

PROCÉDÉ DE TRANSFERT D'UNE COUCHE DE SiC MONOCRISTALLIN SUR UN SUPPORT EN SiC POLYCRISTALLIN UTILISANT UNE COUCHE INTERMÉDIAIRE DE SiC POLYCRISTALLIN

DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine de l'invention est celui des matériaux semi-conducteurs pour composants microélectroniques. L'invention concerne plus particulièrement un procédé de fabrication d'une structure composite comprenant une couche mince en carbure de silicium monocristallin sur un substrat support en carbure de silicium polycristallin.

TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Le carbure de silicium (SiC) est de plus en plus largement utilisé dans des applications d'électronique de puissance, notamment pour répondre aux besoins de domaines montants de l'électronique comme par exemple les véhicules électriques. Les dispositifs de puissance et les systèmes intégrés d'alimentation basés sur du SiC monocristallin peuvent effectivement gérer une densité de puissance beaucoup plus élevée que leurs homologues traditionnels en silicium, et ce avec des dimensions de zone active inférieures.

Les substrats en SiC monocristallin 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 sur un substrat support plus bas coût. Une solution de transfert de couche mince bien connue est le procédé Smart Cut™, basée sur une implantation d'ions légers et sur un assemblage par collage direct. Un tel procédé permet par exemple de fabriquer une structure composite comprenant une couche mince en SiC monocristallin, prélevée d'un substrat donneur en SiC monocristallin, en contact direct avec un substrat support en SiC polycristallin.

Il reste néanmoins difficile de réaliser un collage direct par adhésion moléculaire de bonne qualité entre deux substrats de SiC monocristallin et de SiC polycristallin car la gestion de la rugosité et de l'état de surface desdits substrats est complexe.

Or une bonne conduction thermique et électrique entre la couche mince en SiC monocristallin et le substrat support en SiC polycristallin est requise dans les applications

visées. Par ailleurs, la présence de défauts de collage à l'interface d'assemblage est fortement dommageable pour la qualité des structures élaborées dans la couche mince en SiC monocristallin. Par exemple, l'absence d'adhésion entre les deux surfaces au niveau d'un défaut de collage peut conduire à l'arrachement local de la couche mince à cet endroit
5 lors de son transfert du substrat de SiC monocristallin au substrat de SiC polycristallin.

Deux solutions pour réaliser un collage de deux substrats en SiC monocristallin et SiC polycristallin ont été rapportées dans la littérature sans qu'aucune preuve ne soit aujourd'hui disponible de leur efficacité à l'échelle industrielle. On connaît ainsi, d'une part, le collage assisté en surface (SAB pour « Surface Activated bonding ») qui consiste à activer
10 les surfaces à assembler par bombardement d'argon typiquement et, d'autre part, le collage par diffusion atomique (ADB pour « Atomic Diffusion Bonding ») qui comprend la pulvérisation d'une couche ultra-mince et le collage sous ultravide. Ces solutions présentent l'inconvénient de générer une couche instable à l'interface de collage qui est susceptible de générer des défauts de collage et d'impacter défavorablement la conduction
15 électrique.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objectif de proposer une technique qui remédie à ces inconvénients pour fournir une structure composite comprenant une couche mince en SiC monocristallin de très haute qualité, en particulier afin d'améliorer les performances et la
20 fiabilité des dispositifs de puissance destinés à être élaborés dans ladite couche mince.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une structure composite comprenant une couche mince de carbure de silicium, SiC, monocristallin disposée un substrat support de SiC polycristallin, comprenant les étapes suivantes :

- formation d'une couche de SiC polycristallin sur un substrat donneur dont au moins une
25 portion superficielle est en SiC monocristallin,
- avant ou après ladite formation, implantation d'espèces ioniques dans ladite portion superficielle du substrat donneur de sorte à former un plan de fragilisation délimitant une couche mince de SiC monocristallin à transférer,

- après ladite implantation et ladite formation, collage du substrat donneur et du substrat support de SiC polycristallin, la couche de SiC polycristallin étant à l'interface de collage, et détachement du substrat donneur le long du plan de fragilisation de sorte à transférer la couche de SiC polycristallin et la couche mince de SiC monocristallin sur le substrat support
5 de SiC polycristallin.

Certains aspects préférés mais non limitatifs de ce procédé sont les suivants :

- la couche de SiC polycristallin présente un polytype identique à celui du substrat support ;
- la formation de la couche de SiC polycristallin comprend un dépôt de SiC polycristallin ;
- 10 - le dépôt de SiC polycristallin est un dépôt chimique en phase vapeur ;
- le dépôt de SiC polycristallin est réalisé à une température inférieure à 1000°C ;
- la formation de la couche de SiC polycristallin comprend un dépôt d'une couche SiC amorphe et un recuit de recristallisation appliqué à la couche de SiC amorphe ;
- la couche de SiC polycristallin déposée sur le substrat donneur présente une épaisseur
15 comprise entre 10nm et 10µm ;
- il comprend en outre un amincissement et/ou un polissage de la surface de la couche de SiC polycristallin destinée à être à l'interface de collage lors du collage et/ou de la surface du substrat support destinée à être à l'interface de collage lors du collage ;
- il comprend en outre la formation d'une couche de collage sur chacun des substrat
20 donneur et support, ledit collage étant réalisé par collage direct des couches de collage ainsi formées ;
- la couche de collage formée sur chacun des substrat donneur et support est une couche métallique, par exemple une couche de tungstène ou une couche de titane ;
- la couche de collage formée sur chacun des substrat donneur et support est une couche
25 de silicium, de carbone ou de carbure de silicium ;
- la couche de collage présente une température de fusion inférieure à une température d'un recuit appliqué lors de l'étape de collage.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés

5 sur lesquels :

La figure 1 est une vue schématique en coupe d'un substrat donneur de SiC monocristallin ;

La figure 2 est une vue schématique en coupe du dépôt d'une couche de SiC polycristallin en surface du substrat donneur de SiC monocristallin ;

10 La figure 3 est une vue schématique en coupe de la formation, par implantation d'espèces ioniques, d'un plan de fragilisation dans le substrat donneur de la figure 1 pour délimiter une couche mince de SiC monocristallin à transférer ;

La figure 4 est une vue schématique en coupe de l'assemblage du substrat donneur de la figure 2 et d'un substrat support ;

15 La figure 5 est une vue schématique en coupe du détachement du substrat donneur le long du plan de fragilisation pour transférer la couche mince de SiC monocristallin sur le substrat support.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'invention porte sur un procédé de fabrication d'une structure composite
20 comprenant une couche mince de SiC monocristallin disposée sur un substrat support de SiC polycristallin. Ce procédé comprend le transfert, conformément au procédé Smart Cut™, de la couche mince de carbure de SiC monocristallin vers le substrat support depuis un substrat donneur dont une portion superficielle au moins est en SiC monocristallin.

Le substrat donneur peut être un substrat massif de SiC monocristallin. Dans d'autres
25 formes de réalisation, le substrat donneur peut être un substrat composite, comprenant une couche superficielle de SiC monocristallin et au moins une autre couche d'un autre matériau. Dans ce cas, la couche de SiC monocristallin présente de préférence une épaisseur supérieure ou égale à 0,5 µm.

Selon l'invention, il est prévu de former une couche de SiC polycristallin sur le substrat donneur avant le collage avec le substrat support de SiC polycristallin. De telle manière, l'interface de collage est créée entre des matériaux présentant la même morphologie (à savoir deux SiC polycristallin), en lieu et place des structures cristallines hétérogènes de l'art antérieur (à savoir un SiC monocristallin rapporté sur du SiC polycristallin). Les inconvénients liés au collage de ces structures cristallines hétérogènes sont ainsi évités. Notamment, l'invention permet de ne pas créer une barrière de conduction à l'interface de collage et de disposer d'une surface de contact qui n'est pas réduite du fait de la formation de cavités à cette interface.

10 En référence à la figure 1, le procédé selon l'invention débute par la fourniture d'un substrat donneur 10 dont une portion superficielle au moins est en SiC monocristallin. Sur les figures, on a représenté un substrat massif 10 de SiC monocristallin.

 En référence à la figure 2, le procédé comprend une étape de formation d'une couche de SiC polycristallin 11 sur le substrat donneur 10. La couche de SiC polycristallin 11 formée sur le substrat donneur présente de préférence une épaisseur comprise entre 10nm et 15 10µm, encore plus de préférence une épaisseur inférieure à 50nm.

 La taille des grains de la couche de SiC polycristallin 11 est de préférence inférieure à 30nm, encore plus de préférence inférieure à 10nm, ce qui permet de limiter la rugosité de surface de la couche 11 ainsi déposée. Une telle taille de grains réduite offre en outre 20 l'avantage que les conditions de formation de la couche de SiC polycristallin 11 peuvent se rapprocher de celles d'une couche de SiC amorphe, la couche 11 formée pouvant ainsi être un mélange de grains de petite taille et d'une forte proportion de SiC amorphe sans que cela ne nuise aux effets de l'invention.

 Il existe différentes formes cristallines (également appelées polytypes) du carbure de silicium. Les plus répandues sont les formes 4H, 6H et 3C. De manière préférée, la formation 25 de la couche de SiC polycristallin 11 est réalisée de manière à lui conférer le même polytype que celui du substrat support 20, généralement un polytype de type 3C.

 Dans un mode de réalisation possible, la couche de SiC polycristallin est formée par dépôt de SiC polycristallin. Un tel dépôt d'une couche de SiC polycristallin peut être un 30 dépôt chimique en phase vapeur (par exemple de type EBPVD pour « Electron Beam

Physical Vapor Deposition ») ou un dépôt chimique en phase vapeur (par exemple de type DLI-CVD pour « Direct Liquid Injection Chemical Vapor Deposition »). Dans un mode de réalisation possible, le dépôt de la couche de SiC polycristallin est réalisé à une température inférieure à 1000°C, de préférence inférieure à 900°C, encore plus de préférence inférieure à 850°C. Ce mode de réalisation s'avère notamment avantageux lorsque le dépôt de la couche de SiC polycristallin 11 est réalisé après l'implantation d'espèces ioniques décrite ci-après pour former un plan de fragilisation dans le substrat donneur. Cette relativement faible température permet en effet de limiter la croissance des cavités présentes dans le plan de fragilisation, croissance qui en l'absence d'un effet raidisseur apporté au substrat donneur se traduit par la déformation de la couche à l'aplomb des cavités et l'apparition du phénomène de cloquage.

Dans une variante de réalisation pouvant notamment être mise en œuvre lorsque l'implantation d'espèces ioniques décrite ci-après est réalisée après la formation de la couche de SiC polycristallin 11, la formation de la couche de SiC polycristallin comprend tout d'abord le dépôt d'une couche de SiC amorphe (en tout ou partie) puis un recuit de recristallisation, typiquement à une température supérieure à 1100°C, venant transformer la couche de SiC amorphe en un polycristal constituant la couche de SiC polycristallin 11.

Dans un mode de réalisation possible, la formation de la couche de SiC polycristallin 11 est accompagné de la formation d'une couche de collage sur la couche de SiC polycristallin 11 et sur le substrat support respectivement, par exemple une couche de silicium, de carbone, de carbure de silicium ou encore une couche métallique, par exemple une couche de tungstène ou de titane. Les couches de collage peuvent être formées selon le procédé de dépôt physique en phase vapeur (PVD pour « Physical Vapor Deposition ») en utilisant pour gaz d'ablation de la cible de l'argon ou un mélange argon/azote ou argon/propane. Les couches de collage présentent de préférence une température de fusion inférieure à une température d'un recuit appliqué lors de l'étape de collage. On choisit ainsi par exemple des couches de collage en silicium ou en titane lorsqu'un recuit à une température de l'ordre de 1700°C/1800°C est appliqué lors de l'étape de collage.

En référence à la figure 3, le procédé comprend en outre, avant ou après la formation de la couche de SiC polycristallin 11, une implantation d'espèces ioniques dans le substrat

donneur 10 de sorte à former un plan de fragilisation 13 délimitant une couche mince de SiC monocristallin à transférer 12. Sur les figures, l'implantation est réalisée après le dépôt de la couche de SiC polycristallin 11.

Les espèces implantées comprennent typiquement de l'hydrogène et/ou de l'hélium.

- 5 L'homme du métier est à même de définir l'énergie et la dose d'implantation requises.

Lorsque le substrat donneur est un substrat composite, l'implantation est réalisée de manière à former le plan de fragilisation dans la couche superficielle de SiC monocristallin dudit substrat donneur.

- De préférence, la couche mince 12 de SiC monocristallin présente une épaisseur
10 inférieure à 1 μm . Une telle épaisseur est en effet accessible à l'échelle industrielle avec le procédé Smart Cut™. En particulier, les dispositifs d'implantation disponibles dans les lignes de fabrications industrielles permettent d'atteindre une telle profondeur d'implantation.

- En référence à la figure 4, le procédé comprend, après ladite implantation et ladite formation, le collage du substrat donneur et du substrat support. Le collage est un collage
15 direct sans couche électriquement isolante intermédiaire, obtenu par adhésion moléculaire des surfaces mises en contact. Le collage est typiquement réalisé à température ambiante. Il est de préférence réalisé sous vide.

- Lors de ce collage, la couche de SiC polycristallin 11 préalablement formée sur le substrat donneur est à l'interface de collage. Par « couche située à l'interface de collage »,
20 on entend une couche située du côté de la face du substrat donneur qui est collée au substrat support mais n'implique pas nécessairement un contact direct entre ladite couche et le substrat support. Ainsi, ladite couche peut être collée directement au substrat support ou être recouverte d'une couche de collage telle que celle mentionnée précédemment par l'intermédiaire de laquelle s'effectue le collage. Le collage par contact direct de couches
25 polycristallines présente l'avantage de séparer physiquement l'interface entre le SiC monocristallin et le SiC polycristallin de l'interface de collage.

- Ce collage est typiquement précédé d'opérations de préparation des surfaces à coller, par exemple ici les deux surfaces de SiC polycristallin, comme par exemple un polissage fin, un nettoyage humide ou sec, une activation de surface, etc. Notamment, le
30 procédé peut comprendre un amincissement et/ou un polissage de la surface de la couche

de SiC polycristallin 11 destinée à être à l'interface de collage lors du collage et/ou de la surface du substrat support 20 destinée à être à l'interface de collage lors du collage.

En référence à la figure 5, le procédé comprend ensuite le détachement du substrat donneur 10 le long du plan de fragilisation 13 de sorte à transférer la couche de SiC polycristallin 11 et la couche mince de SiC monocristallin 12 sur le substrat support 10. De
5 manière connue, ce détachement peut être provoqué par un traitement thermique, une action mécanique, ou une combinaison de ces moyens. Le reliquat 10' du substrat donneur est préférentiellement recyclé en vue d'une autre utilisation.

Une ou plusieurs opérations de finition peuvent ensuite être appliquées à la couche
10 de SiC monocristallin transférée 12. Il est par exemple possible de réaliser un lissage, un nettoyage ou encore un polissage, par exemple un polissage mécano-chimique (CMP, acronyme du terme anglo-saxon « Chemical Mechanical Polishing ») ou un broyage fin (dit « Fine Grinding », qui permet de s'affranchir des attaques chimiques préférentielles sur telle ou telle orientation de grain), pour retirer les défauts liés à l'implantation des espèces
15 ioniques et réduire la rugosité de la couche de SiC monocristallin transférée 12.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure composite comprenant une couche mince de carbure de silicium, SiC, monocristallin (12) disposée un substrat support de SiC polycristallin (20), comprenant les étapes suivantes :

- 5 - formation d'une couche de SiC polycristallin (11) sur un substrat donneur (10) dont au moins une portion superficielle est en SiC monocristallin,
- avant ou après ladite formation, implantation d'espèces ioniques dans ladite portion superficielle du substrat donneur (10) de sorte à former un plan de fragilisation (13) délimitant une couche mince de SiC monocristallin (12) à transférer,
- 10 - après ladite implantation et ladite formation, collage du substrat donneur (10) et du substrat support de SiC polycristallin (20), la couche de SiC polycristallin (11) étant à l'interface de collage, et détachement du substrat donneur (10) le long du plan de fragilisation (13) de sorte à transférer la couche de SiC polycristallin (11) et la couche mince de SiC monocristallin (12) sur le substrat support de SiC polycristallin (20).

15

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la couche de SiC polycristallin (11) présente un polytype identique à celui du substrat support (20).

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la formation de la couche de SiC polycristallin (11) comprend un dépôt de SiC polycristallin.

20

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le dépôt de SiC polycristallin est un dépôt chimique en phase vapeur.

5. Procédé selon l'une des revendications 3 et 4, dans lequel le dépôt de SiC polycristallin est réalisé à une température inférieure à 1000°C.

25

6. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la formation de la couche de SiC polycristallin (11) comprend un dépôt d'une couche SiC amorphe et un recuit de recristallisation appliqué à la couche de SiC amorphe.

30

7. Procédé selon l'une des revendication 1 à 6, dans lequel la couche de SiC polycristallin (11) formée sur le substrat donneur présente une épaisseur comprise entre 10nm et 10µm.

5 8. Procédé selon l'une des revendication 1 à 7, comprenant en outre un amincissement et/ou un polissage de la surface de la couche de SiC polycristallin (11) destinée à être à l'interface de collage lors du collage et/ou de la surface du substrat support (20) destinée à être à l'interface de collage lors du collage.

10 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant en outre la formation d'une couche de collage sur chacun des substrat donneur et support, ledit collage étant réalisé par collage direct des couches de collage ainsi formées.

15 10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel la couche de collage formée sur chacun des substrat donneur et support est une couche métallique, par exemple une couche de tungstène ou une couche de titane.

20 11. Procédé selon la revendication 9, dans lequel la couche de collage formée sur chacun des substrat donneur et support est une couche de silicium, de carbone ou de carbure de silicium.

12. Procédé selon l'une des revendications 9 à 11, dans lequel la couche de collage présente une température de fusion inférieure à une température d'un recuit appliqué lors de l'étape de collage.