Description

Titre de l'invention : Procédé de préparation d'un substrat support en matériau polycristallin et procédé de fabrication d'une structure composite incluant ledit substrat support

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine des matériaux semi-conducteurs pour composants microélectroniques. Elle concerne en particulier un procédé de préparation d'un substrat support en matériau polycristallin, notamment en SiC, susceptible d'être utilisé pour la fabrication d'une structure composite incluant une couche mince monocristalline transférée sur ledit substrat support.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] Le SiC est de plus en plus largement utilisé pour la fabrication de dispositifs innovants (composants de puissance, radiofréquences, etc), 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. Il est également à noter qu'une structure composite peut amener des fonctionnalités et performances additionnelles, notamment en procurant un substrat support dont les propriétés mécaniques, électriques et/ou thermiques sont avantageuses.

[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] Pour être compatible avec un procédé de transfert de couche mince, le substrat support doit présenter une courbure ou déformation aussi faible que possible. Une courbure faible est également souhaitée pour garantir les performances des étapes de

fabrication (par exemple, photolithographie) des composants sur/dans la couche mince de la structure composite.

[0006] Le document FR3132381 propose un procédé de fabrication d'une plaquette en p-SiC non déformable.

[0007] Partant d'une plaque de p-SiC séparée de son substrat de croissance, ce procédé comprend une étape de traitement thermique à une température comprise entre 1650°C et 2000°C, suivie d'une étape d'amincissement incluant notamment un meulage très grossier, un meulage grossier et un meulage fin. Le traitement thermique est susceptible d'engendrer une déformation de la plaque. L'amincissement est alors adapté pour comprendre une correction de ladite déformation, par retrait de matière ajusté localement.

[0008] OBJET DE L'INVENTION

[0009] La présente invention propose un procédé de préparation d'un substrat support en matériau polycristallin, notamment en p-SiC, alternatif aux procédés de l'état de la technique, qui favorise une faible courbure du substrat support et qui minimise les coûts de fabrication. L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure composite incluant ledit substrat support.

[0010] BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0011] L'invention concerne un procédé de préparation d'un substrat support en matériau polycristallin, le procédé de préparation comprenant les étapes suivantes :

[0012] **a)** la fourniture d'un disque brut en matériau polycristallin, présentant deux faces ;

[0013] **b)** la rectification grossière d'au moins une des faces du disque brut pour obtenir un disque rectifié présentant au moins une face rectifiée, la rectification grossière induisant, au niveau de ladite face rectifiée, la formation d'une région endommagée superficielle ; la région endommagée superficielle comprenant une couche écrouie superficielle et une couche contrainte sous-jacente ;

[0014] **c)** l'application d'un traitement thermique au disque rectifié, la température et la durée du traitement thermique étant définies de manière à relaxer des contraintes présentes dans la couche contrainte ; l'étape c) menant à l'obtention d'un disque recuit comprenant, au niveau de la -au moins une- face rectifiée, une première couche recuite superficielle, en lieu et place de la couche écrouie, et une deuxième couche recuite sous-jacente, en lieu et place de la couche contrainte ;

[0015] **d)** l'amincissement du disque recuit, au niveau de la -au moins une- face rectifiée, pour retirer la première couche recuite ; l'étape d) menant à l'obtention du substrat support dans lequel tout ou partie de la deuxième couche recuite est conservée.

[0016] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- l'étape a) comprend les sous-étapes suivantes :

a1) le dépôt chimique en phase vapeur d'une couche formée du matériau polycristallin, sur un substrat de croissance,

a2) le retrait du substrat de croissance pour obtenir le disque brut. ;

- le matériau polycristallin est le carbure de silicium ou le nitrure d'aluminium ;
- l'étape b) est appliquée aux deux faces du disque brut, et/ou l'étape d) est appliquée aux deux faces du disque brut ;
- la rectification grossière est opérée avec une roue de meulage dont les grains abrasifs présentent une taille moyenne supérieure ou égale à 10 μm, voire supérieure ou égale à 18 μm ;
- la rectification grossière, appliquée à l'une et/ou l'autre des faces du disque brut, retire une première épaisseur supérieure ou égale à 150μm ;
- le traitement thermique de l'étape c) est opéré à une température supérieure ou égale à 1600°C, préférentiellement supérieure ou égale à 1700°C, encore préférentiellement supérieure ou égale à 1800°C, encore préférentiellement supérieure ou égale à 1850°C, voire encore préférentiellement supérieure ou égale à 2000°C ;
- l'amincissement de l'étape d) inclut une rectification fine opérée avec une roue de meulage dont les grains abrasifs présentent une taille moyenne inférieure ou égale à 5μm, inférieure ou égale à 4μm, voire inférieure ou égale à 3μm ;
- la rectification fine, appliquée à l'une et/ou l'autre des faces du disque recuit, retire une deuxième épaisseur inférieure ou égale à 50μm ;
- la deuxième épaisseur est inférieure ou égale à 20μm, préférentiellement comprise entre 5μm et 20μm ;
- l'étape d) comprend, après la rectification fine, une préparation de surface comportant un polissage, un nettoyage, un recuit, une gravure et/ou un dépôt d'un film, de manière à obtenir un état de surface du substrat support compatible avec un assemblage direct sur un autre substrat ;
- l'étape d) comprend, après la rectification fine, une préparation de surface comportant uniquement un nettoyage et/ou un recuit et/ou une activation par plasma et/ou un dépôt d'un film, de manière à obtenir un état de surface du substrat support compatible avec un assemblage direct sur un autre substrat.

[0017] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une structure composite comprenant les étapes suivantes :

[0018] - la préparation d'un substrat support en un matériau polycristallin tel que ci-dessus, et

[0019] - le transfert d'une couche mince en un matériau monocristallin, depuis un substrat donneur, sur ledit substrat support.

[0020] Avantageusement, le matériau polycristallin est choisi parmi le carbure de silicium et le nitrure d'aluminium.

[0021] Avantageusement, le matériau monocristallin est choisi parmi le carbure de silicium, le nitrure de gallium, l'oxyde de gallium, le diamant, le silicium, le germanium, le phosphure d'indium.

[0022] Le procédé de fabrication peut en outre comprendre la formation de composants électroniques dans ou sur la couche mince.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0023] 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 :

[0024] [Fig.1a]

[0025] [Fig.1a']

[0026] [Fig.1b]

[0027] [Fig.1c]

[0028] [Fig.1d] La [Fig.1a], la [Fig.1a]', la [Fig.1b], la [Fig.1c] et la [Fig.1d] présentent un procédé de préparation d'un substrat support conforme à la présente invention ;

[0029] [Fig.2a]

[0030] [Fig.2b] La [Fig.2a] et la [Fig.2b] présentent des structures composites issues d'un procédé de fabrication conforme à l'invention ;

[0031] [Fig.3a]

[0032] [Fig.3b] La [Fig.3a] et la [Fig.3b] présentent des images en coupe, obtenues par microscopie électronique à balayage, de disques rectifiés après l'étape b) d'un procédé conforme à la présente invention ; on peut en particulier observer la couche écrouie superficielle.

[0033] 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

[0034] La présente invention concerne un procédé de préparation d'un substrat support 200 en matériau polycristallin. Préférentiellement, ledit matériau est le carbure de silicium (SiC) ou le nitrure d'aluminium (AlN).

[0035] Il existe plusieurs techniques d'élaboration ou de croissance de matériaux polycristallins sous forme de disques, destinés à former des substrats ou plaquettes (« wafers » selon la terminologie anglo-saxonne), en particulier pour l'industrie des semi-conducteurs. Parmi ces techniques, on compte notamment la fabrication par frittage, par PVT (« Physical Vapor Transport »), par CVD (« Chemical Vapor Deposition ») ou par HTCVD (« High Temperature Chemical Vapor Deposition »), etc.

[0036] La fabrication par CVD présente l'avantage d'un disque dense, sans porosité, contrairement notamment à l'élaboration par frittage ; un autre avantage est que les contraintes internes au disque après croissance CVD sont moindres par rapport à celles présentes dans un disque élaboré par frittage.

[0037] La première étape a) du procédé de préparation selon l'invention correspond à la fourniture d'un disque brut 2 en matériau polycristallin, élaboré par l'une des techniques connues précitées. Le disque brut 2 présente deux faces qui s'étendent sensiblement parallèlement à un plan principal (x,y).

[0038] Préférentiellement, l'étape a) implique une première sous-étape a1) de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) d'une couche 2' de matériau polycristallin, sur un substrat dit de croissance 2'' ([Fig.1a]).

[0039] Dans le cas où le matériau polycristallin est le SiC, 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 méthyltrichlorosilane, abrégé MTCS), et, si nécessaire, au moins un gaz dopant. 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 2' se forme sur le substrat de croissance 2''. Ce dernier est préférentiellement en graphite isostatique à grain fin et purifié, pour former un polytype 3C-SiC. La température du réacteur lors du dépôt par CVD du SiC doit se situer entre environ 1000°C et environ 1600°C. A titre d'exemple, le dépôt peut être réalisé sur un disque de graphite, de diamètre approchant un nominal de 150 mm et d'épaisseur supérieure à 2 mm pour assurer une planéité suffisante de l'ensemble substrat de croissance / couches de p-SiC. Le diamètre et l'épaisseur du disque de graphite 2'' peuvent bien sûr varier, si l'on souhaite préparer un substrat support de diamètre 100mm, 200mm ou autre.

[0040] La sous-étape suivante a2) correspond au retrait du substrat de croissance 2'' pour obtenir un disque brut 2 en matériau polycristallin présentant deux faces 2a,2b ([Fig.1a']).

[0041] Reprenant l'exemple précédent relatif au SiC, le substrat de croissance 2'' en graphite, revêtu par la couche de dépôt de p-SiC 2', est usiné, puis oxydé à l'air

typiquement à 900°C pour éliminer tout résidu de graphite. Notons que le retrait du graphite 2'' pourrait également être opéré par des techniques d'usinage uniquement mécaniques ou encore essentiellement par brulage/oxydation. En pratique, un disque brut 2 en p-SiC est souvent récupéré au niveau de chaque face du substrat de croissance 2''.

[0042] Pour un diamètre de 150mm ou de 200mm, l'épaisseur du disque brut 2 de matériau polycristallin fourni à l'étape a) est typiquement comprise entre 700µm et 3000µm.

[0043] Le procédé comprend ensuite une étape b) consistant en une rectification grossière d'au moins une des faces 2a,2b du disque brut 2, avec une roue de meulage (« grinding ») adaptée à un fort enlèvement de matière.

[0044] Comme cela est connu en soi, une roue de meulage est un outil à symétrie de révolution composé de grains abrasifs noyés dans une matrice liante. Les grains abrasifs sont par exemple des grains de diamant. Pour opérer la rectification d'une face du disque brut 2, la roue de meulage est mise en rotation et s'abaisse progressivement pour abraser le matériau polycristallin et ainsi enlever de la matière sur une certaine épaisseur.

[0045] La rectification de l'étape b) est qualifiée de « grossière » car elle met en œuvre une roue de meulage avec une taille de grains élevée.

[0046] En particulier, les grains abrasifs présentent une taille moyenne (ou diamètre moyen) supérieure ou égale à 10µm, typiquement comprise entre 10µm et 160µm. Par taille moyenne, on entend la moyenne des tailles (diamètres ou diamètres équivalents) des grains abrasifs formant la roue de meulage.

[0047] Autrement dit, la maille (« mesh » ou « grit » selon la terminologie anglosaxonne) de la roue de meulage, dont la valeur varie à l'inverse de la taille des grains abrasifs, est inférieure ou égale à 2000, typiquement comprise entre 100 et 2000.

[0048] Préférentiellement, les grains abrasifs présentent une taille moyenne supérieure ou égale à 18µm, typiquement comprise entre 18µm et 50µm (soit une maille de roue comprise entre 350 et 1000), voire entre 50µm et 160µm (soit une maille de roue comprise entre 100 et 350).

[0049] Cette rectification grossière provoque la formation d'une région endommagée superficielle, qui peut s'étendre sur plusieurs micromètres, plusieurs dizaines de micromètres, voire quelques centaines de micromètres (par exemple, entre 15µm et 600µm).

[0050] La région endommagée comprend deux couches : une couche écrouie 21 superficielle et une couche contrainte 22 sous-jacente. La couche écrouie 21 se caractérise par la présence de rayures importantes en surface (engendrant notamment une forte rugosité de surface) et la présence de fissures et de contraintes dans le matériau. Elle présente une épaisseur typique comprise entre 0,5µm et 50µm, voire

comprise entre 5µm et 50µm pour les tailles moyennes de grains abrasifs les plus élevées.

[0051] La couche contrainte 22, comme son nom l'indique, se caractérise par des contraintes dans le matériau, mais sans fissure. Elle se situe sous la couche écrouie 21 et présente une épaisseur typique comprise entre 10µm et 500µm.

[0052] Les épaisseurs de la couche écrouie 21 et de la couche contrainte 22 dépendent en particulier de la taille des grains abrasifs de la roue de meulage.

[0053] La région endommagée avec ses deux couches 21,22 peut être notamment caractérisée par microscopie électronique en transmission (TEM ou MET). La couche écrouie 21 peut également être identifiée par microscopie électronique à balayage (SEM ou MEB) : deux exemples sont illustrés sur les figures 3a et 3b, avec une couche écrouie 21, dans laquelle on voit s'étendre des fissures, et qui présente respectivement une épaisseur de l'ordre de 4µm et de 10µm.

[0054] Avantageusement, la rectification grossière est opérée sur les deux faces 2a,2b du disque brut 2. En effet, le disque brut 2 présente habituellement une forte variation d'épaisseur (TTV) et nécessite une rectification du côté de la face où la croissance (CVD) a eu lieu. En outre, la face initialement en contact avec le substrat de croissance 2'' présente une zone de nucléation avec de très petits grains, zone susceptible de créer une différentiel de contrainte avec l'autre face (au niveau de laquelle les grains ont grossi), et qu'il est donc préférable de rectifier également.

[0055] Préférentiellement, la rectification grossière retire une épaisseur (dite première épaisseur) sur une ou chaque face 2a,2b du disque brut 2, supérieure ou égale à 10µm, supérieure ou égale à 50µm, supérieure ou égale à 150µm, supérieure ou égale à 250µm, supérieure ou égale à 500µm, supérieure ou égale à 1mm. La première épaisseur est avantageusement comprise entre 100µm et 300µm, en particulier lorsque le disque brut 2, fourni à l'étape a), a été élaboré par une technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD).

[0056] A l'issue de cette étape, on obtient un disque dit rectifié 20 qui présente deux faces 20a,20b ([Fig.1b]).

[0057] Après l'étape c), un disque rectifié 20 de diamètre 150mm présente une épaisseur typique comprise entre 400µm et 800µm. Pour un disque rectifié 20 de 200mm de diamètre, l'épaisseur typique est comprise entre 550µm et 900µm.

[0058] L'étape suivante c) prévoit l'application d'un traitement thermique au disque rectifié 20. La température et la durée du traitement thermique sont définies de manière à relaxer tout ou partie des contraintes présentes dans la couche contrainte 22 (ladite couche ayant été générée par l'étape b) de rectification grossière). On ne parle ici que d'une couche contrainte 22, mais comme cela apparaît sur la [Fig.1b], le disque rectifié 20 peut comporter deux régions endommagées superficielles (donc deux couches

contraintes 22) au niveau de l'une et l'autre de ses faces 20a,20b, si elles ont été toutes deux rectifiées à l'étape b).

[0059] Le traitement thermique est opéré à une température supérieure à la température de croissance / formation du disque brut 2 et inférieure à la température de fusion du matériau polycristallin.

[0060] En particulier, la température appliquée à l'étape c) est supérieure ou égale à 1500°C (par exemple dans le cas du p-AlN), voire supérieure ou égale à 1600°C (par exemple dans le cas du p-SiC) pendant une durée supérieure ou égale à 10min.

[0061] Préférentiellement, le traitement thermique de l'étape c) est même opéré à une température supérieure ou égale à 1700°C, à 1800°C, à 1850°C, voire à 2000°C. De manière également préférentielle, la durée du traitement thermique est supérieure ou égale à 30min, supérieure ou égale à 1h, voire supérieure ou égale à 2h. L'atmosphère de recuit est avantageusement neutre, par exemple à base d'argon. Le traitement thermique peut avantageusement être opéré sous une pression supérieure à la pression atmosphérique.

[0062] A l'issue de cette étape, on obtient un disque dit recuit 20' ([Fig.1c]).

[0063] Ce traitement thermique, opéré après la rectification grossière et préalablement à un amincissement par rectification fine (prochaine étape d)) permet une guérison de tout ou partie de la couche contrainte 22 et éventuellement une guérison partielle de la couche écrouie 21 de la région endommagée (d'une ou des deux faces 20a,20b) du disque rectifié 20. Cette guérison se traduit par un réarrangement de la structure polycristalline et une relaxation (donc une diminution) des contraintes présentes dans la région endommagée.

[0064] Le disque recuit 20' comprend alors une première couche recuite 21', anciennement couche écrouie 21 du disque rectifié 20. La première couche recuite 21' s'étend sur la même épaisseur que la couche écrouie 21, mais peut bénéficier d'un niveau moindre de défectivité et de contrainte du fait du traitement thermique.

[0065] Le disque recuit 20' comprend également une deuxième couche recuite 22', située sous la première couche recuite 21', et anciennement couche contrainte 22 du disque rectifié 20. La deuxième couche recuite 22' est en tout ou partie relaxée, c'est-à-dire qu'elle n'est plus susceptible (ou moins susceptible) de générer une déformation du disque lors d'étapes ultérieures d'amincissement ou de traitements thermiques. La deuxième couche recuite 22' s'étend sur la même épaisseur que la couche contrainte 22.

[0066] Le procédé comprend ensuite une étape d) d'amincissement du disque recuit 20', au niveau de la -au moins une- face rectifiée lors de l'étape b). Cette étape vise à retirer la première couche recuite 21', alors que la deuxième couche recuite 22' est conservée au

moins en partie, préférentiellement, elle est conservée en totalité ou en majeure partie (plus de 80%, voire plus de 90%).

[0067] L'étape d) inclut une rectification fine avec une roue de meulage dont les grains abrasifs présentent une taille moyenne (ou diamètre moyen) inférieure ou égale à 10µm (soit une maille de roue supérieure ou égale à 2000). Préférentiellement, la taille moyenne des grains abrasifs est inférieure ou égale à 8µm, 7µm, 6µm, 5µm, 4µm, voire 3µm (correspondant respectivement à une maille de roue supérieure ou égale à environ 2400, 2800, 3300, 4000, 5000, 7000).

[0068] A l'issue de l'étape e), on obtient le substrat support 200 ([Fig.1d]).

[0069] Du fait de l'application du traitement thermique à l'étape c), il est possible de retirer moins de matière par rectification fine à cette étape d). Selon l'invention, la rectification fine vise à retirer toute la première couche recuite 21' ou en tout cas une majeure partie de celle-ci (typiquement plus de 90%, voire plus de 95%) ; en revanche, elle ne retire pas la deuxième couche recuite 22' sous-jacente ou seulement une partie mineure de celle-ci (typiquement moins de 20%, moins de 10%, voire moins de 5%), car les dommages potentiels que la deuxième couche recuite 22' pourrait causer sur la courbure sont désactivés par l'étape c).

[0070] Avantageusement, la rectification fine retire une épaisseur (dite deuxième épaisseur) sur une ou chaque face 20a,20b du disque recuit 20', inférieure ou égale à 50µm, inférieure ou égale à 20µm, préférentiellement comprise entre 5µm et 20µm.

[0071] Pour un diamètre de 150mm, le substrat support 200, après rectification fine, présente typiquement une épaisseur comprise entre 110µm et 400µm ; pour un diamètre de 200mm, son épaisseur typique est comprise entre 110µm et 600µm.

[0072] Les roues de meulage à grains très fins subissent une usure importante et rapide avec l'épaisseur retirée, il n'est donc pas intéressant d'un point de vue économique, de retirer une trop grande quantité de matière avec ces meules. Leur avantage est néanmoins qu'elles procurent des états de surface préliminaires très favorables (faible rugosité et faible épaisseur de région endommagée induite).

[0073] Parce que l'épaisseur à retirer est faible à l'étape d), du fait de l'application du traitement thermique directement après la rectification grossière, il est économiquement viable de réaliser la rectification fine avec une roue de meulage dont les grains abrasifs sont fins, voire très fins tels que présentant une taille moyenne inférieure ou égale à 5µm, inférieure ou égale à 4µm, ou encore inférieure ou égale à 3µm.

[0074] A titre d'exemple, l'étape d) pourra être opérée sur un disque recuit 20' de p-SiC avec une roue de meulage de maille 4000, voire de maille 8000, en appliquant une rotation de la tête supportant la roue (« spindle ») entre 1000 et 2000 tours par minute (tpm) et une rotation du plateau supportant le disque recuit 20' de l'ordre de 200 à 400

tpm, avec une vitesse d'enlèvement comprise entre 0,1μm/s et 0,5μm/s, par exemple 0,15μm/s.

[0075] Après la rectification fine, l'étape d) comprend avantageusement un traitement de surface comportant un polissage mécano-chimique, un nettoyage, un recuit, une gravure chimique (humide ou sèche) et/ou un dépôt de film, de manière à obtenir un état de surface du substrat support 200 compatible avec un assemblage direct sur un autre substrat. Un tel état de surface correspond typiquement à une rugosité inférieure ou égale à 1nm RMS (mesurée par microscopie à force atomique sur des scans de 20 μm x 20 μm). Il est à noter que, lorsqu'une rectification fine, avec une roue de meulage dont les grains abrasifs ont une taille moyenne inférieure ou égale à 3μm, est appliquée à l'étape d), il n'y a aucun besoin d'ajouter une quelconque étape de polissage mécanique ou mécano-chimique ; uniquement un nettoyage (ou séquence de nettoyages), un dépôt de film, un recuit et/ou une activation par plasma sont préférentiellement opérés avant l'assemblage du substrat support 200 pour la fabrication de la structure composite 100. C'est un atout important car les étapes de polissage sont couteuses et susceptibles de graver de façon différentielle les grains de la face polie, ce qui tend à dégrader la qualité de surface, laquelle est critique en vue d'un assemblage.

[0076] Compte tenu de l'application successive des étapes b), c) et d), sans autre étape intercalée, la courbure du substrat support 200 en p-SiC demeure dans une gamme raisonnable, en étant issu d'un disque brut 2 d'épaisseur économiquement viable et après mise en œuvre d'un procédé simple, minimisant les coûts de fabrication.

[0077] La courbure peut être mesurée grâce à un capteur confocal en lumière blanche qui scanne une surface du substrat, ce dernier étant posé sur un plan support de l'outil de mesure. Pour un substrat support 200 de diamètre 150mm ou 200mm, la courbure est typiquement inférieure ou égale à 150μm, 100μm, voire 50μm.

[0078] L'enchainement des étapes b), c) et d) présente également un intérêt économique car la rectification grossière est rapide et la meule associée supporte des enlèvements épais sans usure rédhibitoire. En outre, l'étape d) requérant un faible enlèvement une maille de roue de meulage élevée peut être utilisée, ce qui facilite le traitement de surface subséquent visant à obtenir un état de surface du substrat support 200 compatible avec un assemblage direct.

[0079] Le substrat support 200 ainsi préparé est destiné à être utilisé pour la fabrication d'une structure composite 100. Le procédé de fabrication de cette structure 100 comprend le transfert d'une couche mince 10 en un matériau monocristallin sur ledit substrat support 200. Bien que tout procédé connu de transfert de couche mince puisse être utilisé, on peut en particulier faire référence au procédé Smart Cut™, basé sur la formation d'un plan fragile enterré dans un substrat donneur en matériau

monocristallin, par implantation ionique d'espèces légères (par exemple, H, He ou une combinaison de ces deux espèces), et sur un assemblage direct (par adhésion moléculaire) entre ledit substrat donneur et le substrat support. Une séparation dans le plan fragile enterré permet ensuite de transférer une couche mince 10 monocristalline, issue du substrat donneur, sur le substrat support 200 ([Fig.2a]), en conservant le reste du substrat donneur pour une prochaine réutilisation.

[0080] La couche mince 10 monocristalline peut notamment être 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.

[0081] A titre d'exemple, la couche mince 10 de la structure composite 100 présente une épaisseur 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 croitre d'autres matériaux (hétéroépitaxie), pour les besoins des composants électroniques à fabriquer. La couche mince 10 présente une résistivité électrique adaptée à l'application et aux composants visés.

[0082] Dans la structure composite 100, le substrat support 200 présente une épaisseur et une courbure comme précédemment énoncé. La gamme de rayon de courbure du substrat support 200 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 200.

[0083] La structure composite 100 peut comprendre une couche intermédiaire 30 continue ou discontinue, disposée entre la couche mince 10 et le substrat support 200 et composée d'au moins un matériau métallique ou semi-conducteur ([Fig.2b]). Comme cela est connu en soi, 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 200 ou des deux côtés, préalablement à l'assemblage le long d'une interface de collage du substrat donneur et du substrat support 200. 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.

[0084] 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 200 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.

[0085] La structure composite 100 selon l'invention est particulièrement adaptée pour l'élaboration d'un (ou plusieurs) composant(s) électronique(s), notamment à haute tension, tels que par exemple des diodes Schottky, des transistors MOSFET ou HEMT, et/ou à hautes fréquences (RF), dans et/ou sur la couche mince.

[0086] 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.

Revendications

[Revendication 1] **Procédé de préparation d'un substrat support (200)** en matériau polycristallin, le procédé de préparation comprenant les étapes suivantes :

a) la fourniture d'un disque brut (2) en matériau polycristallin, présentant deux faces (2a,2b) ;

b) la rectification grossière d'au moins une des faces (2a,2b) du disque brut (2) pour obtenir un disque rectifié (20) présentant au moins une face rectifiée (20a,20b), la rectification grossière induisant, au niveau de ladite face rectifiée (20a,20b), la formation d'une région endommagée superficielle ; la région endommagée superficielle comprenant une couche écrouie (21) superficielle et une couche contrainte (22) sous-jacente ;

c) l'application d'un traitement thermique au disque rectifié (20), la température et la durée du traitement thermique étant définies de manière à relaxer des contraintes présentes dans la couche contrainte (22) ; l'étape c) menant à l'obtention d'un disque recuit (20') comprenant, au niveau de la -au moins une- face rectifiée (20a,20b), une première couche recuite (21') superficielle, en lieu et place de la couche écrouie (21), et une deuxième couche recuite (22') sous-jacente, en lieu et place de la couche contrainte (22) ;

d) l'amincissement du disque recuit (20'), au niveau de la -au moins une- face rectifiée (20a,20b), pour retirer la première couche recuite (21') ; l'étape d) menant à l'obtention du substrat support (200) dans lequel tout ou partie de la deuxième couche recuite (22') est conservée.

[Revendication 2] Procédé de préparation selon la revendication 1, dans lequel l'étape a) comprend les sous-étapes suivantes :

a1) le dépôt chimique en phase vapeur d'une couche formée du matériau polycristallin (2'), sur un substrat de croissance (2''),

a2) le retrait du substrat de croissance (2'') pour obtenir le disque brut (2).

[Revendication 3] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le matériau polycristallin est le carbure de silicium (SiC) ou le nitrure d'aluminium (AlN).

[Revendication 4] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape b) est appliquée aux deux faces du disque brut (2), et/ou l'étape d) est appliquée aux deux faces du disque brut (2).

[Revendication 5] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la rectification grossière est opérée avec une roue de meulage dont les grains abrasifs présentent une taille moyenne supérieure ou égale à 10 μm, voire supérieure ou égale à 18 μm.

[Revendication 6] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la rectification grossière, appliquée à l'une et/ou l'autre des faces du disque brut (2), retire une première épaisseur supérieure ou égale à 150μm.

[Revendication 7] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le traitement thermique de l'étape c) est opéré à une température supérieure ou égale à 1600°C, préférentiellement supérieure ou égale à 1700°C, encore préférentiellement supérieure ou égale à 1800°C, encore préférentiellement supérieure ou égale à 1850°C, voire encore préférentiellement supérieure ou égale à 2000°C.

[Revendication 8] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'amincissement de l'étape d) inclut une rectification fine opérée avec une roue de meulage dont les grains abrasifs présentent une taille moyenne inférieure ou égale à 5μm, inférieure ou égale à 4μm, voire inférieure ou égale à 3μm.

[Revendication 9] Procédé de préparation selon la revendication 8, dans lequel la rectification fine, appliquée à l'une et/ou l'autre des faces du disque recuit (20'), retire une deuxième épaisseur inférieure ou égale à 50μm.

[Revendication 10] Procédé de préparation selon la revendication 9, dans lequel la deuxième épaisseur est inférieure ou égale à 20μm, préférentiellement comprise entre 5μm et 20μm.

[Revendication 11] Procédé de préparation selon l'une des revendications 8 à 10, dans lequel l'étape d) comprend, après la rectification fine, une préparation de surface comportant uniquement un nettoyage, un recuit, une activation par plasma et/ou un dépôt d'un film, de manière à obtenir un état de surface du substrat support (200) compatible avec un assemblage direct sur un autre substrat.

[Revendication 12] **Procédé de fabrication d'une structure composite (100)** comprenant :

- la préparation d'un substrat support (200) en un matériau polycristallin conformément au procédé selon l'une des revendications précédentes, et
- le transfert d'une couche mince (10) en un matériau monocristallin, depuis un substrat donneur (1), sur ledit substrat support (200).

[Revendication 13] Procédé de fabrication d'une structure composite (100) selon la revendication 12, dans lequel le matériau polycristallin est le carbure de silicium (SiC) ou le nitrure d'aluminium (AlN), et dans lequel le matériau monocristallin est choisi parmi le carbure de silicium (SiC), le nitrure de gallium (GaN), l'oxyde de gallium (Ga2O3), le diamant, le silicium, le germanium, le phosphure d'indium (InP).

[Revendication 14] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 12 et 13, comprenant en outre la formation de composants électroniques dans ou sur la couche mince (10).