaux (hétéroépitaxie), pour les besoins des composants électroniques à fabriquer.
- [0043] La couche mince 10 présente une résistivité électrique adaptée à l'application et aux composants visés. Par exemple pour des composants de puissance, sa résistivité est habituellement inférieure à 30mOhm.cm, à 10mOhm.cm, voire à 1mOhm.cm, avec un

dopage de type n (dopant azote ou phosphore).

- [0044] Le substrat support 20 correspond au support mécanique de la structure composite 100. Les dimensions latérales dans le plan principal (x,y) du substrat support 20 (son diamètre en particulier) sont les mêmes que celles de la structure composite 100. Il est à noter que la couche mince 10 pourra présenter une dimension latérale légèrement inférieure, du fait du procédé de transfert : en effet, une couronne périphérique du substrat support 20 est habituellement dépourvue de couche mince 10 car la tombée de bord ou le chanfrein du substrat 20 empêchent l'assemblage et le report effectif de ladite couche 10.
- [0045] Dans la structure composite 100, le substrat support 20 présente une épaisseur typiquement comprise entre environ 50 μm et plusieurs centaines de micromètres, par exemple entre 50 μm et 650 μm , ou entre 100 μm et 450 μm , ou encore entre 200 μm et 350 μm . Habituellement, l'épaisseur d'un substrat support 20 de diamètre 150 mm est dans la gamme 350 - 450 μm , et l'épaisseur d'un substrat support 20 de diamètre 200 mm, dans la gamme 500 - 650 μm .
- [0046] Comme évoqué en introduction, une bonne conductivité électrique verticale est requise pour les applications de puissance : le substrat support 20 présente une résistivité électrique inférieure ou égale à 10 mOhm.cm, préférentiellement inférieure ou égale à 5 mOhm.cm, voire encore préférentiellement, inférieure ou égale à 3 mOhm.cm. Lorsque la couche mince 10 est de type n, le type de dopage du substrat support 20 est habituellement choisi identique, soit un dopage typique à l'azote voire au phosphore. Pour obtenir la faible résistivité énoncée ci-dessus, la concentration en dopant (pouvant être mesurée par spectroscopie de masse des ions secondaires) est généralement supérieure à $5,0 \times 10^{19}$ atomes/cm³, préférentiellement supérieure ou égale à $1,0 \times 10^{20}$ atomes/cm³, supérieure ou égale à $1,5 \times 10^{20}$ atomes/cm³ ou encore supérieure ou égale à 3×10^{20} atomes/cm³.
- [0047] Le rayon de courbure du substrat support 20 est supérieur à 25m, avantageusement supérieur ou égal à 50m. A titre d'exemple, un substrat support 20 de 150mm de diamètre présente une courbure (ou « warp ») inférieure ou égale à 100 μm , inférieure ou égale 50 μm , voire inférieure ou égale à 30 μm ; un substrat support 20 de 200mm de diamètre présente une courbure (ou « warp ») inférieure ou égale à 150 μm , inférieure ou égale à 100 μm , inférieure ou égale à 70 μm , voire inférieure ou égale à 40 μm .
- [0048] La gamme de rayon de courbure du substrat support 20 rend ce dernier parfaitement compatible avec les spécifications d'une structure composite 100 munie d'une couche mince monocristalline 10, avec le procédé de fabrication d'une telle structure 100 et avec l'élaboration ultérieure de composants microélectroniques sur et/ou dans la couche mince 10. Notons que la courbure de la structure composite 100 reste proche de

la courbure du substrat support 20.

- [0049] Le substrat support 20, en p-SiC de polytype 3C, présente en outre, sur chacune de ses faces, une orientation cristalline préférentielle. Cette orientation cristalline est particulièrement favorable à l'obtention d'une faible courbure, d'une bonne conductibilité thermique, en parallèle d'une forte concentration de dopants.
- [0050] L'orientation cristalline préférentielle se caractérise ici avec des proportions particulières de différents coefficients de texture. Un coefficient de texture peut s'exprimer en pourcentage et quantifie l'orientation préférentielle moyenne des cristallites du substrat support 20 par rapport à la normale à la surface dudit substrat 20. Rappelons que les coefficients de texture peuvent être mesurés grâce à la méthode décrite par G.Harris (« X. Quantitative measurement of preferred orientation in rolled uranium bars », Philosophical Magazine Series 7, 43:336, 113-123, 1952). En pratique, ils sont mesurés à partir des pics de diffraction collectés par un diffractomètre aux rayons X du type PANalytical X'Pert PRO MPD, par la méthode θ -2 θ sur une plage d'angles allant de 10° à 135° (échelle 2 θ). Sur cette plage, les dix pics de diffraction figurant dans la table (présentée en [Fig.2]) et classés selon des indices de Miller (hkl) croissants, peuvent être pris en compte dans un substrat SiC de polytype 3C.
- [0051] Un coefficient de texture C_{hkl} est calculé à partir de l'intensité du pic I_{hkl} , proportionnelle à l'aire sous le pic de l'échantillon, et de l'intensité théorique I_{0hkl} d'une poudre qui peut être obtenue à partir des pourcentages théoriques édités par l'ICDD (International Centre for Diffraction Data). Un coefficient de texture C_{hkl} s'exprime comme suit :
- [0052] $C_{hkl} = (I_{hkl} / I_{0hkl}) / (1/N \times \sum (I_{hkl} / I_{0hkl}))$, avec N le nombre de pics pris en compte.
- [0053] L'orientation cristalline préférentielle du substrat support 20 est caractérisée par un coefficient de texture C_{422} inférieur à 40%, et par le fait que la somme des coefficients de texture $C_{220} + C_{200} + C_{400}$ est supérieure à 50%.
- [0054] Préférentiellement, la somme des coefficients de texture $C_{220} + C_{200} + C_{400}$ est supérieure à 60%, à 70%, voire à 80%. La contribution $C_{200} + C_{400}$ peut avantageusement être supérieure à 1%, à 2%, voire à 5%.
- [0055] De manière également préférentielle, le coefficient de texture C_{422} est inférieur à 20%, inférieur à 15%, voire inférieur à 10%.
- [0056] La [Fig.3b] présente un exemple de texture d'un substrat support 20 pour une structure composite 100 selon l'invention. L'image a été obtenue par microscopie électronique à balayage (MEB) par électrons rétrodiffusés (EBSD), dans le plan transverse (y,z), c'est-à-dire dans une section transversale (en coupe) du substrat support 20 ; la barre blanche en bas à droite de l'image indique une échelle de 100 μ m. La texture observée est orientée préférentiellement (220) avec un coefficient de texture C_{220} supérieur ou égal à 90% et un coefficient de texture C_{422} inférieur 10%.

- [0057] Dans cet exemple, le substrat support 20 présente une concentration d'azote à $1,8 \times 10^{20}$ atomes/cm³ et une résistivité électrique mesurée de 1,2 mOhm.cm par la méthode des 4 pointes. La conductibilité thermique, de l'ordre de 270 W/(m.K) est déduite d'une mesure de diffusivité thermique par la méthode flash laser. Enfin, la déformation (warp) est mesurée inférieure à 100 µm sur un substrat de diamètre 150 mm et d'épaisseur comprise entre 350 µm et 450 µm.
- [0058] Les textures préférentielles, associées au fort dopage, permettent l'obtention d'un substrat support 20 répondant aux spécifications physiques, mécaniques et électriques attendues dans la structure composite 100, à savoir, une excellente planéité (faible courbure), une faible résistivité électrique et une très bonne conductibilité thermique.
- [0059] Selon un mode particulier de l'invention, la structure composite 100 comprend une couche intermédiaire 30 continue ou discontinue, disposée entre la couche mince 10 et le substrat support 20 et composée d'au moins un matériau métallique ou semi-conducteur ([Fig.4]). Comme cela sera décrit plus loin, en référence à un procédé de fabrication de la structure composite 100, la couche intermédiaire 30 pourra être formée du côté de la couche mince 10, du côté du substrat support 20 ou des deux côtés, préalablement à l'assemblage le long d'une interface de collage 40.
- [0060] La couche intermédiaire 30 peut être par exemple composée de silicium, de carbure de silicium, de tungstène et/ou de titane. Son épaisseur est typiquement comprise entre quelques nm et quelques centaines de nm, préférentiellement entre 2nm et 50nm.
- [0061] La présente invention concerne également un procédé de fabrication de la structure composite 100.
- [0062] Le procédé comprend une première étape a) de fourniture d'un substrat support 20 en carbure de silicium polycristallin présentant une orientation cristalline préférentielle selon laquelle :
- le coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40%, et
 - la somme des coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 50%.
- [0063] Préférentiellement, pour adresser les applications d'électronique de puissance, le substrat support 20 présente un dopage à l'azote ou au phosphore permettant d'atteindre une résistivité électrique inférieure ou égale à 10 mOhm.cm, à 5 mOhm.cm, voire inférieure à 3 mOhm.cm.
- [0064] Le rayon de courbure du substrat support 20 est supérieur à 25m, avantageusement supérieur ou égal à 50m.
- [0065] L'étape a) met en œuvre une technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD pour « Chemical Vapor Deposition »). Cette technique fait intervenir un mélange gazeux comprenant au moins un gaz précurseur de silicium (tel qu'un silane ou un chlorosilane) et/ou au moins un gaz précurseur de carbone (tel qu'un alcane ou un alcène), et/ou au moins un gaz précurseur de silicium et de carbone (tel que le méthyl-

trichlorosilane, abrégé MTCS), et, si nécessaire, au moins un gaz dopant. Dans le cas d'un dopage à l'azote, le gaz dopant pourra par exemple être le NH_3 , le N_2H_4 , le N_2). Notons que le gaz dopant peut aussi être un précurseur de carbone et/ou de silicium (par exemple une amine telle que le H_2NCH_3). Ces gaz peuvent être dilués dans un gaz porteur, qui peut être un gaz réducteur tel que l'hydrogène et/ou un gaz inerte tel que l'argon. A partir de ce mélange gazeux, la couche de SiC polycristallin se forme sur un substrat dit de croissance.

- [0066] Ce mélange gazeux est admis dans un réacteur se trouvant à haute température où les gaz précurseurs sont décomposés et réagissent sur la surface du substrat de croissance, préférentiellement en graphite isostatique à grain fin et purifié, pour former le polytype 3C-SiC dont les propriétés de résistance mécanique et thermique, le coefficient de dilatation thermique et la pureté sont parfaitement compatibles avec les spécifications de la structure composite 100. Le polytype 3C-SiC, par ailleurs, peut être dopé avec de l'azote jusqu'à des niveaux très élevés, typiquement 10^{20} atomes/ cm^3 , et présenter ainsi une résistivité inférieure à 10mOhm.cm, sans dégradation de la qualité du substrat qui serait préjudiciable à la qualité de la structure composite et ultérieurement aux performances des composants microélectroniques. Enfin, c'est un matériau capable de résister aux procédés à hautes températures que devra subir le substrat support 20 pendant la fabrication de la structure composite 100 et des composants.
- [0067] La température du réacteur lors du dépôt par CVD du SiC doit se situer entre environ 1000°C et environ 1600°C, préférentiellement entre environ 1100°C et environ 1400°C, voire entre environ 1200°C et environ 1400°C. Dans cette plage de température, les vitesses de dépôt peuvent évoluer dans des plages assez larges, du micromètre/h à plus de 100 micromètres/h. Avantagusement, la pression totale dans le réacteur ne dépasse pas 350 mbar, voire 300 mbar.
- [0068] En modifiant les paramètres du procédé CVD tels que la température, la pression partielle du précurseur et potentiellement le pourcentage de gaz dopant, il est possible de faire évoluer l'orientation cristalline/la texture de la couche p-SiC déposée.
- [0069] A titre d'exemple, pour obtenir un substrat support 20 de diamètre 150 mm, le dépôt est réalisé sur un cylindre de graphite en forme de disque, de diamètre approchant un nominal de 150 mm et d'épaisseur supérieure à 2 mm pour assurer une planéité suffisante du substrat. Le réacteur peut comprendre une pluralité de ces disques, dont le diamètre peut être identique ou différent. Les deux faces des disques ont de préférence une planéité $< 15 \mu\text{m}$, obtenue par un usinage suffisamment précis. Le coefficient de dilatation thermique du graphite isostatique est choisi judicieusement pour être compatible avec la couche de p-SiC lors du refroidissement après dépôt. Un substrat commercialisé par la société MERSEN sous la désignation « grade 2303 » peut être utilisé.

- [0070] A l'issue du dépôt, le substrat de croissance en graphite, revêtu par une couche de dépôt de p-SiC, est usiné, puis oxydé à l'air typiquement à 900°C pour éliminer tout résidu de graphite. Notons que le retrait du graphite pourrait également être opéré par des techniques d'usinage uniquement mécaniques ou encore essentiellement par brulage/oxydation. Un disque de p-SiC brut est récupéré pour chaque face d'un substrat de croissance et présente une courbure du fait de la relaxation des contraintes de la couche déposée.
- [0071] Le disque brut en p-SiC (éventuellement après avoir été débarrassé, au moins sur sa face qui était en contact avec le substrat de croissance, d'une épaisseur de matière d'environ 100 µm ou plus) est doté de caractéristiques cristallographiques particulières, à savoir une orientation cristalline préférentielle qui est caractérisée sur chacune de ses deux faces par :
- un coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40 %, de préférence inférieur à 30%, et
 - un coefficient de texture C_{220} est supérieur à 50 %, et de préférence supérieur à 60%, voire supérieur à 80 %.
- [0072] Un traitement thermique est ensuite appliqué au disque brut en p-SiC, dans une gamme de températures allant de 1800°C à 2300°C. Lors de ce traitement thermique, le disque brut est avantageusement maintenu à plat sur une surface plane. Ce traitement thermique conduit à une modification spécifique de la taille des grains p-SiC et de leur orientation cristallographique, qui n'est observée que dans le cas où le disque brut présente les caractéristiques cristallographiques spécifiques précitées, après dépôt. Ce traitement thermique est effectué à une température comprise entre 1800°C et 2300°C, préférentiellement comprise entre 1850°C et 2200°C, plus préférentiellement comprise entre 1900°C et 2150°C, et encore plus préférentiellement comprise entre 1950°C et 2150°C. Sa durée est avantageusement d'au moins 10 minutes, et se situe avantageusement entre environ 1 heure et environ 12 heures, et de préférence entre environ 2 heures et environ 9 heures. Une durée trop longue peut conduire à une recristallisation non souhaitée, avec une durée trop courte le traitement thermique peut être inefficace.
- [0073] Le disque p-SiC brut subit ensuite des amincissements par rectification grossière puis fine. Ces étapes de rectification, connues de l'état de la technique, visent notamment à éliminer une épaisseur suffisante (au moins 100 µm) du côté de la face du disque qui était en contact avec le graphite, pour retirer la zone de croissance initiale des cristaux, génératrice de fortes contraintes. Elles permettent également, par enlèvement de matière sur les deux faces du disque brut, d'obtenir un disque de p-SiC intermédiaire qui présente une deuxième épaisseur, proche de l'épaisseur finale visée pour le substrat support 20, et une faible déformation. Cette deuxième épaisseur est typiquement inférieure à 550 µm, préférentiellement comprise entre 350 µm et 450 µm.

- [0074] Notons que les étapes précitées d'amincissement par rectification et de traitement thermique peuvent être interverties ou encore imbriquées (le traitement thermique peut par exemple être opéré après une première séquence de rectification appliquée au disque brut, et avant une deuxième séquence de rectification qui aboutira au disque intermédiaire).
- [0075] Grâce au traitement thermique énoncé, on obtient un disque intermédiaire en p-SiC qui présente une orientation cristalline préférentielle, qui sera également celle du substrat support 20, définie par :
- [0076] - un coefficient de texture C_{422} inférieur à 40%, et
- la somme de coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ supérieure à 50%, de préférence supérieure à 80%.
- [0077] De manière préférée, la contribution $C_{200} + C_{400}$ est supérieure à 1%, supérieure à 2 %, voire supérieure à 5%. C'est cette contribution $C_{200} + C_{400}$ à l'orientation cristallo-graphique caractérisée par une texture très dominante C_{220} qui est générée par le traitement thermique spécifique auquel est soumis le disque brut ou intermédiaire.
- [0078] Avantagusement, le disque intermédiaire présente sur chacune de ses deux faces un coefficient de texture C_{422} qui est inférieur à 20 %, de préférence inférieur à 15 %, et encore plus préférentiellement inférieur à 10 %.
- [0079] Le traitement thermique d'un disque brut (avant ou après tout ou partie des étapes de rectification) conduit d'abord à un réarrangement de défauts cristallographiques aux joints de grains (qui induit la relaxation de contraintes résiduelles aux joints de grains), puis à une recristallisation par nucléation aux joints de grains, suivi d'un grossissement de ces grains. Ainsi, la taille de grains initiale peut influencer sur la microstructure obtenue à l'issue du traitement thermique. La nature des défauts cristallographiques est également déterminante : pour faciliter une recristallisation qui relaxe de manière efficace les contraintes, les grains de petite taille doivent être bordés de joints de grains à forte désorientation (connus sous le sigle HAGB – High Angle Grain Boundaries). Ces joints de grains à forte désorientation contiennent une énergie stockée particulièrement importante, et sont de ce fait plus mobiles que les joints de grains à faible désorientation. Leur énergie interne est la force motrice pour le réarrangement des défauts aux joints de grains. La texture particulière du p-SiC du disque brut, soumis au traitement thermique, assure la présence de tels joints de grains à forte désorientation.
- [0080] Sans être lié par cette théorie, il est également supposé que le traitement thermique du disque en p-SiC permet une meilleure diffusion des dopants, notamment de l'azote, et conduit à une incorporation des atomes dopants dans le réseau cristallographique qui est électroniquement plus efficace. Cela permet d'obtenir un disque en SiC polycristallin qui est dopé avec une concentration d'azote supérieure à 5×10^{19} atomes/cm³, de préférence supérieure à 1×10^{20} atomes/cm³, et encore plus préférentiellement su-

périeure à $1,5 \times 10^{20}$ atomes/cm³, procurant de très faibles résistivités, inférieures à 10 mOhm.cm, à 5 mOhm.cm, voire encore inférieure à 3 mOhm.cm.

- [0081] Enfin, le disque p-SiC intermédiaire est soumis à des préparations de surface classiques par rectification fine et/ou par polissage pour aboutir au substrat support 20 en p-SiC présentant les caractéristiques clés énoncées précédemment, lors de la description de la structure composite 100.
- [0082] Compte tenu de l'orientation cristalline préférentielle définie, la courbure du disque brut en p-SiC demeure dans une gamme raisonnable pour permettre l'élaboration d'un substrat support 20 à faible courbure, à partir d'un disque brut d'épaisseur économiquement viable. Cette courbure peut être mesurée grâce à un capteur confocal en lumière blanche qui scanne une surface du disque ou substrat, ce dernier étant posé sur un plan support de l'outil de mesure. On mesure la différence entre l'élévation maximale et minimale de la surface scannée par le capteur par rapport audit plan support. Cette surface peut être interpolée par un plan médian, par la méthode des moindres carrés. Si ce plan médian est parallèle au plan support, la mesure de déformation est égale au « Warp ». Cette méthode de mesure de la déformation majore la mesure du Warp dans le cas général.
- [0083] A titre d'exemple, la courbure (« warp ») d'un disque en p-SiC brut de diamètre 150mm et d'épaisseur inférieure à 1000 µm est visée inférieure ou égale à 250 µm. Il est ainsi possible après rectification et polissage d'obtenir un substrat support 20 d'épaisseur typiquement inférieure à 500 µm et de courbure (« warp ») inférieure à 100 µm, voire inférieure à 50 µm, voire encore inférieure à 30 µm.
- [0084] En référence à l'exemple de substrat support 20 illustré en [Fig.3b], un dépôt CVD de p-SiC d'épaisseur 800 µm a été fait sur un substrat de croissance en graphite de diamètre 150mm, à une température d'environ 1277°C, avec une pression partielle de 16 mbar de MTCS et une fraction molaire de NH₃ de 4%. Le disque brut en p-SiC obtenu présente une orientation cristallographique préférentielle avec la texturation suivante : $C_{220} = 93\%$, $C_{422} = 3\%$, et $C_{111} + C_{222} + C_{511} = 2\%$, comme illustré sur la [Fig.3a]. La concentration en azote, mesurée par SIMS à $1,8 \times 10^{20}$ atomes/cm³, procure une résistivité électrique de 10 mOhm.cm (méthode des 4 pointes). La conductibilité thermique est évaluée à 240 W/m/K, valeur élevée malgré les grains de petite taille et le dopage élevé. La courbure du disque brut est d'environ 210 µm.
- [0085] Un traitement thermique à 2000°C est alors appliqué au disque brut en p-SiC, en le maintenant à plat sur une surface plane. Après quoi, les étapes d'amincissement par rectification et polissage sont opérées pour obtenir séquentiellement le disque intermédiaire et le substrat support 20.
- [0086] Le disque brut montrait un coefficient de texture C_{220} dominant, avec une composante (111) significative proche de l'interface avec le substrat de croissance. L'épaisseur

riche en texture C_{111} a été enlevée par rectification. Le traitement thermique a induit une évolution significative de la microstructure et de l'orientation des grains ([Fig.3b]) : les petits grains d'orientation (220) tendent à coalescer et on obtient une orientation mixte (111) + (220) + (200). On observe peu de petits grains d'orientation (111).

- [0087] Dans cet exemple, comme énoncé précédemment, le substrat support 20 présente une concentration d'azote à $1,8 \times 10^{20}$ atomes/cm³ et une résistivité électrique mesurée de 1,2 mOhm.cm. La conductibilité thermique est de l'ordre de 270W/(m.K). Enfin, la courbure est mesurée inférieure à 100 μ m sur un substrat de diamètre 150 mm et d'épaisseur comprise entre 350 μ m et 450 μ m.
- [0088] De manière empirique, les grains peuvent présenter un diamètre moyen (mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe z, par exemple par EBSD) supérieur ou égal à 5 μ m, notamment supérieur ou égal 10 μ m, voire 20 μ m ou 50 μ m dans certains substrats supports 20 après le traitement thermique précité. En particulier, les grains d'orientation (200) et (400) présentent un diamètre moyen supérieur ou égal à 5 μ m, notamment supérieur ou égal 10 μ m, voire 20 μ m ou 50 μ m, résultat du traitement thermique qui cause la coalescence et la recristallisation de certains grains d'orientation (220).
- [0089] Dans la mesure du diamètre moyen d'un grain, il est considéré que différents cristaux formant une ou plusieurs macles constituent un même grain et non des grains distincts.
- [0090] Ainsi, la taille des grains tend à augmenter au cours du traitement thermique, leur diamètre moyen pouvant être multiplié au moins par 2, fréquemment par 5 voire par 10 ou 50, en fonction des conditions et de la durée du traitement thermique. Cela est notamment le cas pour les grains d'orientation (220), qui se révèlent présenter une tendance plus importante à la coalescence et à la recristallisation que notamment les grains d'orientation (422). Ainsi, les disques bruts dont la microstructure présente un coefficient de texture C_{422} inférieur à 40% et une somme de coefficients de texture $C_{220} + C_{200} + C_{400}$ supérieure à 50% se révèlent être particulièrement sensibles aux traitements thermiques. Or, l'augmentation de la taille des grains pendant le traitement thermique est corrélée à une augmentation de la conductibilité thermique, ce qui permet donc d'atteindre des valeurs de conductibilité thermique élevées telles que les 270 W/(m.K) déjà mentionnées.
- [0091] La coalescence de grains voisins change également de manière importante leur morphologie, puisque la croissance par CVD tend à être très orientée selon la direction de l'épaisseur du disque brut, avec des grains avant traitement thermique s'étendant principalement selon l'axe Z visibles sur la [Fig.3a]. Comme visible sur la [Fig.3b], le traitement thermique entraîne l'apparition de grains de morphologie très différente.
- [0092] En particulier, le disque brut ou substrat support 20 comprend des grains présentant un rapport d'aspect, défini comme étant le rapport entre, au numérateur, la longueur du

grain selon l'axe Z et, au dénominateur, le diamètre du grain selon une direction perpendiculaire à l'axe Z, inférieur ou égal à 10, notamment inférieur ou égal à 5, en particulier inférieur ou égal à 3. Notamment, au moins 5 % des grains présentent un tel rapport d'aspect.

- [0093] La face 20a du substrat support 20 ([Fig.5a]) destinée à recevoir la couche mince 10 présente préférentiellement une rugosité inférieure ou égale à 1nm RMS (mesurée par microscopie à force atomique sur des scans de 20 μm x 20 μm), encore préférentiellement inférieure ou égale à 0,5nm RMS. La face du substrat support 20 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.
- [0094] L'étape a) du procédé peut éventuellement inclure un traitement thermique appliqué au substrat support 20, à une température supérieure ou égale à 1500°C, typiquement entre 1500°C et 2000°C, de manière à stabiliser sa structure polycristalline. En effet, ces gammes de températures sont susceptibles d'être appliquées plus tard dans le procédé pour la fabrication de la structure composite 100.
- [0095] Le procédé de fabrication selon l'invention comprend ensuite une étape b) de fourniture d'un substrat donneur 1 en un matériau monocristallin dont sera issue la couche mince 10 ([Fig.5a]). Comme évoqué précédemment en référence à la structure composite 100, le matériau monocristallin peut être le carbure de silicium de polytype 4H, 6H ou 3C, le diamant, le silicium, les composés semi-conducteurs II-IV ou III-V (notamment GaN), etc. Le substrat donneur 1 se présente préférentiellement sous la forme d'une plaquette de diamètre 100mm, 150mm, 200mm voire plus (identique à ou très proche de celui du substrat support 20) et d'épaisseur comprise typiquement entre 300 μm et 800 μm . Il présente une face avant 1a et une face arrière 1b. 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 μm x 20 μm . Le type de dopage et la résistivité du substrat donneur 1 sont définis en fonction des besoins des composants qui seront élaborés sur et/ou dans la couche mince 10 de la structure composite 100.
- [0096] Enfin, le procédé comprend une étape c) de transfert d'une couche mince 10 issue du substrat donneur 1 sur le substrat support 20. Il existe différentes options, connues de l'état de la technique pour effectuer un transfert de couche (amincissement mécanique, chimique ou mécano-chimique, séparation au niveau d'une couche poreuse présente dans le substrat donneur 1...), qui ne seront pas décrites ici de manière exhaustive.
- [0097] Selon un mode préféré, l'étape c) du procédé implique une implantation d'espèces légères et un assemblage par collage direct, selon le principe du procédé Smart Cut™.
- [0098] Une première phase c1) correspond à l'introduction d'espèces légères dans le substrat donneur 1 pour former un plan fragile enterré 11 délimitant, avec une face avant 1a du

substrat donneur 1, la couche mince 10 à transférer ([Fig.5b]). Notons que même si la couche mince 10 à transférer est illustrée comme une couche continue, elle pourrait également être constituée de pavés discontinus, par exemple préparés à la surface du substrat donneur 1.

- [0099] 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 1, cohérente avec l'épaisseur de la couche mince 10 visée. Ces espèces légères vont former, autour de la profondeur déterminée, des microcavités distribuées dans une fine couche parallèle à la surface libre 1a du substrat donneur 1, soit parallèle au plan (x,y) sur les figures. On appelle cette fine couche le plan fragile enterré 11, par souci de simplification.
- [0100] 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 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ et $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$, pour délimiter une couche mince 10 présentant une épaisseur de l'ordre de 100nm à 1500nm. Notons qu'une couche de protection pourra être déposée sur la face avant 1a du substrat donneur 1, 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.
- [0101] L'étape c) de transfert comprend ensuite une deuxième phase c2) d'assemblage du substrat donneur 1, du côté de sa face avant 1a, sur le substrat support 20, du côté de sa première face 20a, par collage par adhésion moléculaire, le long d'une interface de collage 40 ([Fig.5c]).
- [0102] Optionnellement, une couche intermédiaire 30 peut être formée sur la face avant 1a du substrat donneur 1, avant ou après l'introduction des espèces légères de la phase c1), et en tout état de cause, avant la phase d'assemblage. Cette couche intermédiaire 30 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 30 est avantageusement limitée, typiquement entre quelques nanomètres et quelques dizaines de nanomètres.
- [0103] Dans le cas où la couche intermédiaire 30 est formée avant la première phase c1), 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 30 est formée après la phase c1), 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 1 du fait d'une croissance et d'une mise sous pression trop importante des microcavités dans le plan fragile enterré 11.

- [0104] De manière optionnelle, une couche intermédiaire 30 peut également être déposée sur la face à assembler du substrat support 20, préalablement à la phase d'assemblage ; elle peut être choisie de même nature ou de nature différente de la couche intermédiaire évoquée pour le substrat donneur 1. Une couche intermédiaire 30 peut éventuellement être déposée sur l'un et l'autre des deux substrats 1,20 à assembler.
- [0105] 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 40.
- [0106] La (ou les) couche(s) intermédiaire(s) 30 est(sont) destinée(s) à être enterrée(s) dans l'ensemble collé 50 après assemblage (figures 5c', 5c''), et à terme, dans la structure composite 100. Même si la couche intermédiaire 30 est continue lors de sa formation sur l'un et/ou l'autre des substrats 1,20, elle peut, au cours des traitements thermiques ultérieurs se segmenter et présenter un caractère discontinu. C'est essentiellement le cas lorsque l'épaisseur initiale de ladite couche est très faible, typiquement inférieure à 10nm.
- [0107] Revenant à la description de la phase c2) 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.
- [0108] La phase c2) d'assemblage peut comprendre, préalablement à la mise en contact des faces 1a,20a 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 40 (faible défektivité, forte énergie d'adhésion).
- [0109] Enfin, une troisième phase c3) comprend la séparation le long du plan fragile enterré 11, qui mène au report de la couche mince 10 sur le substrat support 20 ([Fig.5d]).
- [0110] La séparation le long du plan fragile enterré 11 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 11, 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 11. Alternativement ou conjointement, une sollicitation mécanique peut être appliquée à l'ensemble collé et en particulier au niveau du plan fragile enterré 11, 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 composite 100 comprenant le substrat support 20 et la couche mince 10 transférée, et d'autre part, le reste 1' du substrat donneur. Le niveau et le type de dopage de la couche mince 10 sont définis par le choix des propriétés du substrat donneur 1 ou peuvent être ajustés ultérieurement via les techniques connues de dopage de couches semi-conductrices.

[0111] La surface libre 10a de la couche mince 10 est habituellement rugueuse après séparation : par exemple, elle présente une rugosité comprise entre 5nm et 100nm RMS. 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). En particulier, ces phases peuvent comprendre un traitement de lissage mécano-chimique de la surface libre de la couche mince 10. Un enlèvement compris entre 50nm et 300nm permet de restaurer efficacement l'état de surface de ladite couche 10. Elles peuvent également comprendre au moins un traitement thermique à une température comprise entre 1200°C et 1800°C. Un tel traitement thermique est appliqué pour évacuer les espèces légères résiduelles de la couche mince 10 et pour favoriser le réarrangement du réseau cristallin de la couche mince 10. Il permet en outre de renforcer l'interface de collage 40. Le traitement thermique peut également comprendre ou correspondre à une épitaxie sur la couche mince 10, afin d'augmenter l'épaisseur de cette dernière (par exemple, homoépitaxie de c-SiC sur une couche mince 10 en c-SiC, hétéroépitaxie de GaN sur une couche mince 10 en c-SiC, ou autre).

[0112] Enfin, notons que l'étape c) de transfert peut comprendre une étape de reconditionnement du reste 1' du substrat donneur en vue d'une réutilisation en tant que substrat donneur 1 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 1'a du substrat restant 1'.

[0113] 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 mince 10 ou pour fabriquer des composants sur et/ou dans ladite couche 10. Le substrat support 20 dans la structure composite 100 est stable et ne voit pas sa courbure augmenter de façon rédhibitoire pendant les traitements thermiques à hautes températures appliqués à la structure composite 100 pour sa fabrication et ultérieurement.

- [0114] 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 mince monocristalline 10 de haute qualité.
- [0115] 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

- [Revendication 1] Structure composite (100) pour la fabrication de composants microélectroniques comprenant une couche mince (10) monocristalline, disposée sur un substrat support (20) en carbure de silicium polycristallin, ledit substrat support (20) présentant, sur chacune de ses faces, une orientation cristalline préférentielle selon laquelle :
- un coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40%, et
 - la somme de coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 50%, de préférence supérieure à 80%.
- [Revendication 2] Structure composite (100) selon la revendication précédente, dans laquelle le substrat support (20) présente une résistivité électrique inférieure ou égale à 10 mOhm.cm, préférentiellement inférieure ou égale à 5 mOhm.cm, encore préférentiellement inférieure ou égale à 3 mOhm.cm.
- [Revendication 3] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le substrat support (20) est dopé à l'azote avec une concentration, mesurée par spectroscopie de masse des ions secondaires, supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{19}$ atomes/cm³, préférentiellement supérieure ou égale à $1,0 \times 10^{20}$ atomes/cm³, encore préférentiellement supérieure ou égale à $1,5 \times 10^{20}$ atomes/cm³, ou encore préférentiellement supérieure ou égale à 3×10^{20} atomes/cm³.
- [Revendication 4] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le coefficient de texture C_{422} est inférieur à 20%, préférentiellement inférieur à 15%, encore préférentiellement inférieur à 10%.
- [Revendication 5] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la somme des coefficients de texture $C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 1%, préférentiellement supérieure à 2%, encore préférentiellement supérieure à 5%.
- [Revendication 6] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la couche mince (10) est composée de carbure de silicium.
- [Revendication 7] Structure composite (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle la couche mince (10) est composée de nitrure de gallium.
- [Revendication 8] Structure composite (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle la couche mince (10) est composée d'oxyde de gallium.
- [Revendication 9] Structure composite (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle la couche mince (10) est composée de diamant.
- [Revendication 10] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes,

- comprenant une couche intermédiaire (30) continue ou discontinue, disposée entre la couche mince (10) et le substrat support (20) et composée d'au moins un matériau métallique ou semi-conducteur.
- [Revendication 11] Structure composite (100) selon la revendication précédente, dans laquelle la couche intermédiaire (30) est composée de silicium, de carbure de silicium, de tungstène, et/ou de titane.
- [Revendication 12] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le substrat support (20) présente une épaisseur comprise entre 50 microns et 650 microns.
- [Revendication 13] Structure composite (100) selon l'une des revendications précédentes, comprenant un composant électronique sur et/ou dans la couche mince (10) et comprenant optionnellement un contact électrique au niveau de la face arrière du substrat support (20).
- [Revendication 14] Procédé de fabrication d'une structure composite (100) comportant une couche mince (10) monocristalline disposée sur un substrat support (20) en carbure de silicium polycristallin, le procédé de fabrication comprenant les étapes suivantes :
- a) la fourniture d'un substrat support (20) en carbure de silicium polycristallin présentant, sur chacune de ses faces, une orientation cristalline préférentielle selon laquelle :
 - un coefficient de texture C_{422} est inférieur à 40%, et
 - la somme de coefficients de texture $C_{220}+C_{200}+C_{400}$ est supérieure à 50%, de préférence supérieure à 80%,
 - b) la fourniture d'un substrat donneur (1) en un matériau monocristallin,
 - c) le transfert d'une couche mince (10) issue du substrat donneur (1) sur le substrat support (20).
- [Revendication 15] Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'étape c) de transfert comprend :
- c1) la formation d'un plan fragile enterré (11) dans le substrat donneur (1), délimitant la couche mince (10) entre ledit plan fragile enterré (11) et une face avant (1a) du substrat donneur (1),
 - c2) l'assemblage par collage par adhésion moléculaire du substrat donneur (1) sur le substrat support (20), directement ou via une couche intermédiaire (30),
 - c3) la séparation le long du plan fragile enterré (11) pour donner lieu au transfert de la couche mince (10) sur le substrat support (20).
- [Revendication 16] Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'étape c2) comprend, avant l'assemblage des deux substrats (1,20) :

- la formation d'une couche intermédiaire (30) sur le substrat donneur (1), avant ou après l'étape c1), et/ou

- la formation d'une couche intermédiaire (30) sur le substrat support (20),

la couche intermédiaire (30) étant formée en au moins un matériau métallique ou semi-conducteur, choisi parmi le silicium, le carbure de silicium, le tungstène et le titane.

[Revendication 17] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 14 à 16, comprenant en outre l'élaboration de composants électroniques sur et/ou dans la couche mince (10) de la structure composite (100).

[Revendication 18] Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'élaboration de composants électroniques comprend notamment une étape d'homoépitaxie ou d'hétéroépitaxie sur la couche mince (10).