

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PLURALITE DE SUBSTRATS DE CARBURE DE SILICIUM POLYCRISTALLIN

DOMAINE DE L'INVENTION

- 5 La présente invention concerne de façon générale le domaine de la fabrication de substrats de carbure de silicium pour la formation de composants électroniques. Elle propose plus particulièrement un procédé de fabrication simultanée d'une pluralité de substrats de carbure de silicium polycristallin.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE

Pour la formation de composants électroniques, on utilise couramment des substrats en carbure de silicium polycristallin (p-SiC) comportant à leur surface une couche d'un matériau monocristallin tel que le carbure de silicium monocristallin (m-SiC), le nitrure de gallium (GaN), l'oxyde de gallium (Ga_2O_3) ou le diamant.

- 15 Afin d'assurer un bon contact mécanique et électrique entre le substrat support et la couche monocristalline, le substrat de base en p-SiC doit présenter une qualité cristalline homogène et une surface lisse. Typiquement, la préparation d'un tel substrat de base comprend le dépôt par dépôt chimique en phase vapeur (CVD, acronyme du terme anglo-saxon « chemical vapour deposition ») d'une couche épaisse de p-SiC sur un substrat
- 20 temporaire, par exemple un substrat en graphite, suivi par le retrait du substrat temporaire pour isoler la couche épaisse de p-SiC.

- On retire ensuite des épaisseurs importantes de la couche de p-SiC afin de maintenir uniquement une portion fine présentant une qualité cristalline adaptée pour le dépôt d'une couche de m-SiC. Ainsi, la couche épaisse de p-SiC présente typiquement une épaisseur
- 25 initiale comprise entre 900 et 3000 μm . Après le retrait des portions de qualité cristalline inférieure, on conserve typiquement une épaisseur d'environ 350 μm qui présente une qualité cristalline adaptée pour recevoir une couche de m-SiC.

- Le p-SiC déposé par CVD est très dur et difficile à découper. En raison des grains de la structure polycristalline, le risque de casse pendant la découpe est élevé. De plus, chaque
- 30 découpage écrouit une zone en surface des plaques qui doit être retirée par un meulage et/ou polissage par la suite. Cela implique une perte importante de matériau. Pour cette raison, il est difficile de préparer un bloc en p-SiC présentant une épaisseur équivalente à

une pluralité de substrats de base, et découper, à partir d'un tel bloc, une pluralité de substrats. Chaque substrat de base est donc fabriqué individuellement.

Ce procédé est long et laborieux. Il implique en outre une consommation importante de p-SiC qui est éliminé avant le dépôt de la couche de m-SiC et n'est donc pas utilisé dans le
5 substrat à fabriquer.

EXPOSE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de mettre à disposition un procédé de fabrication simultanée d'une pluralité de substrats de carbure de silicium polycristallin, qui soit plus économique que les
10 procédés existants.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une pluralité de substrats de carbure de silicium polycristallin, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- la formation d'une structure multicouches par le dépôt alterné d'une pluralité de couches de carbure de silicium polycristallin et d'une pluralité de couches de
15 séparation sur au moins une face d'un substrat support temporaire,
- le détachement de chaque couche de carbure de silicium polycristallin de la structure multicouche par retrait du substrat temporaire et de chaque couche de séparation pour former un substrat de carbure de silicium polycristallin respectif.

L'utilisation des couches de séparation permet une séparation facile des couches de
20 carbure de silicium polycristallin sans risque de casse.

Dans certains modes de réalisation, le dépôt de chaque couche de carbure de silicium polycristallin et de chaque couche de séparation est effectué simultanément sur toute la surface extérieure du substrat support temporaire et/ou de la couche sous-jacente respective.

25 Le dépôt sur le pourtour du substrat et ainsi l'utilisation du substrat support temporaire sur ses deux faces libres permettent d'augmenter le rendement du procédé.

Le procédé comprend alors en outre une étape de retrait des bords de la structure multicouche après le dépôt de la couche finale de carbure de silicium polycristallin, de sorte à exposer un bord du substrat support temporaire.

30 De manière particulièrement avantageuse, le substrat support temporaire peut être en graphite.

De manière particulièrement avantageuse, chaque couche de séparation est en carbone, en graphite, en silicium ou en nitrure de silicium (Si_3N_4).

Dans certains modes de réalisation, le retrait du substrat support temporaire est réalisé par combustion sous un flux d'oxygène à une température comprise entre 700 et 1100 °C, de
5 préférence entre 800°C et 900°C.

Dans certains modes de réalisation, lequel le retrait de chaque couche de séparation est réalisé par combustion.

Dans d'autres modes de réalisation, le retrait de chaque couche de séparation est réalisé par sciage ou par gravure chimique ou par découpe par laser.

10 Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur du substrat support temporaire est comprise entre 1 et 15 mm.

Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de chaque couche de carbure de silicium polycristallin est comprise entre 300 et 1200 μm .

Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de chaque couche de séparation est
15 comprise entre 1 et 50 μm .

Dans d'autres modes de réalisation, l'épaisseur de chaque couche de séparation est comprise entre 1 et 500 nm.

Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de chaque couche de séparation augmente avec la distance du substrat support temporaire.

20 Un autre objet de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pluralité de substrats comprenant chacun un substrat de base de carbure de silicium polycristallin et une couche d'un matériau monocristallin, le procédé comprenant successivement :

- la mise en œuvre du procédé tel que décrit plus haut pour fabriquer chaque substrat de carbure de silicium polycristallin,
- 25 ○ le lissage d'une face avant de chaque substrat de base de carbure de silicium polycristallin, et
- le transfert d'une couche d'un matériau monocristallin sur la face avant de chaque substrat de base de carbure de silicium monocristallin.

Dans certains modes de réalisation, le transfert de la couche de matériau monocristallin
30 comprend les étapes suivantes :

- la formation d'une zone de fragilisation par implantation d'espèces atomiques dans un substrat donneur en un matériau monocristallin pour délimiter une couche de matériau monocristallin à transférer,
- le collage dudit substrat donneur sur la face avant du substrat de base,
- 5 ○ le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation de sorte à transférer la couche du matériau monocristallin sur le substrat de base.

Un autre objet de l'invention concerne un substrat intermédiaire comprenant :

- un substrat support temporaire,
- 10 ○ sur au moins une face du substrat temporaire, un empilement alterné d'une pluralité de couches de carbure de silicium polycristallin et de couches de séparation.

De manière avantageuse, le substrat support temporaire est en graphite.

- De préférence, chaque couche de séparation est en carbone, en graphite, en silicium ou
15 en nitrure de silicium.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- 20 La figure 1 illustre un substrat support temporaire.

La figure 2 illustre un substrat support temporaire comportant une première couche de p-SiC.

La figure 3 illustre un substrat support temporaire comportant une première couche de p-SiC et une première couche de séparation.

- 25 La figure 4 est une vue schématique d'un substrat support temporaire comprenant une pluralité de couches de p-SiC et une pluralité de couches de séparation.

La figure 5 est une vue schématique d'un substrat support temporaire après polissage des bords.

La figure 6 illustre une pluralité de substrats en carbure de silicium polycristallin.

- 30 La figure 7 illustre la formation d'une zone de fragilisation dans un substrat donneur.

La figure 8 illustre le transfert d'une couche monocristalline sur un substrat de base en p-SiC.

La figure 9 illustre un substrat comprenant un substrat de base en p-SiC et une couche monocristalline sur sa face avant.

5

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

Les figures 1 à 6 illustrent les étapes du procédé de fabrication d'une pluralité de substrats de carbure de silicium. Les substrats sont déposés successivement sur un substrat support temporaire et séparés par des couches de séparation. On fabrique ainsi une structure multicouche qui est par la suite dissociée en une pluralité de substrats de p-SiC individuels.

Substrat support temporaire

En référence à la figure 1, on commence par la mise à disposition du substrat support temporaire 10. De préférence, le substrat support temporaire 10 est en graphite. Le substrat support temporaire présente deux faces principales parallèles : une face avant et une face arrière.

Le graphite présente un coefficient de dilatation thermique proche de celui du carbure de silicium. Pour cette raison, il est particulièrement adapté en tant que matériau de substrat support temporaire pour la fabrication d'un substrat impliquant des étapes à haute température tel que des dépôts par CVD. De plus, le graphite est facile à retirer dans une étape ultérieure du procédé, par exemple par combustion ou par une attaque chimique.

Le substrat support temporaire présente une épaisseur suffisante pour être autoporté et suffisamment stable pour le dépôt de plusieurs couches successives sans déformation pertinente du substrat support temporaire. De préférence, l'épaisseur du substrat support temporaire est comprise entre 1 et 15 mm. Le substrat support temporaire présente une surface suffisamment lisse pour permettre le dépôt uniforme de plusieurs couches successives sans déformation importante de leur surface. Le substrat support temporaire présente un coefficient d'expansion thermique proche de celui du p-SiC pour éviter des délaminations et la rupture du substrat lors des traitements à température élevée (phénomène désigné par le terme de « faïençage », ou « cracking » en anglais).

Dépôt des couches

En référence à la figure 2, on procède au dépôt d'une première couche 20 de carbure de silicium polycristallin (p-SiC) sur le substrat support temporaire 10. Le p-SiC peut présenter toute résistivité électrique adaptée à l'utilisation prévue. Selon des modes de réalisation

préférés, le p-SiC est dopé, par exemple à l'azote ou au phosphore. Dans d'autres modes de réalisation, le p-SiC présente une résistivité électrique élevée.

Le p-SiC est de préférence déposé sous forme de grains micrométriques, présentant une taille et structure homogène sur toute l'épaisseur de la couche à déposer. Par
5 « micrométrique » on entend dans le présent texte une taille de grain supérieure à 1 μm dans un plan parallèle à la face avant du substrat support temporaire, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction de croissance de la couche de p-SiC. De préférence, la taille des grains dans ce plan est inférieure à 100 μm . De manière particulièrement avantageuse, les grains présentent une taille comprise entre 1 μm et 50 μm dans un plan parallèle à la
10 face avant du substrat temporaire. Les grains sont typiquement allongés selon la direction de croissance de la couche de p-SiC, de sorte qu'ils présentent typiquement une taille dans la direction de croissance supérieure à la taille dans un plan perpendiculaire à la direction de croissance. De préférence, les grains de p-SiC présentent une taille inférieure à 250 μm dans la direction de croissance. De manière particulièrement avantageuse, la taille des
15 grains dans la direction de croissance est comprise entre 1 μm et 100 μm .

De préférence, la couche de p-SiC 20 est déposée par un procédé de dépôt CVD. De manière illustrative et non limitative, le dépôt de la couche de p-SiC est réalisé à une température comprise entre 1100 et 1500°C. Typiquement, on place le substrat support temporaire dans une enceinte de dépôt et on réalise le dépôt de sorte que la couche de p-
20 SiC s'étende sur la surface entière du substrat support temporaire y compris sur sa circonférence. Dans certains modes de réalisation, la couche de p-SiC est déposée sur la face avant et la face arrière du substrat support temporaire. Dans d'autres modes de réalisation, la couche de p-SiC peut être déposée sur une seule face du substrat support temporaire. Dans les deux cas, du p-SiC peut être déposé sur les côtés du substrat support.

25 De manière alternative, le p-SiC peut être déposé par un dépôt physique en phase vapeur (PVD, physical vapour deposition), par transport physique en phase vapeur (PVT, physical vapour transport). Le p-SiC peut également être déposé par CVD en phase liquide ou CVD sous pression atmosphérique, par CVD à haute température ou par CVD par injection directe de liquide. Le p-SiC peut également être déposé à partir de trichlorosiloxane.

30 L'épaisseur de la couche de p-SiC correspond à l'épaisseur du substrat de p-SiC à fabriquer et dépend de l'utilisation finale du substrat de p-SiC. Souvent, l'épaisseur d'un tel substrat est choisie en fonction de la dimension du substrat afin de mettre à disposition un substrat autoporté et mécaniquement stable. Par exemple, un substrat de p-SiC présentant un diamètre de 150 mm (6") présente typiquement une épaisseur supérieure à 50 μm , plus
35 avantageusement supérieure à 100 μm , afin d'être autosupporté. Pour la fabrication d'un

tel substrat, on dépose typiquement une première couche 20 présentant une épaisseur comprise entre 300 μm et 900 μm , de préférence entre 360 μm et 900 μm . Un substrat de p-SiC présentant un diamètre de 200 mm (8") présente typiquement une épaisseur comprise entre 510 et 1200 μm . Pour la fabrication d'un tel substrat, on dépose typiquement

5 une première couche 20 présentant une épaisseur minimale de 510 μm .

Pour les couches ultérieures, l'épaisseur de chaque couche de p-SiC est par exemple supérieure ou égale à 500 μm pour un substrat de 150 mm de diamètre, et supérieure ou égale à 650 μm pour un substrat de 200 mm de diamètre.

L'épaisseur maximale des couches de p-SiC peut être de 900 μm pour un substrat de 150 mm de diamètre, et de 1,2 mm pour un substrat de 200 mm de diamètre.

10

On peut ainsi réaliser un polissage du substrat de p-SiC pour optimiser sa qualité de surface et atteindre l'épaisseur finale.

En référence à la figure 3, on dépose par la suite une couche de séparation 30 sur la couche de p-SiC 20. La couche de séparation 30 peut être en carbone, graphite, silicium, nitrure de silicium, nitrure de titane, ou un autre matériau qui peut être facilement retiré d'une

15 couche de p-SiC. De préférence, le dépôt de la couche de séparation 30 est réalisé dans la même enceinte de dépôt que le dépôt de la couche de p-SiC 20. Il n'est donc pas nécessaire de sortir le substrat de l'enceinte entre les dépôts successifs. On évite ainsi des manipulations du substrat et le risque de contamination à l'interface entre la couche de p-

20 SiC 20 et la couche de séparation 30. On évite également l'ouverture et l'éventuelle contamination de l'enceinte de dépôt. L'épaisseur de la couche de séparation 30 peut être nanométrique, par exemple comprise entre 1 et 500 nm, ou micrométrique, par exemple comprise entre 1 et 50 μm .

La couche de séparation peut être déposée sur toute la surface de la couche de p-SiC.

25 Dans certains modes de réalisation, la couche de séparation est déposée uniquement sur la face avant du substrat support temporaire comportant la couche de p-SiC sur sa face avant, ou sur la face avant et la face arrière d'un substrat support temporaire 10 comportant une couche de p-SiC sur sa face avant et sur sa face arrière.

On dépose par la suite, en référence à la figure 4, successivement des couches de p-SiC 20, 21, 22, 23, 24 et des couches de séparation 30, 31, 32, 33 pour fabriquer une structure multicouche. On alterne les dépôts des deux types de couches pour obtenir une structure dans laquelle les couches de p-SiC et les couches de séparation se succèdent. Une couche de séparation est toujours agencée entre deux couches de p-SiC successives. De manière illustrative et non limitative, la dernière couche 24 déposée est une couche de p-SiC. Ainsi,

30

pour une structure multicouche comportant n couches de p-SiC, on dépose $n-1$ couches de séparation, n étant un nombre entier. On dépose typiquement un nombre n de couches de p-SiC compris entre 2 et 20, de préférence compris entre 5 et 15.

- Typiquement, chaque couche de p-SiC et chaque couche de séparation sont déposées sur la surface entière de la couche sous-jacente respective. De cette manière, on peut réaliser une structure multicouche uniquement sur une face avant du substrat support temporaire. De manière alternative, on peut réaliser une structure multicouche simultanément sur la face avant et sur la face arrière du substrat support temporaire. Dans un mode de réalisation préféré, on installe le substrat support temporaire dans une enceinte de dépôt et on dépose chaque couche sur toute la surface du substrat support temporaire ou respectivement sur toute la surface de la couche sous-jacente respective.

L'utilisation simultanée de la face avant et la face arrière du substrat support temporaire permet d'augmenter le rendement du procédé en doublant le nombre de couches formées par une même étape de dépôt.

- Typiquement, lors d'un dépôt simultané sur les deux faces d'un substrat, on dépose également de la matière sur les bords.

- Lors du dépôt des deux types de couches, à savoir les couches de p-SiC et les couches de séparation, dans une seule enceinte, une manipulation du substrat support temporaire n'est pas nécessaire avant la finalisation de la structure multicouches. De plus, on évite des transferts pour entrer et sortir le substrat dans une enceinte de dépôt, ce qui évite des contaminations de l'enceinte et des interfaces entre les couches respectives.

L'épaisseur de la couche de séparation est supérieure à la rugosité des couches de p-SiC après le dépôt de chaque couche respective afin d'assurer une continuité de la couche de séparation sur toute l'interface entre deux couches de p-SiC successives

- Typiquement, lors du dépôt d'une pluralité de couches superposées, la rugosité augmente successivement avec le nombre des couches déposées, du fait que la rugosité de chaque couche inférieure a une influence sur la rugosité des couches déposées par la suite.

- Pour cette raison, pendant le dépôt de plusieurs couches de p-SiC successives, on peut avantageusement augmenter l'épaisseur des couches de séparation avec le nombre de dépôts et la distance de chaque couche vis-à-vis du substrat support temporaire. Cela permet de compenser l'augmentation de la rugosité et d'obtenir une surface relativement lisse pour les couches déposées en fin de procédé.

On peut augmenter également l'épaisseur des couches de p-SiC au fur et à mesure des dépôts. De préférence, l'épaisseur de chaque couche correspond à l'épaisseur du substrat à fabriquer plus la variation totale de l'épaisseur au niveau de la couche agencée directement au-dessous de ladite couche. Cela permet d'une part de compenser

5 l'augmentation de la rugosité. De plus, la fabrication de couches plus épaisses dans les zones plus rugueuses en fin de dépôt permet de réaliser un polissage plus important après la séparation des couches afin de lisser les substrats de p-SiC obtenus.

Ainsi, partant d'une épaisseur de la première couche de p-SiC d'environ 360 μm pour un substrat d'un diamètre de 150 mm, la dernière couche de p-SiC peut présenter une

10 épaisseur jusqu'à 900 μm , de préférence d'environ 500 μm . Partant d'une épaisseur de la première couche de p-SiC d'environ 510 μm pour un substrat d'un diamètre de 200 mm, la dernière couche de p-SiC peut présenter une épaisseur jusqu'à 1200 μm , de préférence d'environ 650 μm .

Séparation des substrats de p-SiC

15 Après la fabrication de la structure multicouche, on procède aux étapes de séparation des couches de p-SiC afin de former un substrat de p-SiC à partir de chaque couche de p-SiC respective.

Si les couches de p-SiC et les couches de séparation ont été déposées sur la surface entière du substrat support temporaire et/ou si le bord du substrat support temporaire a été

20 recouvert pendant le dépôt des couches successives, on procède à un retrait du bord de la structure multicouche. En référence à la figure 5, on retire les couches de p-SiC et les couches de séparation le long du bord de la structure multicouche pour exposer le bord de chaque couche respective et du substrat support temporaire. Le retrait de matière le long du bord de la structure multicouche est de préférence réalisé par un détournage mécanique.

25 Dans certains cas, le retrait peut être réalisé par une découpe laser.

On réalise ensuite le retrait du substrat support temporaire et des couches de séparation agencées entre les couches de p-SiC respectives afin de séparer les couches de SiC.

Le retrait du substrat support temporaire est typiquement réalisé par combustion sous un flux d'oxygène. La température pendant la combustion est typiquement comprise entre 700

30 et 1100 °C, de préférence entre 800°C et 900°C.

Le retrait des couches de séparation, par exemple de carbone ou de graphite, peut également être réalisé par combustion. De préférence, le substrat support et les couches de séparation sont retirées dans une seule étape de retrait. Un retrait unique permet

d'augmenter l'efficacité et ainsi le rendement du procédé et évite des étapes de combustion et de chauffage supplémentaires.

La température de combustion peut être choisie en fonction du matériau et de l'épaisseur des couches de séparation et être égale ou différente de la température de combustion du substrat support temporaire. De manière alternative, les couches de séparation peuvent être retirées par sciage, par gravure chimique ou par une découpe par laser, selon le matériau, l'épaisseur et le nombre des couches de séparation. Ces méthodes seront expliquées plus en détail dans la section sur les couches de séparation.

L'épaisseur des couches de séparation peut également être choisie en fonction de la technique de retrait. Quand la couche de séparation est destinée à être retirée par une attaque chimique ou par combustion, l'épaisseur de ladite couche est de préférence micrométrique afin de faciliter le passage des gaz et produits chimiques utilisés pour le retrait, et pour l'évacuation des sous-produits obtenus lors du retrait. Cette méthode est notamment utilisée pour des couches de séparation en carbone, en graphite, ou en silicium ou nitrure de silicium.

Dans des modes de réalisation incluant un retrait par attaque par chimie liquide, par exemple pour des couches de séparation de silicium ou de nitrure de silicium, l'épaisseur de chaque couche de séparation est de préférence supérieure à un micromètre par pouce de diamètre, c'est-à-dire environ 25 mm de diamètre.

Dans les modes de réalisation dans lesquels le retrait est réalisé par une attaque par un gaz, par exemple la combustion de carbone et/ou graphite, l'épaisseur de chaque couche de séparation est de préférence supérieure à 0,1 micromètre par pouce de diamètre, c'est-à-dire par environ 25 mm de diamètre.

Dans certains modes de réalisation, le retrait du substrat support est réalisé dans une étape distincte du retrait des couches de séparation. Par exemple, le retrait du substrat support temporaire peut être réalisé à une température différente ou par un type de procédé différent par rapport au retrait des couches de séparation. On peut notamment retirer le substrat support temporaire avant de retirer les couches de séparation. Cela permet par la suite de traiter simultanément les deux structures multicouches initialement disposées sur les deux faces du substrat support temporaire.

En référence à la figure 6, les couches de p-SiC sont séparés par l'étape de retrait et forment des substrats de p-SiC 200 indépendants. On peut maintenant procéder à des étapes de finalisation tel qu'un meulage des substrats de p-SiC 200, notamment pour

ajuster l'épaisseur de chaque couche à l'épaisseur cible avant un polissage, un polissage desdits substrats, des traitements thermiques et/ou des traitements de surface.

- Le dépôt de la structure multicouche et le retrait subséquent du substrat support temporaire permettent ainsi de fabriquer simultanément une pluralité de substrats de p-SiC. Ce
- 5 procédé présente un rendement supérieur à celui de la fabrication de substrats de p-SiC individuels et permet d'économiser du temps de fabrication, de l'énergie, et de faciliter le procédé.

On peut par la suite utiliser les substrats de p-SiC en tant que substrat de base pour fabriquer des substrats pour composants électroniques.

10 Couches de séparation

Les couches de séparation sont en un matériau qui peut facilement être retiré en une étape ultérieure du procédé. De préférence, le matériau des couches de séparation peut être déposé dans la même enceinte dans laquelle est réalisé le dépôt des couches de p-SiC. Par exemple, les couches de séparation peuvent être déposées par un procédé de CVD.

- 15 Les couches de séparation sont en un matériau qui présente une structure de surface proche de la structure cristalline du p-SiC pour faciliter le dépôt d'autres couches de p-SiC après le dépôt de chaque couche de séparation. Le coefficient de dilatation thermique des couches de séparation est proche du coefficient de dilatation du p-SiC afin d'éviter des contraintes aux interfaces lors de toutes les étapes du procédé réalisées à haute
- 20 température. De manière avantageuse, le module d'Young du matériau des couches de séparation est inférieur au module d'Young du p-SiC. Par exemple, les couches de séparation peuvent être en carbone, en graphite, en silicium ou en nitrure de silicium (Si_3N_4). Ces matériaux permettent également un bon maintien à chaque interface entre une couche de séparation et une couche de p-SiC. Ce maintien facilite la manipulation de la
- 25 structure multicouche pendant les étapes entre le dépôt et le détachement des couches de p-SiC.

- Comme décrit ci-dessus, on peut augmenter l'épaisseur des couches de séparation avec le nombre de dépôts et la distance de chaque couche du substrat support temporaire. Cela permet de compenser l'augmentation de la rugosité et d'obtenir une surface relativement
- 30 lisse pour les couches extérieures.

L'épaisseur des couches de séparation est en outre choisie de sorte qu'elles puissent facilement être retirées lors de la séparation des couches de p-SiC. L'épaisseur en outre dépend du matériau de la couche de séparation, de la taille de la surface du substrat, et de la méthode de retrait utilisée. Dans certains cas, l'épaisseur de la couche de séparation est

de quelques nanomètres. Dans d'autres modes de réalisation, elle est plus épaisse et peut atteindre des valeurs jusqu'à 50 μm .

La technique de retrait est également choisie en fonction du matériau et de l'épaisseur des couches de séparation.

- 5 De manière illustrative et non limitative, une couche de séparation en carbone ou graphite d'une épaisseur de quelques μm peut facilement être retirée par combustion simultanément ou successivement avec le substrat support temporaire.

- Dans le cas de couches de séparation présentant une épaisseur de quelques dizaines de μm , la séparation peut être réalisée par sciage à fil. Une couche de séparation en carbone
10 ou graphite est beaucoup plus facile à scier qu'un substrat massif en p-SiC. Des résidus de la couche de séparation peuvent être retirés par combustion totale ou partielle, et/ou meulage.

- En fonction du dopage des couches de p-SiC, on peut également envisager une découpe par laser. Par exemple, on peut choisir un laser présentant une longueur d'onde à laquelle
15 les couches de séparation sont opaques tandis que les couches de p-SiC sont transparentes et ainsi enlever uniquement les couches de séparation par une irradiation par un tel laser.

- Dans le cas de couches de séparation en silicium, on peut envisager des épaisseurs par exemple comprises entre quelques dizaines de nanomètres jusqu'à environ 1 μm . Pour
20 retirer des couches de séparation en silicium, la structure multicouche peut être placée dans un bain d'hydroxyde de tétraméthylammonium (TMAH) ou d'hydroxyde de tétraéthylammonium (TEAH) pour dissoudre le silicium. Cette étape est de préférence réalisée après le retrait du substrat support temporaire par combustion. Quand les couches de séparation sont en silicium, il est préférable de limiter la température des étapes de CVD
25 à une température inférieure à la température de fusion du silicium qui est de 1414°C.

- Dans d'autres modes de réalisation, les couches de séparation peuvent être en nitrure de silicium (SiN). Dans ce cas, l'épaisseur des couches de séparation est de préférence comprise entre quelques dizaines de nanomètres et environ 1 μm . Pour retirer des couches de séparation en nitrure de silicium, la structure multicouche peut être placée dans un bain
30 d'acide phosphorique H_3PO_4 pour dissoudre le SiN et séparer les substrats de p-SiC. Cette étape est de préférence réalisée après le retrait du substrat support temporaire par combustion.

Des couches de séparation en carbone, graphite ou silicium présentent l'avantage que ces matériaux sont déjà présents dans une enceinte de dépôt CVD dans laquelle on dépose

les couches de carbure de silicium. On évite donc tout élément supplémentaire dans une telle enceinte, limitant ainsi la contamination de l'enceinte de dépôt et des substrats à fabriquer. Quand les couches de p-SiC sont dopées par de l'azote, cet élément doit également être présent dans l'enceinte de dépôt. Dans ce cas, l'avantage d'éviter une contamination s'applique également aux couches de séparation de nitrure de silicium.

Utilisation des substrats de p-SiC

En référence aux figures 7 à 9, on peut utiliser les substrats de p-SiC pour la fabrication de substrats pour former des composants électroniques. Des tels substrats comportant à leur surface une couche d'un matériau monocristallin tel que le carbure de silicium monocristallin (m-SiC), le nitrure de gallium (GaN), l'oxyde de Gallium (Ga_2O_3) ou le diamant.

Après le lissage de la face avant d'un substrat de p-SiC fabriqué par le procédé décrit ci-dessus, on peut procéder ou non à des étapes supplémentaires de préparation de la surface pour le transfert d'une couche monocristalline. On transfère ensuite une couche d'un matériau monocristallin sur la face avant du substrat de p-SiC.

A cet effet, on met à disposition un substrat donneur 400 en ledit matériau monocristallin. En référence à la figure 7, comme schématisé par les flèches, on met en œuvre une implantation d'espèces ioniques dans le substrat donneur 400. Les espèces ioniques sont par exemple de l'hydrogène et/ou de l'hélium. On crée ainsi une zone de fragilisation 41 définissant une couche monocristalline 40 à transférer.

En référence à la figure 8, on colle le substrat donneur 400 ainsi implanté sur le substrat 200 de p-SiC. Le collage peut être réalisé par une mise en contact direct ou par l'intermédiaire d'une ou plusieurs couches, par exemple en un oxyde tel que le dioxyde de silicium, des métaux, par exemple le titane ou le tungstène, et/ou des semiconducteurs ou métalloïdes, par exemple du silicium amorphe ou cristallin, du SiC. Dans l'un ou l'autre cas, il peut être prévu d'activer une ou les deux surface(s), notamment par plasma ou bombardement ionique, pour y faire apparaître des liaisons pendantes avant mise en contact des surfaces à coller.

En référence à la figure 9, on détache le substrat donneur 400 le long de la zone de fragilisation 41, ce qui conduit au transfert de la couche monocristalline 40 sur le substrat de p-SiC 200 de base. L'initiation du détachement peut être réalisée au moyen d'un traitement thermique. On peut ensuite mettre en œuvre un traitement de finition de la couche transférée, de sorte à guérir les défauts liés à l'implantation et à lisser la surface libre de ladite couche.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pluralité de substrats (200) de carbure de silicium polycristallin, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
 - 5 ○ la formation d'une structure multicouche par le dépôt alterné d'une pluralité de couches de carbure de silicium polycristallin (20, 21, 22, 23, 24) et d'une pluralité de couches de séparation (30, 31, 32, 33) sur au moins une face d'un substrat support temporaire (10),
 - 10 ○ le détachement de chaque couche de carbure de silicium polycristallin (20, 21, 22, 23, 24) de la structure multicouche par retrait du substrat temporaire (10) et de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) pour former un substrat (200) de carbure de silicium polycristallin respectif.
- 15 2. Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel le dépôt de chaque couche de carbure de silicium polycristallin (20, 21, 22, 23, 24) et de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est effectué simultanément sur toute la surface extérieure du substrat support temporaire (10) et/ou de la couche sous-jacente respective.
- 20 3. Procédé selon la revendication 2, comprenant en outre une étape de retrait des bords de la structure multicouche après le dépôt de la couche finale de carbure de silicium polycristallin (24), de sorte à exposer un bord du substrat support temporaire (10).
- 25 4. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le substrat support temporaire (10) est en graphite.
- 30 5. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est en carbone, en graphite, en silicium ou en nitrure de silicium (Si_3N_4).
- 35 6. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le retrait du substrat support temporaire (10) est réalisé par combustion sous un flux d'oxygène à une température comprise entre 700 et 1100 °C, de préférence entre 800°C et 900°C.

7. Procédé de fabrication selon la revendication 5, dans lequel le retrait de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est réalisé par combustion.
- 5 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le retrait de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est réalisé par sciage ou par gravure chimique ou par découpe par laser.
- 10 9. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur du substrat support temporaire (10) est comprise entre 1 et 15mm.
- 15 10. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de chaque couche de carbure de silicium polycristallin (20, 21, 22, 23, 24) est comprise entre 300 et 1200 μm .
- 20 11. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est comprise entre 1 et 50 μm .
- 25 12. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel l'épaisseur de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est comprise entre 1 et 500 nm.
- 30 13. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) augmente avec la distance du substrat support temporaire.
- 35 14. Procédé de fabrication d'une pluralité de substrats comprenant un substrat de base de carbure de silicium polycristallin (200) et une couche (40) d'un matériau monocristallin, le procédé comprenant successivement :
- un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour fabriquer chaque substrat de carbure de silicium polycristallin,
 - le lissage d'une face avant de chaque substrat de base (200) de carbure de silicium polycristallin, et

- le transfert d'une couche (40) d'un matériau monocristallin sur la face avant de chaque substrat de base (200) de carbure de silicium monocristallin.

5 15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel le transfert de la couche (40) de matériau monocristallin comprend les étapes suivantes :

- la formation d'une zone de fragilisation (41) par implantation d'espèces atomiques dans un substrat donneur (400) en un matériau monocristallin pour délimiter une couche de matériau monocristallin à transférer,
- 10 ○ le collage dudit substrat donneur (400) sur la face avant du substrat de base (200),
- le détachement du substrat donneur (400) le long de la zone de fragilisation (41) de sorte à transférer la couche (40) du matériau monocristallin sur le substrat de base (200).

15 16. Substrat intermédiaire comprenant :

- un substrat support temporaire (10),
- sur au moins une face du substrat temporaire (10), un empilement alterné d'une pluralité de couches de carbure de silicium polycristallin (20, 21, 22, 23, 24) et de couches de séparation (30, 31, 32, 33).

20

17. Substrat intermédiaire selon la revendication 16, dans lequel le substrat support temporaire (10) est en graphite.

25 18. Substrat intermédiaire selon la revendication 16 ou la revendication 17, dans lequel chaque couche de séparation (30, 31, 32, 33) est en carbone, en graphite, en silicium ou en nitrure de silicium.