

DESCRIPTION

Procédé de préparation de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin

5 **DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention concerne un procédé de préparation de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin, un procédé de fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin utilisant le procédé de préparation de la face avant de ladite plaque, et un procédé de préparation d'une structure multicouche utilisant le procédé de fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin.

ETAT DE LA TECHNIQUE

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 (m-SiC) sur un substrat support de SiC polycristallin (p-SiC) plus bas coût.

Une solution de transfert de couche mince bien connue est le procédé Smart Cut™. 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.

Un tel substrat support en SiC polycristallin peut par exemple être formé par un dépôt en phase vapeur de p-SiC sur un substrat de croissance (par exemple un substrat de graphite), de sorte à former une plaque de p-SiC (généralement désignée par le terme anglais de slab) relativement épaisse (par exemple de 0.4 à 3 mm d'épaisseur) suivi d'un retrait du substrat de croissance et d'un amincissement de la plaque de p-SiC, de sorte à obtenir une ou plusieurs plaquettes de p-SiC ayant une forme voulue (notamment un pourtour en biseau) et une épaisseur désirée.

L'aminçissement comprend par exemple successivement un aminçissement très grossier (par électroérosion ou meulage) venant par exemple retirer une épaisseur de l'ordre de 150 μm ou plus, un meulage grossier venant par exemple retirer une épaisseur de l'ordre de 20 μm et un meulage fin venant par exemple retirer une épaisseur de l'ordre de 3 μm . De
5 préférence, un tel aminçissement est effectué sur les faces avant et arrière de la plaque de carbure de silicium polycristallin. Lorsque la plaque de carbure de silicium polycristallin est plus fine, avec par exemple une épaisseur de 400 μm , le meulage très grossier peut être omis.

L'aminçissement permet d'obtenir une plaquette autosupportée, c'est-à-dire dont
10 l'épaisseur est telle qu'elle ne se brise pas ni ne se déforme plastiquement sous l'effet de son propre poids. Une telle épaisseur est, par exemple, supérieure ou égale à 325 μm , de préférence de l'ordre de 350 μm .

L'aminçissement de la plaque peut être suivie d'étapes de finition de surface de la
15 plaquette visant notamment à la rendre plus lisse.

Il reste néanmoins difficile de réaliser un collage 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.
20

A titre d'exemple, un collage par diffusion atomique ADB (acronyme selon la dénomination anglo-saxonne « Atomic Diffusion Bonding ») faisant intervenir une couche de silicium de 10 nm, exige une rugosité inférieure à 10 Å RMS). Un tel collage comprend le dépôt du silicium sous vide, puis la mise en contact des deux substrats. On chauffe ensuite la
25 structure pour permettre la diffusion du silicium et ainsi le collage desdits substrats.

Si l'utilisation d'une meule à très petits grains (taille inférieure à 1,5 μm , soit un mesh supérieur à 15000) permet d'obtenir une très faible rugosité sur un matériau monocristallin, les performances atteintes avec ce même type de meule sur un matériau polycristallin tel que le
30 carbure de silicium polycristallin ne sont ni reproductibles, ni suffisamment satisfaisantes pour permettre un collage efficace d'un substrat SiC monocristallin avec un substrat SiC polycristallin. En effet, le retrait de matière par les dents d'un tel type de meule est non uniforme au niveau des grains et au niveau des joints de grains, générant de ce fait, une forme de rugosité.
35

Par ailleurs, si le polissage mécano-chimique, technique de lissage connue de l'homme du métier sous l'appellation CMP (d'après son acronyme anglo-saxon Chemical Mechanical Polishing), est un procédé efficace pour les substrats monocristallins, celui-ci conduit

également à la mise en évidence des joints de grains sur un substrat SiC polycristallin et donc à une rugosité trop importante pour permettre un bon collage d'un substrat SiC monocristallin avec un substrat SiC polycristallin.

5 BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de concevoir un procédé de préparation de la face avant d'un substrat de p-SiC pour permettre un collage de bonne qualité d'une couche mince d'un matériau monocristallin sur ladite face avant.

10 A cet effet, l'invention propose un procédé de polissage de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprenant une région superficielle au moins partiellement écrouie sous l'effet d'un meulage, comprenant :

- le déplacement relatif d'une meule entraînée en rotation et de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu'à retirer, avec la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque, une couche comprenant la région superficielle au moins partiellement écrouie et
15 présentant une épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin,

- l'arrêt du déplacement relatif et le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 15 secondes.

20 Le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée permet d'utiliser la meule en mode « frottement » pour polir la face avant de la plaque de p-SiC, sans retrait de matière. La mise en évidence des joints de grains du substrat de p-SiC observée dans les procédés de polissage plus classiques, tels que le polissage mécano-chimique, est alors évitée ce qui permet donc
25 d'obtenir un niveau de rugosité de la face avant compatible avec le collage d'une couche d'un matériau monocristallin.

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

- la meule présente une dureté supérieure à la dureté maximale permettant le retrait d'une couche non écrouie de même épaisseur que la région superficielle au moins
30 partiellement écrouie et faite de carbure de silicium polycristallin ;
- la meule comprend des grains de diamant enrobés dans un liant, la taille des grains de diamant étant supérieure à 2 μm (mesh 12000) ;
- lors du déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin, la vitesse relative de la meule et de la face avant de la plaque de carbure
35 de silicium polycristallin est comprise entre 0,05 $\mu\text{m/s}$ et 0,5 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement comprise entre 0,1 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement encore comprise entre 0,15 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, jusqu'au retrait de l'épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin ;

- le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est mis en œuvre pendant une durée supérieure ou égale à 30 secondes, préférentiellement une durée supérieure ou égale à 40 secondes.
- le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure ou égale à 30 secondes, préférentiellement une durée supérieure ou égale à 40 secondes, est fractionné en plusieurs séquences ;
- il comprend en outre, postérieurement à l'arrêt du déplacement relatif et au maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin, une étape supplémentaire de déplacement relatif de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu' à retirer, avec la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque, une épaisseur supplémentaire de la plaque de carbure de silicium polycristallin inférieure ou égale à 1 μm ;
- la vitesse de rotation de la meule pendant le polissage est comprise entre 10 m/s et 45 m/s, préférentiellement entre 10 m/s et 25 m/s ;
- au cours du polissage, la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est entraînée en rotation à une vitesse comprise entre 200 tr/min et 600 tr/min.

L'invention s'étend à un procédé de fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprenant l'amincissement par meulage d'une plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur au moins sa face avant, de sorte à obtenir une plaque de carbure de silicium polycristallin amincie et le polissage de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin amincie conformément à l'invention. L'amincissement de la plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur au moins sa face avant peut être mis en œuvre au moyen d'une meule dont la taille des grains est comprise entre 10 μm (mesh 2000) et 30 μm (mesh 600).

L'invention s'étend en outre à un procédé de préparation d'une structure multicouche comprenant la fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin conformément à l'invention, la fourniture d'un substrat donneur d'une couche à transférer et le transfert de la couche à transférer du substrat donneur sur la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin. Le substrat donneur peut être un substrat de carbure de silicium monocristallin. L'étape de transfert peut comprendre la formation d'une zone de fragilisation par implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur de sorte à délimiter la couche à transférer, le collage de la face implantée du substrat donneur sur la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin et le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation. Le collage peut être un collage direct, par exemple un collage par diffusion atomique.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

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

- la figure 1 représente un grain abrasif dans le liant d'une meule, avant (représentation de gauche) et après (représentation de droite) émoussage.

- la figure 2 représente différents états d'usure d'un grain abrasif à la périphérie d'une meule,

- 10 - la figure 3 compare le rendement de collage et la valeur de Haze de plaques de carbure de silicium polycristallin (unité arbitraire indicative d'une rugosité) dont la face avant a été préparée selon un procédé de l'état de la technique avec les rendements de collage et les valeurs de Haze de plaques dont la face avant a été préparée selon deux modes de réalisation différents du procédé de l'invention.

15 Pour des raisons de lisibilité, les dessins ne sont pas nécessairement réalisés à l'échelle.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

L'invention concerne le polissage de la face avant d'un substrat de p-SiC pour permettre
20 un collage de bonne qualité d'une couche mince d'un matériau monocristallin sur ladite face avant. Cette préparation de surface est réalisée au moyen d'un outil de meulage, telle qu'une meule, à la place des outils classiquement utilisés pour le polissage, tels que les outils de polissage mécano-chimique. En effet, le polissage mécano-chimique ou CMP, permet d'atteindre des rugosités très faibles sur les substrats monocristallins. Toutefois, ce procédé
25 révèle les joints de grains d'un substrat de carbure de silicium polycristallin créant ainsi une nouvelle forme de rugosité.

L'invention concerne plus particulièrement le polissage de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin qui comprend, au moins du côté de sa face avant, une région
30 superficielle au moins partiellement écrouie générée par meulage. Un tel meulage a pu être mis en œuvre pour préalablement amincir la plaque de carbure de silicium polycristallin sur au moins sa face avant, préférentiellement sur sa face avant et sur sa face arrière, par exemple à l'aide d'une meule à gros grains (typiquement des grains abrasifs de taille comprise entre 10 μm et 18 μm , soit un mesh compris entre 1000 et 2000).

35

Tout meulage laisse une région superficielle au moins partiellement écrouie également connue par l'homme du métier sous son appellation anglo-saxonne « damaged layer ». Autrement dit, suite au meulage, la plaque présente sur sa face avant une région superficielle

dans laquelle le cristal est désorganisé avec des rayures et des zones fracturées. L'épaisseur de la région superficielle écrouie dépend du meulage mis en œuvre : plus le meulage est grossier, plus la région superficielle écrouie est épaisse. L'épaisseur de la région superficielle écrouie est typiquement comprise entre 500 nm et 1 μ m.

5

En référence aux figures 1 et 2, on appelle meule un outil à symétrie de révolution comprenant principalement des grains en un matériau abrasif – dits grains abrasifs 1 – noyés dans un liant 2 présentant des pores 3, le tout étant déposé sur un support perpendiculaire à l'axe de révolution de la meule. A titre d'exemple, le liant 2 peut comprendre des résines, des
10 céramiques, des métaux. Les grains abrasifs 1 sont par exemple des grains de diamant. Le liant 2 définit globalement une surface opposée au support sur laquelle affleurent des grains abrasifs 1, rendant ladite surface abrasive.

De telles meules sont classiquement utilisées pour retirer de la matière afin d'amincir
15 des substrats dans des étapes dites de meulage.

Typiquement, le substrat à amincir 4 est mis en contact sur sa face avant avec la surface abrasive d'une meule en rotation (voir figure 1). Un déplacement axial relatif de la meule et du substrat à amincir selon l'axe de révolution de la meule permet d'appliquer une pression sur
20 la face avant dudit substrat 4. Sous l'effet de la pression, chaque grain de matière abrasive sur la périphérie de la meule agit alors comme un outil de coupe distinct qui fait sauter un minuscule copeau du substrat à amincir sur sa face avant. À mesure que les grains abrasifs s'émoussent (voir figure 1, passage de gauche à droite), la pression et la chaleur engendrées par l'usinage provoquent le bris des grains abrasifs émoussés puis leur clivage (voir figure 2),
25 de sorte à faire apparaître de nouveau grains abrasifs aux arêtes vives toutes neuves en périphérie et ainsi régénérer l'abrasivité de la surface de la meule. Le retrait de matière du substrat à amincir se poursuit avec des grains abrasifs neufs tant que la meule et le substrat sont en déplacement de translation relatif.

L'invention consiste à utiliser une telle meule, non pas simplement pour retirer de la
30 matière d'une plaque de carbure de silicium polycristallin, mais également pour polir la face avant de ladite plaque, par contact entre la face avant de la plaque et la surface abrasive de la meule en rotation.

A cet effet, le procédé, selon l'invention, de polissage de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprenant une région superficielle au moins partiellement écrouie telle que précédemment décrite comprend :
35 - le déplacement relatif de la meule entraînée en rotation et de la plaque de carbure de silicium

polycristallin jusqu'à retirer, avec la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque, une couche comprenant la région superficielle au moins partiellement écrouie et présentant une épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin,

- 5 - l'arrêt du déplacement relatif et le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 15 secondes.

10 Le déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu'à retirer au moins la région superficielle au moins partiellement écrouie permet d'émousser les grains de la meule sans pour autant favoriser leur clivage. Ainsi, lors du maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque suite à l'arrêt du déplacement relatif de la plaque et de la meule, ce sont les grains émoussés qui frottent contre la face avant de la plaque et non des grains neufs très tranchants. Ce frottement assure un
15 polissage doux de ladite face avant sans révélation des joints entre les grains de carbure de silicium.

Un maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin sans déplacement axial relatif de la plaque et de la meule pendant
20 une durée inférieure à 5s peut être classiquement réaliser pour préserver l'outil de meulage, par exemple pour éviter de fortes variations du courant d'alimentation du moteur. Le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 15 secondes conformément à l'invention permet d'observer une diminution de la rugosité de surface et un effet de polissage significatif.

25

Dans la suite, on s'intéresse au choix de la meule pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

On distingue différents types de meule, en fonction par exemple de la taille des grains
30 abrasifs desdites meules ou de leur dureté.

Il est à noter qu'on définit la dureté de la meule comme étant une mesure de la force de maintien des grains dans la meule. Plus une meule est dure, moins les grains émoussés se détachent facilement de la meule, de sorte à régénérer la surface abrasive de ladite meule. A
35 l'inverse, moins la meule est dure, plus les rangées de grains abrasifs se clivent et se succèdent facilement. La dureté de la meule dépend de la nature du liant, de la porosité et de la taille des grains abrasifs.

Pour retirer de la matière, l'homme du métier choisit traditionnellement une meule pas trop dure, de sorte à régénérer en permanence des grains coupants. En outre, une meule trop dure est moins efficace pour retirer de la matière et engendre un risque de chauffe – et donc de casse de la meule ou de la plaque – et de grippage – donc de rayures de la plaque.

5

Pour la mise en œuvre du procédé de polissage selon l'invention, les inventeurs préconisent l'utilisation d'une meule plus dure que les meules classiquement utilisées pour retirer de la matière. En effet, la nature partiellement écrouie de la région superficielle à retirer permet avantageusement l'émoussage des grains abrasifs de la meule plus dure sans engendrer de casse ou de grippage de ladite meule. En outre, parce que la meule est plus dure, l'émoussage des grains sans entraîner leur clivage est facilité.

10

Ainsi, on choisit préférentiellement une meule d'une dureté supérieure à la dureté maximale permettant le retrait d'une couche non écrouie de même épaisseur que la région superficielle au moins partiellement écrouie à retirer et faite du même matériau que ladite région superficielle. Autrement dit, la meule préférentiellement utilisée est trop dure pour retirer une couche non écrouie faite du même matériau et de la même épaisseur que la région superficielle partiellement écrouie à retirer, notamment sans engendrer une casse ou un grippage.

20

A titre d'exemple, la meule utilisée est une meule référencée chez ACCRETECH avec la lettre I ou supérieure par ordre alphabétique, par exemple la meule ACCRETECH HW8000VB-I144.

25

Concernant le choix de la taille des grains de la meule, pour un substrat monocristallin, il est connu d'utiliser des meules présentant des grains abrasifs d'autant plus petits qu'on souhaite obtenir, suite au meulage, une surface présentant une faible rugosité. Ainsi, une meule comprenant de très petits grains (typiquement une taille inférieure à 1,5 μm , soit un mesh supérieur à 15000) permet par exemple d'obtenir des surfaces libres de substrats de carbure de silicium monocristallin de très faible rugosité, inférieure à 1 nm RMS.

30

Le résultat obtenu avec ce type de meule à très petits grains sur une plaque de carbure de silicium polycristallin demeure cependant insuffisant pour permettre un collage de qualité d'un substrat monocristallin sur ladite plaque, par exemple un collage effectué dans le cadre du procédé Smart Cut TM.

35

Les inventeurs ont remarqué que les meules à très petits grains ont tendance à révéler les joints de grain du matériau polycristallin, ce qui conduit à la forte rugosité observée. Les

inventeurs attribuent cet effet au fait qu'à ces tailles de grains, la meule utilisée n'est nécessairement pas assez dure, et donc que lors de la rotation de la meule, il y a plus facilement un bris des grains émoussés et la mise en surface de grains neufs aux arêtes vives toutes neuves qui ont tendance à « gratter » les joints de grains.

5

Dans le procédé selon l'invention, on utilise donc préférentiellement une meule avec un mesh plus petit (donc des grains abrasifs plus gros) que les meules à très petits grains classiquement utilisées pour obtenir une très faible rugosité de surface, mais qui présente une dureté qui n'est pas atteignable pour ces meules à très petits grains. Ainsi, on utilise

10 préférentiellement une meule dont la taille des grains est comprise entre 2 μm et 3 μm (mesh compris entre 8000 et 12000). En outre, la dureté de ladite meule est préférentiellement supérieure à la dureté atteignable par une meule dont la taille des grains est inférieure ou égale à 1,5 μm (mesh est supérieur ou égal à 15000).

15 Ce type de meule favorise avantageusement l'émoussage des grains abrasifs lors du retrait de la région superficielle au moins partiellement écrouie sans entraîner leur bris et leur renouvellement par de nouveaux grains.

Préférentiellement, le déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium est mis en œuvre de sorte que l'épaisseur totale du retrait de matière n'excède pas de plus de 2,5 μm l'épaisseur de la région superficielle au moins partiellement écrouie. Ainsi, si la région superficielle au moins partiellement écrouie présente une épaisseur de 500 nm, l'épaisseur totale du retrait de matière est préférentiellement inférieure ou égale à 3 μm . Ne pas retirer une épaisseur totale de matière qui excède de plus de 2,5 μm l'épaisseur de la

25 région superficielle écrouie permet avantageusement de ne pas venir exposer en surface une nouvelle rangée de grains neufs aux arêtes vives.

Lors du déplacement axial relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin, la vitesse axiale relative de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est comprise entre 0,05 $\mu\text{m/s}$ et 0,5 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement comprise entre 0,1 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement encore comprise entre 0,15 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, jusqu'au retrait de l'épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin.

35 Une vitesse supérieure à 0,5 $\mu\text{m/s}$ risque d'engendrer le clivage de la ligne de grains abrasifs préalablement émoussés, et donc la mise à jour d'une nouvelle ligne de grains abrasifs que l'on cherche à éviter, ou la casse de la meule. Une vitesse inférieure à 0,005 $\mu\text{m/s}$ est trop lente pour être rentable économiquement.

La vitesse de rotation de la meule pendant le polissage est par exemple comprise entre 10 m/s et 45 m/s, préférentiellement entre 10 m/s et 25 m/s. Ainsi, pour une meule de 300 mm de diamètre, la vitesse de rotation de la meule est comprise entre 500 tr/min et 1500 tr/min.

- 5 Une vitesse de rotation de la meule inférieure à 10 m/s augmente inutilement la durée de l'étape et n'est pas intéressante économiquement. Une vitesse supérieure à 45 m/s risquerait d'entraîner le clivage des grains abrasifs de la meule préalablement émoussés et/ou la casse de la meule et/ou de la plaque de carbure de silicium polycristallin.

- 10 Sur la figure 3 sont comparés les résultats obtenus par la mise en œuvre d'un tel procédé de préparation de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin (histogrammes c et d) avec les résultats obtenus par la mise en œuvre d'un procédé de préparation selon l'état de la technique (histogrammes a et b).

- 15 Les histogrammes (a) et (b) correspondent à un meulage fin venant retirer une épaisseur de de l'ordre de 10 μm à l'aide d'une meule moins dure que celle préférentiellement utilisée par l'invention. Les histogrammes (c) et (d) correspondent à un polissage effectué selon l'invention en venant retirer une épaisseur de 10 μm à l'aide d'une meule dure et en procédant ensuite à un maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de
20 carbure de silicium polycristallin pendant une durée prise ici inférieure à 5 secondes.

- Les histogrammes (a) et (c) correspondent au pourcentage de plaques de carbure de silicium polycristallin dont l'état de surface de la face avant permet une bonne qualité de collage de ladite face avant avec un substrat monocristallin. Autrement dit, les histogrammes
25 (a) et (c) correspondent au pourcentage de substrats monocristallins collés sur une plaque de carbure de silicium polycristallin sans défaut. On entend par défaut, par exemple, un collage partiel du substrat monocristallin, la couche de substrat monocristallin n'étant pas transférée sur certaines parties de la plaque de carbure de silicium polycristallin. Les histogrammes (b) et (d) correspondent quant à eux à la valeur de Haze mesurée sur une plaque de carbure de
30 silicium polycristallin par diffusion de lumière, par exemple au moyen du système d'inspection Surfscan SP1 de la société KLA-Tencor ou par le système d'inspection SICA88 de la société Lasertec. Plus précisément, il s'agit d'une valeur moyenne mesurée en plusieurs points d'une plaque de carbure de silicium polycristallin. La valeur de Haze est un outil indirect pour mesurer la rugosité de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin. Cette valeur de
35 haze est issue d'une méthode utilisant les propriétés de réflectivité optique de la surface à caractériser et correspond à un signal optique diffusé par la surface, en raison de sa microrugosité : plus la rugosité de la surface est grande, plus la diffusion sur ladite surface est importante et plus la valeur de Haze mesurée est grande.

Ainsi, on peut constater que la mise en œuvre du procédé selon l'invention permet d'obtenir un rendement de collage de l'ordre de 30 %, supérieur au rendement du procédé selon lequel on retire une épaisseur de l'ordre de 10 μm qui est lui de l'ordre de 10 %. En outre, la valeur de Haze d'une face avant d'une plaque de carbure de silicium préparée par le procédé selon l'invention est inférieure à la valeur de Haze d'une face avant préparée par le procédé selon l'état de la technique.

Le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin peut avantageusement être mis en œuvre pendant une durée supérieure à 30 secondes et encore plus préférentiellement supérieure à 40 secondes, afin de maintenir le contact par frottement entre la meule et la plaque le plus longtemps possible (en conservant la même rangée de grains abrasifs préalablement émoussés).

Le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 30 secondes, préférentiellement une durée supérieure à 40 secondes, est préférentiellement fractionnée en plusieurs séquences, de sorte que le contact entre la meule et la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est rompu entre chaque séquence par déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin. Dans ce cas, la somme des durées de chaque séquence pendant laquelle la meule en rotation est maintenue en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin reste égale à la durée supérieure à 40 secondes choisie. A titre d'exemple, le maintien de la meule peut comprendre deux séquences : une première séquence dont la durée est comprise entre 5 secondes et 10 secondes, puis une deuxième séquence de sorte que la somme des durées de la première séquence et de la deuxième séquence est supérieure ou égale à 30 secondes, préférentiellement supérieure à 40 secondes. Le fractionnement de la période de frottement entre la meule en rotation et la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin permet d'éviter les échauffements et donc le clivage de la ligne de grains abrasifs préalablement émoussés.

Dans un mode de réalisation possible, le polissage comprend en outre, postérieurement à l'arrêt du déplacement relatif et au maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin, une étape supplémentaire de déplacement relatif de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin. L'étape supplémentaire de déplacement relatif de la meule et de la face avant peut comprendre, dans un premier temps, la rupture du contact entre la meule et la face avant puis, dans un deuxième temps, le rétablissement dudit contact. L'étape supplémentaire de

déplacement relatif de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est dans ce cas stoppée, par exemple par l'opérateur, dès que le contact de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est rétabli, de sorte à ne pas faire cliver les grains abrasifs de la meule préalablement émoussés.

5

L'étape supplémentaire de déplacement relatif est réalisée de manière à conduire au retrait d'une très faible épaisseur supplémentaire de la plaque de carbure de silicium polycristallin, préférentiellement une épaisseur supplémentaire de la plaque de carbure de silicium polycristallin inférieure ou égale à 1 μm , de préférence encore une épaisseur inférieure à 200 nm.

10

Cette étape supplémentaire de déplacement relatif de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin permet de diminuer encore la rugosité de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin et donc d'en améliorer la qualité de surface.

15

Sur la Figure 3, les histogrammes (e) et (f) représentent respectivement le rendement et la valeur de Haze obtenus suite à la mise en œuvre du protocole suivi pour les histogrammes (c) et (d) complété par cette étape supplémentaire venant retirer une épaisseur de 1 μm . Ainsi, la figure 3 met en évidence l'efficacité de cette étape, puisque le rendement augmente encore pour atteindre une valeur de l'ordre de 80 % et que la valeur de Haze diminue encore par rapport à l'histogramme (d).

20

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, la plaque de carbure de silicium polycristallin est entraînée en rotation autour d'un axe X perpendiculaire à la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin. La meule est elle-même en rotation autour d'un axe Y perpendiculaire à la surface abrasive de ladite meule, l'axe Y étant parallèle à l'axe X.

25

La plaque de carbure de silicium polycristallin est par exemple une plaque de 150 mm de diamètre et la meule est par exemple une meule de 300 mm de diamètre.

30

A titre d'exemple, la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin peut être entraînée en rotation à une vitesse comprise entre 200 tr/min et 600 tr/min.

35

Dans ce mode de réalisation, le déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin comprend par exemple le déplacement axial de la meule en rotation le long de l'axe Y de sorte à mettre en contact la surface abrasive de la meule avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin puis à retirer l'épaisseur inférieure

ou égale à 3 μm de ladite plaque sous l'effet de la pression exercée par la meule en déplacement axial.

5 Puis, le déplacement de la meule le long de l'axe Y est bloqué, la meule et la plaque demeurant en rotation respectivement autour des axes X et Y, de sorte à maintenir le contact entre la meule et la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une période supérieure à 15 secondes, préférentiellement une période supérieure à 30 secondes, préférentiellement encore une période supérieure à 40 secondes.

10 Selon ce mode de réalisation, si le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une période d'une durée supérieure à 30 secondes, préférentiellement pendant une durée supérieure à 40 secondes, est fractionnée en plusieurs séquences telles que précédemment décrites, la rupture du contact entre la meule et la face avant peut être mis en œuvre par translation le long de l'axe
15 Y de la meule maintenue en rotation, de sorte à éloigner ladite meule de la face avant de la plaque. A titre d'exemple, le maintien de la meule peut comprendre une première séquence d'une durée de 10 secondes, une période de séparation d'une minute pendant laquelle le contact est rompu entre la meule et la face avant de la plaque et une deuxième séquence de 30 secondes.

20 L'invention s'étend à un procédé de préparation d'une plaque de carbure de silicium polycristallin. Ledit procédé de préparation d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprend l'amincissement, au moyen d'une meule d'un premier type, d'une plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur sa face avant et éventuellement sur sa face arrière, de
25 sorte à obtenir une plaque de carbure de silicium polycristallin amincie. Préférentiellement, la plaque de carbure de silicium polycristallin amincie au moyen de la meule du premier type présente une épaisseur supérieure ou égale à 325 μm , de préférence encore une épaisseur de 350 μm .

30 La plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse (par exemple de 0,4 mm à 3 mm d'épaisseur) peut par exemple être réalisée par un dépôt de p-SiC sur un substrat de croissance (par exemple un substrat de graphite), typiquement un dépôt chimique en phase vapeur à une température comprise entre 1200°C et 1400°C.

35 Préalablement à l'amincissement à l'aide de la meule de premier type, on peut optionnellement mettre en œuvre un ou plusieurs meulages très grossiers de la face avant, préférentiellement de la face avant et de la face arrière, de la plaque de carbure de silicium épaisse.

La meule du premier type est une meule comprenant des grains abrasifs enrobés dans un liant, la taille des grains de la meule du premier type étant comprise entre 10 μm et 30 μm (mesh compris entre 600 et 2000). Etant donné la taille des grains abrasifs relativement grands de la meule du premier type, l'amincissement de la plaque de carbure de silicium polycristallin correspond donc à un meulage qualifié de grossier par l'homme du métier.

L'amincissement de la plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur sa face avant au moyen de la meule du premier type génère une région superficielle au moins partiellement écrouie sur ladite face avant, c'est-à-dire une région dans laquelle le cristal est désorganisé présentant des rayures et/ou des zones fracturées. Plus le mesh de la meule du premier type est petit (donc la taille des grains abrasifs de ladite meules grande), plus la région superficielle au moins partiellement écrouie est épaisse. Etant donné la gamme de mesh de la meule du premier type, l'épaisseur de la région superficielle écrouie est comprise entre 500 nm et 1 μm].

Le procédé de préparation d'une plaque de carbure de silicium polycristallin selon l'invention comprend en outre le polissage de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin amincie au moyen de la meule du premier type, ledit polissage étant mise en œuvre selon un mode de réalisation quelconque du procédé de polissage précédemment décrit au moyen d'une meule d'un deuxième type.

La meule du deuxième type présente préférentiellement les caractéristiques de tailles de grains et de dureté telles que précédemment énoncées.

Ainsi, la meule du deuxième type présente préférentiellement une dureté supérieure à la dureté maximale permettant le retrait d'une couche non écrouie de même épaisseur que la région superficielle au moins partiellement écrouie générée par la meule du premier type et faite du même matériau que ladite région superficielle.

La meule du deuxième type présente préférentiellement une taille de grains comprise entre 2 μm et 3 μm (mesh compris entre 8000 et 12000). En outre, la dureté de ladite meule du deuxième type est préférentiellement supérieure à la dureté atteignable par une meule dont la taille des grains est inférieure ou égale à 1,5 μm (mesh supérieur ou égal à 15000).

Dans ce procédé de fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin, le polissage de la face avant de ladite plaque préalablement amincie par meulage au moyen de la meule du premier type comprend le déplacement relatif de la meule du deuxième type et de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu'à retirer une épaisseur inférieure ou égale

à 3µm préalablement au maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 15 secondes, préférentiellement une durée supérieure à 30 secondes, préférentiellement encore une durée supérieure à 40 secondes. Le retrait de l'épaisseur inférieure ou égale à 3µm comprend le

5 retrait de la région superficielle au moins partiellement écrouie préalablement générée par l'aminçissement conduit au moyen de la meule du premier type.

Ainsi, le procédé selon l'invention permet de polir la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin directement après l'aminçissement par meulage grossier sur au moins

10 la face avant de ladite plaque en s'affranchissant d'étapes supplémentaires de meulage plus fin.

L'invention s'étend par ailleurs à un procédé de fabrication d'une structure multicouche, comprenant le polissage d'une plaque de p-SiC tel que précédemment exposé et le transfert

15 d'une couche mince d'un matériau monocristallin depuis un substrat dudit matériau monocristallin vers la plaque de carbure de silicium polycristallin.

Le substrat monocristallin est par exemple un substrat de carbure de silicium monocristallin (m-SiC). Alternativement, le substrat monocristallin est un substrat de nitrure de

20 gallium (GaN), de phosphure d'indium (InP), de diamant ou de silicium. Optionnellement, une couche intermédiaire de dioxyde de silicium (SiO₂) est arrangée entre la plaque de carbure de silicium polycristallin et le substrat monocristallin.

Le transfert de la couche mince du matériau monocristallin peut s'opérer selon la

25 technologie Smart Cut™ et ainsi comprendre une implantation d'espèces ioniques dans le substrat du matériau monocristallin de sorte à y former un plan de fragilisation délimitant la couche mince à transférer, le collage du substrat du matériau monocristallin avec la plaque de carbure de silicium polycristallin (le cas échéant par l'intermédiaire d'une ou plusieurs couches de collage) puis le détachement (provoqué par un traitement thermique, une action

30 mécanique, ou une combinaison de ces moyens) du substrat du matériau monocristallin le long du plan de fragilisation de sorte à transférer la couche active mince vers la plaque de carbure de silicium polycristallin. Le substrat de matériau monocristallin peut être soumis à un polissage mécanique ou mécano-chimique avant collage. Le procédé de fabrication de la structure composite peut en outre comprendre la formation de composants électroniques,

35 notamment de composants de puissance ou radiofréquence dans la couche mince transférée.

Le substrat du matériau monocristallin sur la plaque de carbure de silicium polycristallin est collé par exemple, par un collage tel qu'un collage ADB. Le collage ADB comprend par

- exemple le dépôt d'une couche de silicium d'une épaisseur de préférence comprise entre 4 nm et 20 nm, de préférence encore une épaisseur de 10 nm sur chacune des surfaces à coller. En effet, une couche de silicium d'épaisseur inférieure à 4 nm entraîne des risques de bullage. Alternativement, le substrat du matériau monocristallin sur la plaque de carbure de silicium polycristallin est collé au moyen d'un collage par activation de surface SAB (acronyme de *Surface Activated Bonding*). Le procédé de polissage selon l'invention permet avantageusement d'atteindre les rugosités très faibles exigées par ces modes de collage.
- 5

REVENDICATIONS

1. Procédé de polissage de la face avant d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprenant une région superficielle au moins partiellement écrouie sous l'effet d'un meulage, ledit procédé comprenant :
- 5 - le déplacement relatif d'une meule entraînée en rotation et de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu'à retirer, avec la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque, une couche comprenant la région superficielle au moins partiellement écrouie et présentant une épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin,
- 10 - l'arrêt du déplacement relatif et le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure à 15 secondes.
- 15 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la meule présente une dureté supérieure à la dureté maximale permettant le retrait d'une couche non écrouie de même épaisseur que la région superficielle au moins partiellement écrouie et faite de carbure de silicium polycristallin.
- 20 3. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel la meule comprend des grains de diamant enrobés dans un liant, la taille des grains de diamant étant supérieure à 2 μm (mesh 12000).
- 25 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel, lors du déplacement relatif de la meule et de la plaque de carbure de silicium polycristallin, la vitesse relative de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est comprise entre 0,05 $\mu\text{m/s}$ et 0,5 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement comprise entre 0,1 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, préférentiellement encore comprise entre 0,15 $\mu\text{m/s}$ et 0,45 $\mu\text{m/s}$, jusqu'au retrait de l'épaisseur inférieure ou égale à 3 μm de la plaque de carbure de silicium polycristallin.
- 30 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est mis en œuvre pendant une durée supérieure ou égale à 30 secondes, préférentiellement une durée supérieure ou égale à 40 secondes.
- 35 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin pendant une durée supérieure ou égale à 30 secondes, préférentiellement une durée supérieure ou égale à 40 secondes, est fractionné en plusieurs séquences.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant en outre, postérieurement à l'arrêt du déplacement relatif et au maintien de la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin, une étape
5 supplémentaire de déplacement relatif de la meule et de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin jusqu'à retirer, avec la meule en rotation en contact avec la face avant de la plaque, une épaisseur supplémentaire de la plaque de carbure de silicium polycristallin inférieure ou égale à 1 μm .

10 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel, la vitesse de rotation de la meule pendant le polissage est comprise entre 10 m/s et 45 m/s, préférentiellement entre 10 m/s et 25 m/s.

15 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel, au cours du polissage, la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin est entraînée en rotation à une vitesse comprise entre 200 tr/min et 600 tr/min.

10 10. Procédé de fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin comprenant :
20 - l'amincissement par meulage d'une plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur au moins sa face avant, de sorte à obtenir une plaque de carbure de silicium polycristallin amincie,
- le polissage de la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin amincie, ledit polissage étant mise en œuvre par un procédé selon l'une des revendications 1 à 9.
25

30 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel l'amincissement de la plaque de carbure de silicium polycristallin épaisse sur au moins sa face avant est mis en œuvre au moyen d'une meule dont la taille des grains est comprise entre 10 μm (mesh 2000) et 30 μm (mesh 600).

12. Procédé de préparation d'une structure multicouche comprenant :
- la fabrication d'une plaque de carbure de silicium polycristallin par un procédé selon l'une des revendications 10 à 11,
- la fourniture d'un substrat donneur d'une couche à transférer,
35 - le transfert de la couche à transférer du substrat donneur sur la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin.

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le substrat donneur est un substrat de carbure de silicium monocristallin.
40

14. Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, dans lequel l'étape de transfert comprend :

- la formation d'une zone de fragilisation par implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur de sorte à délimiter la couche à transférer,
- 5 - le collage de la face implantée du substrat donneur sur la face avant de la plaque de carbure de silicium polycristallin,
- le détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation.

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel le collage est un collage direct,
10 préférentiellement un collage par diffusion atomique.