Description

Titre de l'invention : Procédé de polissage mécanochimique en plusieurs étapes, appliqué à des matériaux de l'industrie des semiconducteurs

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne un procédé de polissage mécanochimique optimisé pour réduire la génération de rayures sur des substrats tels que des substrats de matériaux semiconducteurs, dits « wafers ».

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE

[0002] Le domaine des matériaux semiconducteurs nécessite l'obtention de surfaces de matériaux extrêmement planes et régulières, par exemple pour préparer un wafer de matériau semiconducteur à une étape de photolithographie ou une étape de collage par contact direct, ou pour travailler la surface d'un wafer donneur ou d'une couche séparée d'un tel wafer après une étape de clivage, éventuellement selon la technologie Smart Cut™. A ces fins, on emploie communément des opérations de polissages mécaniques ou mécanochimiques des surfaces, ou CMP pour Chemical Mechanical Polishing.

[0003] Le polissage mécanochimique est un procédé de lissage de surfaces combinant des actions mécaniques et chimiques. Au cours d'une opération de polissage mécanochimique d'un wafer, celui-ci est pressé et frotté contre un tissu de polissage en présence d'une solution de polissage communément appelée slurry. Lors d'un polissage mécanique, le slurry est chimiquement neutre et n'attaque pas chimiquement le matériau à polir.

[0004] Le tissu de polissage, dit « polishing pad » en terminologie anglaise, est constitué généralement d'un disque souple en polymère ou en tissu tissé ou non tissé, de rugosité connue, et présentant un profil permettant l'abrasion de la surface du wafer. La solution de polissage est constituée d'un liquide capable d'attaquer chimiquement le wafer, par exemple par oxydation, et contenant des particules abrasives capables d'attaquer mécaniquement le matériau.

[0005] En parallèle avec le polissage d'un wafer, le tissu de polissage peut être conditionné par friction au moyen d'un élément conditionneur, constitué par exemple d'un disque métallique à la surface duquel des diamants sont incrustés.

[0006] Le document de brevet US 2006/0183410 A1 porte sur un système et un procédé de conditionnement au diamant de tampons de polissage doux pour la planarisation et le polissage mécano-chimique (CMP).

[0007] Le document de brevet US 2011/0256812 A1 porte sur un contrôle en boucle fermée pour l'amélioration des profils des tampons de polissage.

[0008] Le document de brevet US 8,562,392 B2 porte sur un appareil et une méthode de polissage.

[0009] Le document de brevet US 2003/0166383 A1 porte sur un appareil de polissage.

[0010] Le document de brevet US 2017/0008146 A1 porte sur un conditionneur de planarisation mécano-chimique.

[0011] Le document de brevet US 5,961,373 A porte sur un Procédé de fabrication d'un dispositif semi-conducteur incluant le conditionnement d'un tampon de polissage.

[0012] Un exemple spécifique pour lequel une préparation extrêmement fine des surfaces est nécessaire est celui de la préparation de plaques de carbure de silicium SiC, en vue de fournir des substrats atomiquement plats et sans endommagement en vue d'une épitaxie de haute qualité. Ces substrats sont des composants fondamentaux dans la fabrication de dispositifs semiconducteurs à hautes performances pour des applications de haute puissance.

[0013] Les opérations de CMP impliquent une abrasion mécanique et donc la génération de débris qui peuvent aggraver certains défauts de surfaces, tels que les rayures, « scratches » en terminologie anglaise. Il peut devenir nécessaire de retirer ces débris pour assurer un polissage du niveau de la qualité visée. D'une manière plus générale, pour éviter l'apparition de défauts de surface, ou pour réduire ces défauts, les opérations de CMP sont d'ordinaire mises en œuvre en réglant finement les paramètres de polissage et en choisissant soigneusement les consommables employés. Il reste malgré tout une marge d'amélioration, qu'il est souhaitable d'exploiter au vu de l'importance de la qualité de surface des substrats ou des couches dans l'industrie du semiconducteur.

[0014] A cette fin, des procédés de polissage CMP en deux étapes ont été développés, comme exposé par exemple par Weilei Wang et al. dans l'article « Two-Step Chemical Mechanical Polishing of 4H-SiC (0001) Wafer », 2021 ECS J. Solid State Sci. Technol. 10 074004. Les opérations de CMP mettent en jeu des interactions complexes entre la surface des wafers et les consommables de l'équipement de CMP (tissu de polissage, slurry, élément de conditionnement du tissu de polissage. Le procédé en deux étapes consiste alors à utiliser une première combinaison de consommables à une première étape pour réaliser un premier objectif tel qu'une vitesse élevée d'enlèvement de matière de la surface du wafer à traiter. Dans une deuxième étape, une seconde combinaison de consommables est employée afin de réaliser un second objectif tel qu'une haute qualité de surface du wafer. En revanche, le couple slurry/ tissu de polissage change entre la première étape et la deuxième étape. Cette approche complexifie le choix des consommables et augmente le nombre d'opérations à réaliser,

dans un contexte industriel où l'on recherche au contraire la simplification des opérations tout en maintenant un niveau de performance souhaité.

Exposé de l'invention

[0015] Un objet de l'invention est de fournir un procédé de polissage mécanique ou mécanochimique de substrats employés dans l'industrie des semi-conducteurs résolvant les problèmes mentionnés ci-dessus.

[0016] En vue de la réalisation de ces objets, un aspect de l'invention est un procédé de polissage d'un substrat plan au moyen d'une machine de planarisation et de polissage comprenant un plateau de support sur lequel est placé un tissu de polissage interchangeable, une tête de conditionnement interchangeable prévue pour conditionner le tissu de polissage, et une tête de polissage prévue pour maintenir le substrat plan contre le tissu de polissage interchangeable, le procédé comprenant trois étapes : (1) une première étape dans laquelle on procède à un premier conditionnement d'un premier tissu de polissage au moyen d'une première tête de conditionnement, le substrat plan ne subissant pas d'opération de polissage contre le tissu de polissage durant cette première étape ; (2) une deuxième étape suivant la première étape, dans laquelle on procède à un premier polissage du substrat plan, le substrat plan étant maintenu contre le premier tissu de polissage au moyen de la tête de polissage, et le premier tissu de polissage ne subissant pas d'opération de conditionnement durant cette seconde étape ; et (3) une troisième étape suivant la deuxième étape, dans laquelle on procède (i) à un second polissage du substrat plan par maintien du substrat plan contre un second tissu de polissage au moyen de la tête de polissage et, simultanément, (ii) à un deuxième conditionnement du second tissu de polissage au moyen d'une seconde tête de conditionnement.

[0017] Le procédé de polissage selon l'invention permet de réduire la présence de rayures à la surface de substrats plans, ainsi que d'obtenir un état de surface compatible avec des opérations ultérieures exigeantes quant à cet état de surface, telles que des opérations de photolithographie ou de croissance par épitaxie en vue de fabriquer des circuits électroniques.

[0018] En outre, ce amène une simplification de la gestion des consommables (tissu de polissage, tête de conditionnement, solution de polissage) employés au cours du polissage et une réduction du nombre de manipulations impliquées en permettant d'utiliser les mêmes consommables tout au long de l'opération de polissage, sans obligation de changer ces consommables entre les étapes du procédé.

[0019] Selon des caractéristiques additionnelles non-limitative de l'invention, considérées individuellement ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

[0020] - le premier tissu de polissage et le second tissu de polissage peuvent être un même tissu de polissage ;

[0021] - une même solution de polissage peut être amenée sur le plateau au cours de la première étape, la deuxième étape, et la troisième étape ;

[0022] - la première tête de conditionnement et la seconde tête de conditionnement peuvent être une même tête de conditionnement ;

[0023] - un paramètre représentatif d'une force appliquée au substrat plan par la tête de polissage peut être le même pour la deuxième étape et la troisième étape ;

[0024] - un paramètre représentatif d'une rotation appliquée au substrat plan par la tête de polissage peut être le même pour la deuxième étape et la troisième étape ;

[0025] - un paramètre représentatif d'une rotation appliquée au plateau peut être le même pour la deuxième étape et la troisième étape ; et

[0026] - le substrat plan peut être constitué d'une plaque de carbure de silicium ou comprendre une couche de carbure de silicium sur laquelle est appliqué le polissage mécanochimique.

[0027] L'invention s'étend à un procédé de fabrication d'un substrat composite comprenant les étapes de préparer une surface d'un substrat donneur ; préparer une surface d'un substrat receveur ; assembler le substrat receveur au substrat donneur par mise en contact direct de la surface préparée du substrat donneur à la surface préparée du substrat receveur ; cliver le substrat donneur de manière à laisser sur le substrat receveur une couche de transfert formée d'une certaine épaisseur du substrat donneur ; et préparer une surface libre de la couche transfert, dans lequel au moins l'une des étapes de préparer la surface du substrat donneur, préparer la surface du substrat receveur et préparer la surface libre de la couche de transfert est mise en œuvre au moyen du procédé de polissage selon l'invention.

[0028] Selon des caractéristiques additionnelles non-limitative de l'invention, considérées individuellement ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

[0029] - le substrat donneur peut être au moins partiellement formé de SiC ou de GaN chacun de structure monocristalline, et/ou dans lequel le substrat receveur peut être au moins partiellement formé de SiC ou d'AlN chacun sous forme polycristalline ;

[0030] - le procédé de fabrication d'un substrat composite peut comprendre en outre une étape de reconditionnement d'une surface libre du substrat donneur après l'étape de clivage, dans lequel l'étape de reconditionnement est mise en œuvre au moyen du procédé de polissage selon l'invention.

[0031] L'invention s'étend à un procédé de fabrication d'un dispositif électronique, comprenant une étape choisie parmi une croissance de couche par épitaxie, une étape de collage par contact direct ou une opération de photolithographie mise en œuvre sur le substrat plan ayant subi le procédé de polissage selon l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0032] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquels :

[0033] [Fig.1] La [Fig.1] illustre une machine de planarisation et de polissage en cours d'usage ;

[0034] [Fig.2] La [Fig.2] illustre un procédé de polissage mécanochimique selon l'invention ;

[0035] [Fig.3] La [Fig.3] illustre des résultats de tests d'un procédé de polissage mécanochimique avec conditionnement in-situ ;

[0036] [Fig.4] La [Fig.4] illustre des résultats de tests d'un procédé de polissage mécanochimique avec conditionnement ex-situ ;

[0037] [Fig.5] La [Fig.5] illustre des résultats de tests d'un procédé de polissage mécanochimique en trois étapes selon l'invention ;

[0038] [Fig.6] La [Fig.6] illustre la fabrication d'un substrat composite mettant en œuvre le procédé de polissage de la [Fig.2] ;

[0039] [Fig.7] La [Fig.7] illustre le procédé de la fabrication d'un substrat composite de la [Fig.6].

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Mode de réalisation de l'invention

[0040] Un mode de réalisation de l'invention est détaillé ci-dessous et illustré par les figures 1 à 5.

[0041] Dans la suite de cette description, l'invention sera décrite dans l'exemple d'un polissage mécanochimique. Cependant, il est à noter que l'invention est également applicable à des polissages purement mécaniques.

[0042] La [Fig.1] illustre une machine Mac de polissage mécanochimique en cours d'usage, avec un plateau Pl de support sur lequel est placé un tissu Pol.Pad de polissage interchangeable, une tête Cond.Head de conditionnement interchangeable prévue pour conditionner le tissu Pad.Pol de polissage, et une tête Pol.Head de polissage prévue pour maintenir un substrat à traiter contre le tissu de polissage.

[0043] L'opération de polissage d'un substrat plan Waf, tel qu'un wafer, se déroule en maintenant le wafer contre le tissu Pol.Pad de polissage par l'intermédiaire de la tête Pol.Head de polissage en lui appliquant une force F1 dirigée vers le plateau Pl et une rotation $\omega 2$ autour d'un axe Ax2 vertical et centré sur la tête de polissage. La rotation $\omega 2$ est transmise au wafer au moyen d'un élément porteur Car en contact avec le wafer.

[0044] Le plateau Pl suit en outre une rotation ω1 selon un axe vertical Ax1 centré sur le plateau. Les mouvements relatifs du plateau et du wafer permettent un polissage régulier.

[0045] Bien que non représenté ici, la machine Mac de polissage est équipée d'un système de dispense d'une solution Sl de polissage, qui joue les rôles de lubrification et d'attaque chimique de la surface du wafer.

[0046] La machine Mac de polissage est également équipée d'une tête Con.Head de conditionnement du tissu de polissage Pol.Pad. Son rôle est de conditionner la surface de ce tissu pour maintenir stables ses caractéristiques. La tête de conditionnement peut être constituée d'un disque métallique rigide à la surface incrustée de diamants. Le disque est en rotation ω3 autour d'une axe Ax3 centré sur la tête de conditionnement, celle-ci étant montée à l'extrémité d'un bras Sw.Ar en mouvement d'oscillation Sw autour d'un axe A4 centré sur l'autre extrémité du bras Sw.Ar. Une force F2 verticale et orientée vers le plateau Pl est appliquée à la tête de conditionnement.

[0047] Les figures 3, 4 et 5 illustrent des résultats de caractérisation de substrats plans présentant au moins une surface de carbure de silicium ayant subie, respectivement, (1) un polissage du wafer avec un conditionnement concomitant du tissu de polissage (dit polissage avec conditionnement « in situ »), (2) un polissage du wafer à la suite d'un conditionnement du tissu de polissage, sans conditionnement concomitant au polissage (dit polissage avec conditionnement « ex situ »), et (3) un premier polissage du wafer à la suite d'un conditionnement du tissu de polissage, sans conditionnement concomitant au polissage (donc conditionnement dit « ex situ »), et un second polissage du wafer avec un conditionnement concomitant du tissu de polissage (dit polissage avec conditionnement « in situ »).

[0048] Les paramètres pertinents pour les polissages mentionnés dans le paragraphe précédent sont les suivants.

[0049] Le tissu de conditionnement peut avoir une dureté comprise entre 90 et 100 Shore A, une compressibilité comprise entre 0 et 6%, une densité comprise entre 0,95 et 1,11, et être entraîné en rotation ω1 à une vitesse comprise entre 90 et 120 tours/mn.

[0050] La tête de polissage peut imposer au wafer une pression comprise entre 3 et 9 psi (unité conventionnellement utilisée dans ce domaine par les fournisseurs de ce type de matériel) soit entre 21000 et 62000 N/m^2, et être entraînée en rotation ω2 à une vitesse comprise entre 70 et 160 tours/mn.

[0051] La tête de conditionnement peut être constituée d'un disque métallique diamanté d'agressivité (« aggressiveness » en terminologie anglaise) comprise entre 20 et 30, de planéité (« flatness » en terminologie anglaise) comprise entre 0 et 75, de vitesse de rotation ω3 comprise entre 10 et 140 tours/mn, et configurée pour appliquer une force sur le tissu de polissage comprise entre 4 et 8 lbf (pound-force ou livre-force, unité

conventionnellement utilisée par les fournisseurs de ce type de matériel), considérant que le diamètre standard de la tête de conditionnement est de 4,25 pouces (unité conventionnellement utilisée par les fournisseurs de ce type de matériel).

[0052] La caractérisation illustrée ici a été faite par un appareil SICA88 de la société Lasertec, qui permet de combiner les techniques de microscopie confocale à prisme de Nomarski en lumière visible et par photoluminescence (comme décrit par [1] T.Kimoto et al., « Fundamentals of Silicon Carbide Technology Growth Characterization Devices and Applications », p.126, ou [2] D. Baierhofer et al, Materials Science in Semiconductor processing 140 (2022) 106414), et est couramment utilisé pour inspecter les surfaces de substrats semiconducteurs.

[0053] En (A) des figures 1 à 3 sont représentés des cartes de défectivité, qui révèlent différents types de défauts de de défauts de la surface analysée. En (B) des figures 1 à 3 sont représentés des résultats d'analyses de rugosité.

[0054] Comme indiqué par la [Fig.3], une opération de polissage conventionnelle implique le conditionnement du tissu de polissage simultanément au polissage du wafer. Cette manière de procéder n'empêche cependant pas de manière satisfaisante la formation de défauts de surface tels que les rayures.

[0055] Les interprétations des figures 1 à 4 sont les suivantes. Une étape de polissage de wafers avec un conditionnement concomitant du tissu de polissage engendre un taux de rayures (défauts de type « scratch » en terminologie anglaise) variable comprise entre 10 et 30%, ce qui signifie que de 10 à 30 % des wafers présentent une rayure, voir [Fig.3] en (A). La rugosité associée, illustrée en (B) de la [Fig.3] est comprise dans une gamme allant de 4 à 5 en unité arbitraire de l'appareil SICA88, avec des régions R1 et R2 présentant des rugosités inférieures à 4,6 et 5,1 en unité arbitraire de l'appareil SICA88, respectivement.

[0056] Comme illustré par la [Fig.4], une opération de polissage dite « ex situ » permet de réduire le taux de rayure, ou taux de scratch en terminologie anglaise, à une plage allant de 0 à 8%, avec une rugosité comprise dans une gamme allant de 5 à 7 en unité arbitraire de l'appareil SICA88, avec des régions R1 et R2 présentant des rugosités inférieures à 5,7 et 6,3 en unité arbitraire de l'appareil SICA88, respectivement.

[0057] Les mécanismes responsables des différences d'états de surface entre les types de polissages des figures 3 et 4 ne sont pas complètement expliqués. La rugosité plus faible de l'opération de polissage avec conditionnement « in situ » serait due à un bon état de surface du tissu de polissage, celui-ci étant reconditionné en continu. La rugosité augmentée de l'opération de polissage avec conditionnement « ex situ » apparaît liée à des débris du wafer, à des particules de diamant de la tête de conditionnement et/ou à des particules abrasives de la solution de polissage. Le conditionnement « ex situ » ne permet pas d'optimiser la rugosité, mais semble

permettre une meilleure évacuation des particules ou agglomérats responsables des rayures.

[0058] Partant de ce constat, il est proposé de mettre en œuvre un procédé 100 de polissage d'un substrat plan Waf tel qu'un wafer, en trois étapes principales. Les résultats de ce procédé, illustrés par la [Fig.5], seront discutés plus bas.

[0059] A une étape 110, on procède au conditionnement d'un premier tissu Pol.Pad de polissage au moyen d'une tête Cond.Head de conditionnement. Une solution Sl de polissage est amenée sur le premier tissu de polissage. Durant cette première étape, le substrat plan Waf ne subit pas d'opération de polissage contre le tissu de polissage Pol.Pad.

[0060] A une étape intermédiaire 115 suivant l'étape 110, la tête de conditionnement est éloignée du premier tissu de polissage et, à l'inverse, le substrat plan est mis en contact avec le premier tissu de polissage, et pressé contre celui-ci au moyen de la tête de polissage Pol.Head et de l'élément porteur Car.

[0061] A une deuxième étape 120 suivant l'étape intermédiaire 115, on procède au polissage du substrat plan Waf en le maintenant contre le premier tissu Pad.Pol de polissage au moyen de la tête Pol.Head de polissage. Une solution Sl de polissage est amenée sur le tissu de polissage. Durant cette deuxième étape, le premier tissu Pad.Pol de polissage ne subit pas d'opération de conditionnement. Autrement dit, durant la deuxième étape 120 de polissage du substrat plan Waf, la tête de conditionnement est à distance du tissu de polissage, au moins un écart étant maintenu entre la tête de conditionnement et le tissu de polissage, c'est-à-dire que la tête est positionnée de manière à ne pas appliquer d'action, et en particulier d'action mécanique, sur le tissu de polissage. La tête peut également être complètement retirée du système de polissage, comme illustré par la [Fig.2].

[0062] A une étape intermédiaire 125 suivant l'étape 120, la tête de conditionnement est mise en contact avec le tissu de polissage et pressée contre celui-ci.

[0063] A une troisième étape 130 suivant l'étape intermédiaire 125, on procède au polissage du substrat plan Waf par maintien du substrat plan Waf contre le premier ou le second tissu Pad.Pol de polissage au moyen de la tête Pol.Head de polissage et, simultanément, au conditionnement du tissu Pol.Pad de polissage au moyen de la tête Cond.Head de conditionnement. Une solution Sl de polissage est amenée sur le tissu de polissage.

[0064] Un premier tissu de polissage est utilisé durant les étapes 110 et 120. Ce même premier tissu de polissage peut être utilisé pour l'étape 130, ou bien il peut être remplacé par un second tissu de polissage, de même type ou de type différent du premier tissu de polissage.

[0065] Une même tête de conditionnement peut être employée pour deux ou trois des trois étapes 110, 120 et 130, ou trois têtes de conditionnement de trois types différents peuvent être chacune employées pour l'une respective des trois étapes 110, 120 et 130.

[0066] Un même liquide de polissage peut être employée pour deux ou trois des trois étapes 110, 120 et 130, ou trois liquides de polissage de trois types différents peuvent être chacun employés pour l'une respective des trois étapes 110, 120 et 130.

[0067] Des paramètres de polissage tels que les vitesses des rotations $\omega 1$, $\omega 2$, $\omega 3$, et $\omega 4$, et des grandeurs représentatives des forces appliquées F1 et F2 peuvent individuellement être les mêmes pour deux ou trois des trois étapes 110, 120 et 130, ou peuvent être différents pour chacune des trois étapes 110, 120 et 130.

[0068] Choisir des consommables - tissus de polissage, têtes de conditionnement, liquide de polissage - distincts selon les étapes permet une optimisation de chacune de ces étapes et donc une qualité de surface optimale. En revanche, dans un cadre industriel, cela rend la gestion des consommables, l'usage du système de polissage (machine, stocks et manipulation des consommables…) et son maintien complexe et source d'erreurs et de coûts supplémentaires.

[0069] A contrario, limiter les variations des consommables permet une gestion simplifiée de ces consommables, simplifie également le maintien du système de polissage et limite le nombre de manipulations nécessaires, réduisant les sources d'erreurs et réduisant les coûts.

[0070] La [Fig.5] illustre les résultats d'opérations de polissage en trois étapes dans lesquelles les consommables restent les mêmes durant les trois étapes 110, 120 et 130.

[0071] Il apparaît que le nombre de rayures est réduit par rapport aux opérations de polissage illustrées par les figures 3 et 4 et que le niveau de rugosité est réduit par rapport aux opérations de polissage illustrées par la [Fig.4], avec des régions R1 et R2 présentant des rugosités inférieures à 5,1 et 5,7 en unité arbitraire de l'appareil SICA88, respectivement. Ainsi, le nombre de défauts de surfaces, en particulier le nombre de rayures, ainsi que la rugosité sont compatibles avec des opérations ultérieures d'épitaxie, de collage direct ou encore de photolithographie. Le procédé de polissage en trois étapes selon l'invention permet une réduction substantielle du nombre de défauts de surface par rapport aux procédés conventionnels.

[0072] En pratique, l'étape 120 peut être utilisée pour retirer une relativement forte épaisseur du substrat plan à traiter, par exemple entre 180 nm pour des substrats consistant en des substrats plans comprenant une couche de carbure de silicium SiC, et 800 nm pour des wafers de carbure de silicium monocristallins. Cette étape, avec un conditionnement « ex situ » permet d'éviter la formation de rayures mais menant à une rugosité non optimale.

[0073] L'étape 130 peut être considérée comme une étape de finition, avec un conditionnement « in situ », retirant une épaisseur du substrat plan à traiter plus faible que l'étape 120, environ 50 nm par exemple. Cette étape permet de réduire la rugosité de la surface du substrat plan sans introduire de rayure.

[0074] A la suite des étapes 110 à 130, le substrat plan est prêt à subir des opérations supplémentaires 140 en vue de la fabrication d'un dispositif semiconducteur. Ces opérations peuvent comprendre une ou plusieurs opérations de croissance de couche mince par épitaxie, de collage par contact direct ou de photolithographie.

[0075] Une croissance de couche mince par épitaxie permet d'obtenir une couche semiconductrice de grande qualité cristalline formée directement sur la couche polie du substrat plan.

[0076] Un collage par contact direct permet d'associer une structure plane, homogène ou complexe, au substrat plan selon des méthodes d'assemblages connues telles que le collage moléculaire ou de collage ou le collage métal-métal.

[0077] Une opération de photolithographie permet, sur la base du substrat plan, de réaliser des dispositifs semiconducteurs complexes.

[0078] Chacune de ces opérations bénéficie de la qualité de polissage obtenue au moyen du procédé des étapes 110 à 130, qui permet une hausse de rendement de la production du dispositif semiconducteur final.

[0079] Exemple applicatif

[0080] Les figures 6 et 7 illustrent un procédé 200, qui est un exemple particulier d'application du procédé décrit ci-dessus, particulièrement adapté à l'obtention de substrats semiconducteurs composites comprenant une couche mince d'un premier matériau semiconducteur supportée par un substrat d'un second matériau. La couche mince est destinée à former la couche active d'un dispositif semiconducteur. Le substrat est choisi pour ses caractéristiques complémentaires à celles de la couche mince. On peut ainsi former des substrats composites formés d'une couche de SiC ou de GaN de structure monocristalline supportée par un substrat de SiC ou d'AlN de structure polycristalline.

[0081] Le procédé 200 débute par la fourniture de deux substrats Sub1 et Sub2 à deux étapes de fourniture 210 et 220, respectivement. Dans un exemple de mise en œuvre de l'invention, le substrat Sub1 est constitué de SiC ou de GaN de structure monocristalline, et est destiné à servir de substrat donneur pour former une couche mince monocristalline TrLay. Le substrat Sub2 est constitué de SiC ou d'AlN de structure polycristalline, et est destiné à servir de substrat de support pour la couche de transfert TrLay.

[0082] A une étape 230 d'implantation d'au moins une espèce légère, le substrat Sub1 est préparé à une étape de séparation de la couche TrLay issue d'une partie de l'épaisseur du substrat Sub1, selon la technologie Smart Cut™ Dans le présent exemple.

[0083] A cette fin, le substrat Sub1 doit être préparé par introduction d'au moins une espèce légère telles que de l'hydrogène ou de l'hélium dans ce substrat. Cette introduction peut correspondre à une implantation d'hydrogène, c'est-à-dire, un bombardement ionique d'hydrogène. De façon connue en soi, et comme cela est illustré par la [Fig.6], les ions hydrogène H^+ sont implantés de manière à former un plan de fragilisation Frgl délimitant la couche TrLay à transférer, correspondant au volume compris entre le plan de fragilisation Frgl et la surface Surf1 du substrat Sub1 à travers laquelle les ions H+ ont été implanté dans le substrat Sub1.

[0084] La nature, la dose des espèces implantées et l'énergie d'implantation sont choisies en fonction de l'épaisseur de la couche que l'on souhaite transférer et des propriétés physico-chimiques du substrat Sub1. Dans le cas d'un substrat Sub1 en SiC, on pourra choisir d'implanter une dose d'hydrogène comprise entre 10^{16} et 5.10^{17} at/cm² avec une énergie comprise entre 30 et 300 keV pour délimiter une couche TrLay de l'ordre de 200 à 2000 nm d'épaisseur.

[0085] A une étape d'assemblage 250, les deux substrats Sub1 et Sub2 sont assemblés l'un à l'autre par mise en contact direct de la couche TrLay avec une face du substrat Sub2. Ces deux couches adhèrent l'une à l'autre par collage moléculaire. De cette manière est formé un empilement intermédiaire IntStck comprenant les deux substrats Sub1 et Sub2 avec la couche de fragilisation Frgl.

[0086] L'étape d'assemblage requiert que les surfaces mises en contact soient aussi plane et lisses que possible, idéalement atomiquement planes. A cette fin, les étapes 210 et 220 de fourniture des substrats comprennent chacune la mise en œuvre du procédé de polissage décrit plus haut, appliqué au moins aux faces des substrats Sub1 et Sub2 destinées à entrer en contact entre elles au cours de l'étape d'assemblage 250.

[0087] A une étape de détachement S260 suivant l'étape d'assemblage 250, le substrat Sub1 est clivé en deux parties au niveau de la couche de fragilisation Frgl, selon le procédé Smart Cut™ dans le présent exemple. Ainsi, une partie du substrat Sub1 est détachée du reste de son volume pour isoler une couche d'intérêt, ici la couche TrLay qui est détachée du reste du substrat Sub1 par fracture au niveau du plan de fragilisation Frgl. La couche TrLay est ainsi transférée sur le support Sub2. L'ensemble obtenu forme le substrat composite Comp.Sub.

[0088] Cette étape de détachement peut comprendre l'application à l'empilement IntStck d'un traitement thermique dans une gamme de température de l'ordre de 800°C à 1000°C pour permettre le détachement de la couche TrLay et ainsi compléter le

transfert de celle-ci sur le substrat Sub2. En remplacement ou en complément du traitement thermique, cette étape peut comprendre l'application d'une lame ou un jet de fluide gazeux ou liquide, ou de tout autre effort de nature mécanique au niveau du plan de fragilisation Frgl.

[0089] A une étape optionnelle suivant l'étape de détachement, on peut appliquer un traitement thermique de stabilisation au substrat composite Comp.Sub. Le traitement thermique de stabilisation permet de guérir des défauts cristallins présents dans la couche TrLay. Ce traitement thermique peut être prévu pour amener le substrat composite à une température comprise entre 1500°C et 1900°C pendant une durée comprise entre 30 minutes et 10 heures. Ce traitement thermique est préférentiellement réalisé en exposant la face libre de la couche TrLay à une atmosphère gazeuse neutre.

[0090] A la suite du détachement de la couche TrLay du reste de substrat Sub1, sa surface libre Surf.Sep est irrégulière. Afin de la mettre en état de subir toute opération conventionnellement employées dans l'industrie du semiconducteur, il est nécessaire de préparer cette surface Surf.Sep et en particulier de réduire sa rugosité, idéalement de manière à la rendre atomiquement plane et lisse.

[0091] Ainsi, à une étape 270 de préparation de surface, un traitement de planarisation et de polissage est appliqué à la surface Surf.Sep de la couche TrLay. Il peut s'agir du traitement de polissage décrit plus haut au moyen de la [Fig.2].

[0092] Après l'étape de clivage 260, le substrat donneur Sub1 présente une surface Surf1' formée par le clivage du substrat au niveau du plan de fragilisation. A une étape Refurb de reconditionnement du substrat Sub1 pour qu'il puisse resservir de substrat donneur, la surface Surf1' peut être remise en état selon le même process que celui de l'étape 270.

[0093] Dans ce document, les figures ne sont pas nécessairement à l'échelle. Certaines caractéristiques et certains composants peuvent être représentés exagérés par rapport à d'autres composants ou sous une forme quelque peu schématique, et certains détails d'éléments conventionnels peuvent ne pas être représentés dans l'intérêt de la clarté et de la concision.

[0094] Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux modes de mise en œuvre décrits et on peut y apporter des variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

Revendications

[Revendication 1] Procédé (100) de polissage d'un substrat plan (Waf) au moyen d'une machine de planarisation et de polissage comprenant un plateau (Pl) de support sur lequel est placé un tissu (Pol.Pad) de polissage interchangeable, une tête (Cond.Head) de conditionnement interchangeable prévue pour conditionner le tissu (Pad.Pol) de polissage, et une tête (Pol.Head) de polissage prévue pour maintenir le substrat plan (Waf) contre le tissu de polissage interchangeable, le procédé comprenant trois étapes :
- une première étape (110) dans laquelle on procède à un premier conditionnement d'un premier tissu (Pol.Pad) de polissage au moyen d'une première tête (Cond.Head) de conditionnement, le substrat plan (Waf) ne subissant pas d'opération de polissage contre le tissu de polissage (Pol.Pad) durant cette première étape ;
- une deuxième étape (120) suivant la première étape (110), dans laquelle on procède à un premier polissage du substrat plan (Waf), le substrat plan (Waf) étant maintenu contre le premier tissu (Pad.Pol) de polissage au moyen de la tête (Pol.Head) de polissage, et le premier tissu (Pad.Pol) de polissage ne subissant pas d'opération de conditionnement durant cette seconde étape ; et
- une troisième étape (130) suivant la deuxième étape (120), dans laquelle on procède (i) à un second polissage du substrat plan (Waf) par maintien du substrat plan (Waf) contre un second tissu (Pad.Pol) de polissage au moyen de la tête (Pol.Head) de polissage et, simultanément, (ii) à un deuxième conditionnement du second tissu (Pol.Pad) de polissage au moyen d'une seconde tête (Cond.Head) de conditionnement.

[Revendication 2] Procédé (100) selon la revendication 1, dans lequel le premier tissu de polissage et le second tissu de polissage sont un même tissu (Pol.Pad) de polissage.

[Revendication 3] Procédé (100) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel une même solution (Sl) de polissage est amenée sur le plateau au cours de la première étape (110), la deuxième étape (120), et la troisième étape (130).

[Revendication 4] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première tête de conditionnement et la seconde

tête de conditionnement sont une même tête (Cond.Head) de conditionnement.

[Revendication 5] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel un paramètre représentatif d'une force (F1) appliquée au substrat plan par la tête de polissage est le même pour la deuxième étape (120) et la troisième étape (130).

[Revendication 6] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel un paramètre représentatif d'une rotation (ω2) appliquée au substrat plan (Waf) par la tête (Pol.Head) de polissage est le même pour la deuxième étape et la troisième étape.

[Revendication 7] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel un paramètre représentatif d'une rotation (ω1) appliquée au plateau (Pl) est le même pour la deuxième étape et la troisième étape.

[Revendication 8] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le substrat plan est constitué d'une plaque de carbure de silicium ou comprend une couche de carbure de silicium sur laquelle est appliqué le polissage mécanochimique.

[Revendication 9] Procédé (200) de fabrication d'un substrat composite (Comp.Sub) comprenant les étapes de :
- préparer (210) une surface (Surf1) d'un substrat donneur (Sub1) ;
- préparer (220) une surface (Surf2) d'un substrat receveur (Sub2) ;
- assembler (250) le substrat receveur (Sub1) au substrat donneur (Sub2) par mise en contact direct de la surface (Surf1) préparée du substrat donneur à la surface (Surf2) préparée du substrat receveur ;
- cliver (260) le substrat donneur (Sub1) de manière à laisser sur le substrat receveur (Sub2) une couche (TrLay) de transfert formée d'une certaine épaisseur du substrat donneur (Sub1) ; et
- préparer (270) une surface (SurfSep) libre de la couche transfert,
dans lequel au moins l'une des étapes de préparer la surface (Surf1) du substrat donneur, préparer la surface (Surf2) du substrat receveur et préparer la surface (SepSurf) libre de la couche de transfert est mise en œuvre au moyen du procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Revendication 10] Le procédé (200) selon la revendication 9, dans lequel le substrat donneur (Sub1) est au moins partiellement formé de SiC ou de GaN chacun de structure monocristalline, et/ou dans lequel le substrat receveur (Sub2) est au moins partiellement formé de SiC ou d'AlN chacun sous forme polycristalline.

[Revendication 11] Le procédé (200) selon la revendication 9 ou 10, comprenant en outre une étape (Refurb) de reconditionnement d'une surface libre (Surf1') du substrat donneur (Sub1) après l'étape de clivage (260), dans lequel l'étape de reconditionnement est mise en œuvre au moyen du procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Revendication 12] Procédé de fabrication d'un dispositif électronique, comprenant une étape (140) choisie parmi une croissance de couche par épitaxie, une étape de collage par contact direct ou une opération de photolithographie mise en œuvre sur le substrat plan ayant subi le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.