

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.02.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 28.08.09 Bulletin 09/35.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR  
TECHNOLOGIES Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : SOTTA DAVID, EL FARHANE REBHA  
et MAZEN FREDERIC.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 PROCÉDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE MINCE SUR UN SUBSTRAT SUPPORT.

57 La présente invention concerne un procédé de transfert d'une couche (12) par formation d'une zone de fragilisation dans un substrat source (10) sur un substrat support (30), comprenant les étapes successives de:

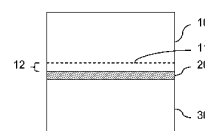
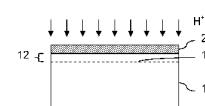
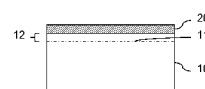
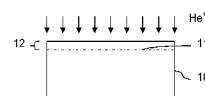
(a) formation d'une couche de collage (20) sur le substrat source (10),

(b) implantation d'ions d'une première espèce dans le substrat source (10) à travers la couche de collage (20),

(c) mise en contact intime de la couche de collage (20) et du substrat support (30),

(d) fracture du substrat source (10) selon la zone de fragilisation de manière à transférer la couche (12) sur le substrat support (30).

Ledit procédé comprend, avant l'étape (a), l'implantation d'ions d'une deuxième espèce dans le substrat source (10).



## PROCEDE DE TRANSFERT D'UNE COUCHE MINCE SUR UN SUBSTRAT SUPPORT

### 5        **DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention concerne un procédé de transfert d'une couche mince sur un substrat support pour des applications dans l'optique, l'optoélectronique ou la microélectronique.

### 10       **ARRIERE PLAN DE L'INVENTION**

Le transfert d'une couche mince d'un substrat source sur un substrat support par un procédé de type Smart Cut <sup>TM</sup> nécessite la formation d'un plan de fragilisation dans le substrat source – ce plan de fragilisation pouvant être obtenu par implantation d'espèces ioniques telles que des ions hydrogène – puis la fracture du substrat source selon le plan de fragilisation. Par couche mince ou film, on entend une couche  
15 dont l'épaisseur est typiquement comprise entre 50 nanomètres et 2 micromètres.

La dose d'implantation nécessaire pour permettre l'obtention d'une fracture dans les matériaux III/N est beaucoup plus importante que dans le silicium. Un critère précurseur d'une fracture au niveau du plan de fragilisation est l'apparition d'un  
20 cloquage (ou « blistering » selon la terminologie anglo-saxonne) de la surface implantée, celle-ci n'étant pas recouverte d'un raidisseur. Ce cloquage apparaît lorsque le substrat source implanté avec une dose suffisante est soumis à un budget thermique suffisant. Ainsi, l'apparition du cloquage constitue un indice sur le fait que la dose implantée et le budget thermique permettront la fracture, la surface implantée  
25 étant alors recouverte d'un raidisseur. Toutefois, le cloquage présente un effet néfaste s'il intervient avant le transfert, car il compromet la tenue mécanique des couches collées ou déposées sur le substrat source implanté. On cherche donc à éviter son apparition.

Ainsi, une dose de  $5.10^{16}$  H<sup>+</sup>/cm<sup>2</sup> suffit généralement pour le transfert d'une  
30 couche mince de silicium tandis qu'une dose de 1 à  $5.10^{17}$  H<sup>+</sup>/cm<sup>2</sup> est nécessaire pour le transfert d'une couche mince de GaN (on pourra se reporter à cet égard à

l'article « Transfers of 2-inch GaN films onto sapphire substrates using Smart Cut™ technology » de A. Tauzin et al. dans Electronics letters 26<sup>th</sup> May 2005, vol. 41, No.11). On notera que la dose a par ailleurs peu d'influence sur la profondeur d'implantation et donc sur l'épaisseur de la couche transférée ; ce paramètre étant  
5 principalement déterminé par l'énergie de l'implantation et l'espèce implantée.

Or de telles doses d'implantation contribuent à endommager le matériau du substrat source.

Afin de réduire la dose totale d'implantation, il est connu qu'il est favorable de procéder à une co-implantation d'ions d'hélium et d'hydrogène dans des conditions  
10 qui permettent d'atteindre une profondeur d'implantation moyenne assez similaire pour les deux espèces.

Par exemple, une dose d'implantation d'ions hélium de  $1,5 \text{ à } 4 \cdot 10^{17} \text{ He}^+/\text{cm}^2$  avec une énergie de 80 à 160 keV, complétée par une dose d'implantation d'ions hydrogène de  $1 \cdot 10^{17} \text{ à } 2 \cdot 10^{17} \text{ H}^+/\text{cm}^2$  avec une énergie de 60 à 100 keV, permet de  
15 réaliser l'exfoliation du film mince, c'est-à-dire réaliser le détachement du film selon la zone de fragilisation formée par implantation..

Cependant, ces doses réduites de co-implantation endommagent encore nettement le matériau sur une épaisseur importante au niveau de la zone de fracture notamment pour la fracture de matériaux III/N. Après détachement de la couche, on  
20 doit typiquement éliminer environ 250 nm de matériau endommagé à la surface du GaN.

On pourrait alors envisager de transférer une couche plus épaisse par implantation plus profonde des espèces ioniques, afin de pouvoir éliminer, après fracture, toute la matière endommagée sur la couche transférée et obtenir une  
25 couche résiduelle de matériau présentant une épaisseur et une qualité cristalline souhaitée pour les applications visées. Celles-ci comprennent notamment la reprise d'épitaxie (homo ou hétéroépitaxie) de matériaux III/N pour former par exemple des LED, ce qui explique que le matériau du film mince transféré doive présenter une bonne cristallinité et qu'il soit peu endommagé.

30 Pour implanter plus profondément les espèces ioniques, il faudrait donc augmenter l'énergie d'implantation.

Or, l'énergie nécessaire à l'implantation peut être un paramètre limitant selon les implantateurs utilisés. En effet, un implantateur dit « fort courant » désigne un implantateur dont l'énergie d'implantation des espèces ioniques plafonne à 120 keV tandis que l'implantateur « moyen courant » permet une énergie d'implantation jusqu'à 400 keV et  
5 qu'un implantateur très haute énergie, peu répandu, permet une implantation avec énergie de quelques millions d'eV.

Mais ces implantateurs ne permettent pas la même vitesse d'implantation des espèces ioniques, qui est directement liée au courant de l'implantateur. L'implantateur « fort courant » dispose d'un courant d'implantation de 10 à 30 mA et permettra une  
10 implantation beaucoup plus rapide qu'un implantateur moyen courant limité à 10 mA ou qu'un implantateur très haute énergie qui dispose d'un courant de 10 à 100  $\mu$ A.

Un des buts de l'invention est de réduire l'énergie d'implantation et d'utiliser l'implantateur le plus rapide pour une même dose donnée, c'est-à-dire l'implantateur à fort courant.

15 Il est connu qu'une co-implantation d'ions d'hélium et d'hydrogène permet dans certaines conditions de diminuer le budget thermique à fournir pour l'obtention de la fracture.

On a pu montrer par ailleurs que dans le cas des matériaux III/N, il est plus favorable d'effectuer une implantation d'une espèce lourde (hélium) suivant le même  
20 profil (i.e. le positionnement des pics de concentration) d'implantation qu'une espèce légère (ions hydrogène).

Toutefois, l'implantation de l'espèce lourde nécessite une énergie plus importante que celle de l'espèce légère pour atteindre un maximum de concentration à la même profondeur. Pour des implantateurs à fort courant standard, il peut donc être  
25 difficile d'atteindre les énergies nécessaires d'implantation des ions hélium pour le transfert de couche de plus 500 nm dans le GaN.

Une difficulté supplémentaire réside dans le dépôt d'une couche de collage permettant l'adhésion entre le substrat source fragilisé et le substrat support. Le dépôt de cette couche de collage est préalable à l'implantation. En effet, si ce dépôt  
30 était réalisé après l'implantation, le budget thermique apporté par ce dépôt risquerait d'initier un phénomène de cloquage, empêchant ainsi les étapes ultérieures de

collage et de transfert. Pour déposer la couche de collage après implantation il faudrait limiter les budgets thermiques apportés par le dépôt et la préparation de surface de la couche de collage (planarisation, polissage) pour ne pas initier le cloquage, ce qui limite la faisabilité du procédé. Il est connu qu'à cette fin ces budgets thermiques ne doivent pas dépasser 10% du budget thermique de fracture dans le cas du silicium par exemple. Ce dernier dépend notamment des espèces implantées, des conditions d'implantation, et du substrat implanté.

Outre l'épaisseur du matériau III/N à fragiliser, les ions implantés doivent donc également traverser la couche de collage. L'énergie d'implantation doit par conséquent être augmentée pour tenir compte de cette épaisseur supplémentaire.

De ce fait, l'énergie nécessaire pour l'implantation devient un paramètre limitant pour l'implantation des ions hélium – les ions hélium nécessitant, à profondeur d'implantation égale, une énergie supérieure à celle des ions hydrogène.

Ainsi, dans le cas d'une couche de collage de l'ordre de 500 nm, si l'on souhaite transférer un film mince de GaN d'une épaisseur de l'ordre de 400 nm, l'énergie nécessaire pour implanter les ions hélium devient supérieure à 200 keV.

En effet, le transfert d'un film de 480 nm environ est réalisé grâce une dose d'implantation d'ions hélium de  $2 \cdot 10^{17}$  atomes/cm<sup>2</sup> avec une énergie de 210 KeV suivi d'une dose d'implantation d'ions hydrogène de  $2 \cdot 10^{17}$  atomes/cm<sup>2</sup> avec une énergie 120KeV.

Or, les dispositifs d'implantation les plus couramment utilisés pour implanter des doses aussi importantes, (ie les implanteurs fort courant) ne délivrent pas une énergie supérieure à 120 keV, ou ne peuvent pas être optimisés en termes de courant et de contamination énergétique dans une telle gamme d'énergie.

Si l'on souhaite transférer un film plus épais pour pouvoir éliminer la matière endommagée sur le film transféré, l'énergie nécessaire pour l'implantation des ions hélium rendra donc très difficile l'industrialisation du procédé de co-implantation.

Un autre problème résultant du procédé habituel de transfert de couche est que le recuit de fracture effectué en vue du transfert peut, dans le cas où les matériaux assemblés présentent des différences importantes de coefficients de dilatation thermique, occasionner des décollements à l'interface ou la rupture des matériaux.

L'un des buts de l'invention est donc de proposer un nouveau procédé de transfert d'une couche mince d'un substrat source sur un substrat support, qui permette, à épaisseur transférée constante, l'utilisation d'une énergie d'implantation moins élevée que dans les procédés connus et pour tout type de matériaux utilisés.

5 Ce procédé doit être industrialisable au moyen des dispositifs disponibles couramment dans le commerce.

L'invention doit également permettre la réduction du budget énergétique à fournir pour réaliser la fracture et le transfert du film mince après implantation des espèces ioniques.

10

### **BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION**

Conformément à l'invention, il est proposé un procédé de transfert d'une couche par formation d'une zone de fragilisation dans un substrat source sur un substrat support, comprenant les étapes successives de :

15 (a) formation d'une couche de collage sur le substrat source,  
(b) implantation d'ions d'une première espèce dans le substrat source à travers la couche de collage,  
(c) mise en contact intime de la couche de collage et du substrat support,  
(d) fracture du substrat source selon la zone de fragilisation de manière à  
20 transférer la couche sur le substrat support,  
ledit procédé comprenant, avant l'étape (a), l'implantation d'ions d'une deuxième espèce dans le substrat source.

Selon un mode préféré de réalisation, les ions de la deuxième espèce ont une masse supérieure ou égale à celle des ions de la première espèce.

25 De manière particulièrement avantageuse, la première espèce est de l'hydrogène et la deuxième espèce est de l'hélium.

Selon d'autres caractéristiques possibles de l'invention :

- l'énergie d'implantation des ions de la deuxième espèce est inférieure ou égale à celle d'implantation des ions de la première espèce ;

30 - la couche de collage est en  $\text{SiO}_2$  et/ou en nitrure de silicium ;

- la couche de collage est formée sur une épaisseur de 200 à 600 nm par dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (LPCVD) ou en présence de plasma (PECVD) ;

- avant l'étape (c) on effectue un traitement thermique de la couche de collage ;

5        - avant l'étape (c), on effectue une planarisation de la couche de collage jusqu'à l'obtention d'une rugosité inférieure à 5 Å RMS sur une surface de 5 micromètres par 5 micromètres ;

- avant l'implantation des ions de la seconde espèce on dépose une couche de protection sur la surface du substrat source ;

10       - lors de l'étape (b) l'implantation des ions de la première espèce forme un plan de fragilisation définissant la couche à transférer et les ions de la deuxième espèce sont implantés à la même profondeur que les ions de la première espèce ;

- la couche transférée est en matériau III/N et présente une épaisseur comprise entre 50 et 900 nm, et les ions de la deuxième espèce sont des ions hélium implantés  
15 avec une énergie inférieure ou égale à 210 keV ;

- le substrat support est choisi parmi le saphir, le silicium et le carbure de silicium ;

- le matériau de la couche transférée est choisi parmi les matériaux du groupe III/N, tels que GaN, InGaN, AlGaN, InAlGaN, le silicium ou le germanium.

20

### **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, à partir des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre de manière schématique l'implantation d'ions hélium  
25 dans un substrat source ;

- la figure 2 représente la formation d'une couche de collage sur le substrat source implanté ;

- la figure 3 illustre l'implantation d'ions hydrogène dans le substrat source à travers la couche de collage ;

30       - la figure 4 illustre le collage du substrat source sur un substrat support ;

- la figure 5 illustre le transfert d'une couche du substrat source vers le substrat support.

### DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

5 D'une manière générale, le procédé comprend l'implantation d'ions dans le substrat source en deux étapes : l'implantation d'ions d'une première espèce a lieu de manière classique après le dépôt de la couche de collage sur le substrat source, mais la formation de cette couche de collage est précédée de l'implantation d'ions d'une deuxième espèce ionique. Comme on le verra plus bas, les deux espèces  
10 implantées peuvent être différentes, les ions de la première espèce ayant de préférence une masse plus faible que ceux de la seconde ; éventuellement, on peut implanter une même espèce d'ions lors des deux étapes.

Les paramètres d'implantation sont la dose et l'énergie apportée aux espèces ioniques. Lors de l'implantation, les ions ne s'implantent pas tous exactement à la  
15 même profondeur, mais selon un profil d'implantation (concentration en fonction de la profondeur) de type gaussien. Par profondeur moyenne d'implantation, on entend la profondeur à laquelle la concentration en ions implantés est maximale. L'homme du métier sait déterminer, en fonction du substrat subissant l'implantation, des espèces à implanter et de la profondeur moyenne d'implantation souhaitée, la dose et l'énergie  
20 des espèces.

La couche à transférer peut être constituée d'un matériau III/N c'est-à-dire d'un matériau comportant un ou des éléments de la colonne III du tableau périodique et de l'azote. Il peut s'agir d'un alliage binaire tel que AlN, GaN, BN. Il peut aussi être ternaire ou quaternaire comme AlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>, B<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N, ou In<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>GaN. Il peut également  
25 s'agir de silicium, de germanium, ou d'un isolant tel que saphir, tantalate ou niobate de lithium.

Le substrat source peut être massif ou composite, par exemple composé d'un support de saphir sur lequel un matériau III/N tel que du GaN a été déposé ou collé.

Les matériaux III/N pouvant être polaires, il peut être préféré de réaliser  
30 l'implantation sur une face plutôt que sur l'autre. Par exemple, le GaN de symétrie cristalline hexagonale et dont la croissance est réalisée selon l'axe c est polaire : il

présente une face dite N et une face dite Ga. La face Ga permettant une reprise d'épitaxie plus facile, il sera préféré d'implanter et de coller la face N sur le substrat support pour que la structure composite finale présente la face Ga libre pour la réalisation d'une épitaxie.

- 5           On va maintenant décrire de manière plus détaillée, et dans le cas du transfert d'une couche de GaN, les différentes étapes du procédé.

Première étape d'implantation : ions de la deuxième espèce

- En référence à la figure 1, les ions de la deuxième espèce sont implantés à travers la face nue du substrat source 10, cette face n'étant pas encore recouverte de la couche de collage. De manière préférée, mais non limitative, les ions de la deuxième espèce sont choisis de sorte à être plus lourds que ceux de la première espèce. Ainsi, ce sont les ions les plus légers qui doivent traverser la couche de collage.

- Si les ions implantés après le dépôt de la couche de collage sont de l'hydrogène, les ions de la deuxième espèce seront avantageusement de l'hélium, qui est une espèce plus lourde que l'hydrogène. De manière plus générale, les espèces les plus intéressantes sont potentiellement le bore, l'azote et les gaz rares : Ne, Ar, Xe. On peut aussi envisager l'utilisation d'éléments chimiques, sous leurs différentes formes d'espèces ioniques, tels que Be, O, De, F, Kr, F, en mono-implantation ou en co-implantation.

- De manière alternative, les ions implantés lors de cette première étape d'implantation pourront être des ions hydrogène comme dans la deuxième étape. Un tel cas se présente lorsque l'on veut transférer une couche très épaisse sur un substrat ayant un fort différentiel de coefficient de dilatation thermique avec le matériau transféré.

- La dose et l'énergie des ions sont paramétrées de manière à atteindre la profondeur souhaitée dans le substrat source, soit entre 100 et 1000 nm selon l'épaisseur de la couche que l'on souhaite transférer. L'énergie nécessaire est moindre que celle qui aurait été nécessaire pour traverser également la couche de collage. Par exemple, l'énergie d'une implantation d'ions hélium nécessaire pour une fragilisation dans le GaN à 500 nm de profondeur qui est réalisée au travers une

couche d'oxyde de 500 nm est de l'ordre de 210 KeV alors qu'elle est de l'ordre de 105 KeV en absence de couche de collage pour la même profondeur implantée.

L'implantation peut donc être mise en œuvre au moyen d'un planteur classique du marché.

- 5 Cette première étape d'implantation implique par ailleurs une dose suffisamment faible pour qu'elle ne génère pas de risque de cloquage lors du dépôt à chaud ultérieur de la couche de collage.

La profondeur moyenne d'implantation 11 des ions de la première espèce définit l'épaisseur de la couche 12 à transférer. Dans les matériaux III/N, on fait de  
10 préférence coïncider la profondeur moyenne d'implantation des ions des 2 espèces. Dans le cas particulier du silicium, on peut décaler légèrement les profils d'implantation tout en permettant une fracture de belle qualité cristalline.

Avant cette première étape d'implantation, on peut avantageusement former une couche de protection, par exemple une couche de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  d'une épaisseur de 20 à  
15 50 nm (non représentée) sur la face du substrat source qui devra subir l'implantation.

#### Formation de la couche de collage

En référence à la figure 2, une couche de collage 20 est ensuite déposée sur le substrat source 10, sur la face à travers laquelle l'implantation des ions de la deuxième espèce a été effectuée. On peut mettre en œuvre à cet effet des  
20 techniques de dépôt telles que le dépôt chimique en phase vapeur en présence d'un plasma (ou, selon la terminologie anglo-saxonne, « Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition » (PECVD)) ou le dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (« Low-Pressure Chemical Vapor Deposition » (LPCVD)).

Ce dépôt est effectué avant la deuxième étape d'implantation (i.e. des ions de la  
25 première espèce) de sorte que le budget thermique apporté par ce dépôt n'initie pas le phénomène de cloquage avant que le budget thermique de fracture ne soit appliqué au substrat source collé sur le substrat support.

La couche de collage 20 est par exemple en  $\text{SiO}_2$  ou en nitrure de silicium ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Son épaisseur est typiquement comprise entre 50 et 3000 nm et de  
30 préférence entre 200 et 600 nm. Une couche de nitrure de silicium et une couche d'oxyde de silicium peuvent être combinées pour un meilleur collage (en effet, le

matériau III/N adhère bien avec une couche de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  qu'on appelle parfois couche d'accrochage).

Le dépôt de l'oxyde de silicium peut être effectué par la technique LPCVD (par exemple, une épaisseur de 500 nm est déposée à 800°C pendant 4 heures) ou par  
5 PECVD (avec cette technique, une épaisseur de 500 nm est déposée à 300°C pendant 40 minutes).

Ces oxydes de silicium déposés sont moins stables à la température que les oxydes thermiques (obtenus par oxydation thermique de silicium contenu dans le substrat tel que le silicium ou SiC) qui sont plus denses.

10 Un traitement thermique de densification peut donc leur être appliqué après leur dépôt pour les densifier et les stabiliser. Ce traitement thermique de densification peut être réalisé après l'implantation des ions de la première espèce. Dans tous les cas on évitera d'appliquer des budgets thermiques au cours de cette étape de dépôt ou de traitement thermique de densification, ce qui conduirait au cloquage du substrat  
15 implanté.

#### Deuxième étape d'implantation : ions de la première espèce

En référence à la figure 3, des ions de la première espèce sont implantés dans le substrat source 10, à travers la couche de collage 20, dans des conditions qui permettent d'atteindre la profondeur souhaitée.

20 On précise qu'en fonction du substrat source, cette profondeur peut être la même ou une profondeur légèrement différente de la profondeur moyenne 11 des ions de la deuxième espèce.

Du fait de l'épaisseur supplémentaire de la couche de collage à traverser, l'énergie d'implantation des ions de la première espèce est supérieure ou égale à  
25 l'énergie mise en œuvre lors de la première implantation.

La dose d'ions implantés lors de cette deuxième étape complète la dose implantée lors de la première étape, afin de permettre la fracture.

Il est alors envisageable de procéder à la planarisation et au polissage de la couche de collage 20 pour obtenir une meilleure adhérence à l'interface des substrats  
30 à assembler, tout en restant vigilant à ne pas provoquer le cloquage du substrat implanté. Alternativement, on pourra effectuer cette étape de planarisation avant

cette seconde étape d'implantation. Lors de cette planarisation, on vise typiquement à obtenir une rugosité inférieure à 5 Å RMS sur une surface de 5 micromètres par 5 micromètres

#### Transfert de la couche mince

5        Puis le procédé de transfert est poursuivi de façon classique : comme illustré à la figure 4, le substrat source 10 ainsi fragilisé est mis en contact intime avec un substrat support 30 de manière à obtenir un collage par adhésion moléculaire, la couche de collage 20 étant située à l'interface.

10        Le substrat support 30 peut lui aussi être recouvert d'une couche de collage par exemple en oxyde de silicium et/ou en nitrure de silicium (non représentée) et peut être activé par plasma. Si cela est nécessaire, il est également procédé à des étapes de préparation de surface avant la mise en contact avec la couche de collage 20 du substrat source 10 (i.e. planarisation et polissage).

15        Le substrat support 30 peut être constitué de saphir, SiC, Si, MgO, GaAs, ZnO ou d'un alliage constitué principalement de Ni, Cr, Mo, W dans des proportions définies pour obtenir un coefficient de dilatation thermique choisi ou encore de tout autre matériau utilisé dans des applications optiques, optoélectroniques, ou microélectroniques.

20        Un recuit de fracture est ensuite appliqué pour finaliser le transfert de la couche mince 12. La fracture peut être facilitée par l'apport d'un budget énergétique complémentaire tel qu'une aide mécanique, par exemple l'insertion d'une lame à l'interface fragilisée 11. On obtient alors la structure représentée à la figure 5.

25        L'enchaînement des étapes de la co-implantation et de la formation de la couche de collage permet donc de mettre en œuvre des énergies d'implantation moins élevées que celles d'un procédé d'implantation standard.

      Un autre avantage procuré par l'invention réside en ce que le budget thermique apporté par le dépôt de la couche de collage après l'implantation des ions de la seconde espèce participe au budget énergétique total à apporter pour réaliser la fracture en vue du transfert de la couche mince 12.

30        Le complément énergétique à apporter lors du recuit de fracture est donc moindre que dans le cas du dépôt de la couche de collage avant la co-implantation.

Il en résulte la possibilité d'utiliser une température de recuit de fracture réduite et donc de pouvoir utiliser des matériaux présentant des coefficients de dilatation thermique (CTE) très différents, tels qu'une couche mince 12 de GaN transférée sur un substrat support en saphir 30, sans risque de décollement à l'interface de collage  
5 ni de casse des matériaux.

#### Exemple de mise en œuvre de l'invention

On prend pour substrat source un substrat de GaN.

Sur la face N du substrat, on dépose une couche de protection d'une épaisseur de 20 nm. Cette couche de protection sert à protéger la surface du matériau des  
10 contaminations, notamment métalliques ou carbonées, liées à l'implantation des espèces ioniques. L'épaisseur de cette couche étant très mince, elle a peu d'incidence sur l'énergie d'implantation des ions hélium. Cette couche peut être constituée de nitrure de silicium ou de SiO<sub>2</sub>.

On plante ensuite des ions hélium avec une dose de l'ordre de 0,8 à 1.10<sup>17</sup>  
15 atomes/cm<sup>2</sup> et une énergie comprise entre 80 et 120 keV, de préférence 105 keV, pour atteindre une profondeur moyenne d'implantation comprise entre 300 et 500 nm, de préférence de l'ordre de 500 nm, à travers la face N du substrat 10 de GaN recouverte de la couche de protection.

On retire la couche de protection selon une technique adaptée en fonction de la  
20 nature de cette couche – typiquement, si la couche de protection est en SiO<sub>2</sub>, on utilise de l'acide fluorhydrique dilué (HF).

On dépose une couche de collage 20 d'une épaisseur de l'ordre de 500 nm sur la surface libérée. Cette couche peut être choisie parmi différents matériaux tels que le SiO<sub>2</sub> et le nitrure de silicium.

25 On plante alors les ions hydrogène avec une dose de l'ordre de 3.10<sup>17</sup> atomes/cm<sup>2</sup> et une énergie de l'ordre de 120 KeV pour atteindre une profondeur moyenne d'implantation de l'ordre de 500 nm dans le substrat source de GaN au travers de la couche de collage.

La face à travers laquelle l'implantation a eu lieu est ensuite mise en contact  
30 intime avec la surface d'un substrat support à température ambiante. Le substrat support peut lui aussi être recouvert au préalable par une couche de collage. Les

surfaces à coller peuvent avoir été préparées par des méthodes classiques de polissage, exposition à un plasma, et/ou nettoyage pour en améliorer l'adhérence.

Le substrat support peut par exemple être en saphir.

Un recuit de fracture est réalisé, par exemple par une rampe de température de  
5 la température ambiante à environ 300°C., rampe au cours de laquelle on obtient une fracture au niveau de la couche fragilisée.

On obtient alors une structure composite constituée par une couche mince 12 de GaN d'une épaisseur de l'ordre de 500 nm collée sur un support 30 en saphir.

La surface de cette structure est ensuite préparée pour une épitaxie ultérieure.  
10 En particulier, on peut procéder à l'enlèvement de la zone endommagée par les étapes d'implantation/fracture du GaN en surface de la structure composite, de manière à mettre à nu une zone saine de la couche transférée.

L'invention dont on a illustré une application pour le transfert d'une couche en  
15 GaN, est applicable pour le transfert de couches par co-implantation, quelle que soit la nature du matériau (par exemple : silicium, germanium, tantalate de lithium, ....).

## REVENDICATIONS

1. Procédé de transfert d'une couche (12) par formation d'une zone de fragilisation dans un substrat source (10) sur un substrat support (30), comprenant  
5 les étapes successives de :
- (a) formation d'une couche de collage (20) sur le substrat source (10),
  - (b) implantation d'ions d'une première espèce dans le substrat source (10) à travers la couche de collage (20),
  - (c) mise en contact intime de la couche de collage (20) et du substrat support  
10 (30),
  - (d) fracture du substrat source (10) selon la zone de fragilisation de manière à transférer la couche (12) sur le substrat support (30),
- caractérisé** en ce qu'il comprend, avant l'étape (a), l'implantation d'ions d'une deuxième espèce dans le substrat source (10).  
15
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les ions de la deuxième espèce ont une masse supérieure ou égale à celle des ions de la première espèce.
- 20 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la première espèce est de l'hydrogène et que la deuxième espèce est de l'hélium.
4. Procédé selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'énergie d'implantation des ions de la deuxième espèce est inférieure ou égale à  
25 celle d'implantation des ions de la première espèce.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la couche de collage (20) est en  $\text{SiO}_2$  et/ou en nitrure de silicium.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la couche de collage (20) est formée sur une épaisseur de 200 à 600 nm par dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (LPCVD) ou en présence de plasma (PECVD).

5 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'avant l'étape (c) on effectue un traitement thermique de la couche de collage (20).

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'avant l'étape c), on effectue une planarisation de la couche de collage (20)  
10 jusqu'à l'obtention d'une rugosité inférieure à 5 Å RMS sur une surface de 5 micromètres par 5 micromètres.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'avant l'implantation des ions de la seconde espèce on dépose une couche de protection sur  
15 la surface du substrat source (10).

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lors de l'étape (b) l'implantation des ions de la première espèce forme un plan de fragilisation définissant la couche (12) à transférer et en ce que les ions de la  
20 deuxième espèce sont implantés à la même profondeur que les ions de la première espèce.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la couche (12) transférée est en matériau III/N et présente une épaisseur comprise  
25 entre 50 et 900 nm, et en ce que les ions de la deuxième espèce sont des ions hélium implantés avec une énergie inférieure ou égale à 210 keV.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le substrat support (30) est choisi parmi le saphir, le silicium et le carbure de silicium.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le matériau de la couche (12) transférée est choisi parmi les matériaux du groupe III/N, tels que GaN, InGaN, AlGaN, InAlGaN, le silicium ou le germanium.

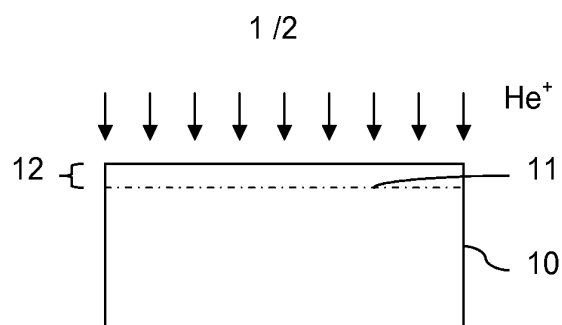


FIG. 1

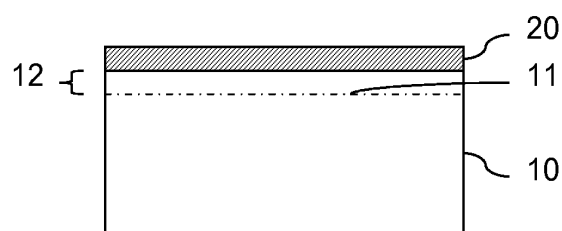


FIG. 2

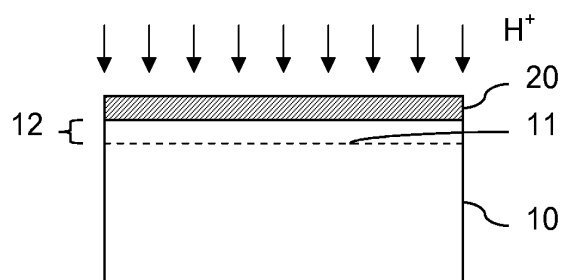


FIG. 3

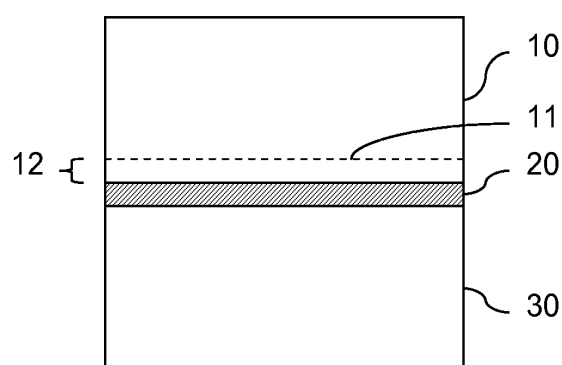


FIG. 4

2 / 2

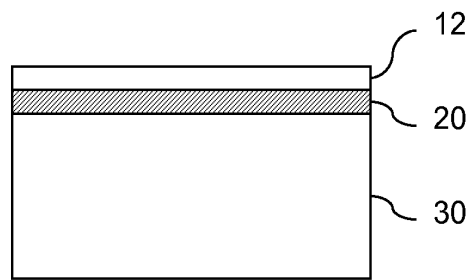


FIG. 5



# **RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 704474  
FR 0851176

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                          | Revendication(s)<br>concernée(s) | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                                       |                                  |                                                                     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | EP 1 835 534 A (SOITEC SILICON ON<br>INSULATOR [FR])<br>19 septembre 2007 (2007-09-19)<br>* colonne 7, alinéa 32 - colonne 9, alinéa<br>45; figures 3a3-f *              | 1-18                             | H01L21/762                                                          |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | WO 2006/032947 A (SOITEC SILICON ON<br>INSULATOR [FR]; NGUYEN NGUYET PHUONG [FR];<br>BEN MOHAM) 30 mars 2006 (2006-03-30)<br>* page 11, ligne 11 - page 18, ligne 25 *   | 1-18                             |                                                                     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | WO 2006/032948 A (SOITEC SILICON ON<br>INSULATOR [FR]; AKATSU TAKESHI [FR])<br>30 mars 2006 (2006-03-30)<br>* page 12, ligne 26 - page 17, ligne 7 *                     | 1-18                             |                                                                     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | US 2004/262686 A1 (SHAHEEN MOHAMAD [US] ET<br>AL) 30 décembre 2004 (2004-12-30)<br>* page 2, alinéa 21 - alinéa 24; figure 5<br>*                                        | 1-18                             |                                                                     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | WO 2007/019277 A (CALIFORNIA INST OF TECHN<br>[US]; MORRAL ANNA FONTCUBERTA I [DE];<br>ZÄHLER) 15 février 2007 (2007-02-15)<br>* page 19, ligne 29 - page 22, ligne 12 * | 1-18                             | <div>DOMAINES TECHNIQUES<br/>RECHERCHÉS (IPC)</div> <div>H01L</div> |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                          | Examineur                        |                                                                     |
| 15 mai 2008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                          | Hedouin, Mathias                 |                                                                     |
| <div> <p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br/>autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> </div> <div> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br/>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br/>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>.....<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> </div> |                                                                                                                                                                          |                                  |                                                                     |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE****RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0851176 FA 704474**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **15-05-2008**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|----|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| EP 1835534                                      | A  | 19-09-2007             | CN 101038865 A                          | 19-09-2007             |
|                                                 |    |                        | FR 2898431 A1                           | 14-09-2007             |
|                                                 |    |                        | JP 2007251172 A                         | 27-09-2007             |
|                                                 |    |                        | KR 20070093328 A                        | 18-09-2007             |
|                                                 |    |                        | SG 136060 A1                            | 29-10-2007             |
|                                                 |    |                        | US 2007212852 A1                        | 13-09-2007             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| WO 2006032947                                   | A  | 30-03-2006             | CN 101027768 A                          | 29-08-2007             |
|                                                 |    |                        | EP 1792338 A1                           | 06-06-2007             |
|                                                 |    |                        | US 2006060943 A1                        | 23-03-2006             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| WO 2006032948                                   | A  | 30-03-2006             | CN 101036222 A                          | 12-09-2007             |
|                                                 |    |                        | EP 1792339 A1                           | 06-06-2007             |
|                                                 |    |                        | US 2006063353 A1                        | 23-03-2006             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| US 2004262686                                   | A1 | 30-12-2004             | US 2006286771 A1                        | 21-12-2006             |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |
| WO 2007019277                                   | A  | 15-02-2007             | AUCUN                                   |                        |
| -----                                           |    |                        |                                         |                        |