

DESCRIPTION

Substrat et son procédé de fabrication pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à large bande interdite

DOMAINE TECHNIQUE

5 Le domaine de l'invention est celui des commutateurs bidirectionnels réalisés en des matériaux à large bande interdite tels que le nitrure de gallium (GaN) et le carbure de silicium (SiC). L'invention concerne plus particulièrement un substrat et son procédé de fabrication pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos.

10 TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans les applications d'électronique de puissance telles que les véhicules électriques, la production d'énergie renouvelable, la communication de véhicule à véhicule et le stockage d'énergie, les commutateurs bidirectionnels sont particulièrement utiles. Ces commutateurs permettent de contrôler efficacement le flux d'énergie dans les deux sens, ce qui garantit un fonctionnement fiable et sûr dans diverses conditions d'utilisation.

15 Sur le marché des dispositifs de puissance, actuellement dominé par les dispositifs en silicium, les dispositifs à base de matériaux à large bande interdite tels que le GaN et le SiC augmentent progressivement leur part de marché. Ces derniers peuvent en effet fonctionner à des températures et des tensions nettement plus élevées tout en offrant des niveaux de puissance plus importants et des pertes plus faibles.

20 Les commutateurs bidirectionnels à base de GaN ont typiquement une structure latérale comme par exemple représenté sur la figure 15(a) de l'article [1] référencé à la fin de la description. La séparation entre les électrodes de drain et de grille détermine la tension de claquage de ces commutateurs. Plus la séparation est importante, plus la tension que le commutateur peut bloquer est élevée. Mais il en découle alors un encombrement sur puce important.

25 Les commutateurs bidirectionnels à base de SiC, comme par exemple représenté sur la figure 15(b) du même article [1], comprennent typiquement deux transistors ayant un

drain commun. Ces commutateurs présentent deux régions de migration (ou *drift* en anglais), une pour chaque polarité de la tension de blocage. Il en découle également un encombrement sur puce important.

Une solution pour répondre à ce problème d'encombrement est de connecter deux
5 cellules de transistor MOS verticalement dos-à-dos comme représenté sur la figure 15(d) du même article [1] de manière à ce qu'elles partagent une région de migration commune. Cette connexion peut être réalisée dans une configuration à source commune ou à drain commun. La configuration à source commune permet de contrôler le blocage bidirectionnel et la conduction avec une seule commande de grille. La configuration à drain
10 commun nécessite deux commandes de grille distinctes.

Comme rapporté dans l'article [2] référencé à la fin de la description, la réalisation de cette connexion verticale dos-à-dos requiert la mise en œuvre de processus de lithographies double-face sur un substrat de SiC monocristallin formant la région de migration partagée. La région de migration partagée en SiC monocristallin présente une
15 épaisseur de 250 μm d'épaisseur et une haute résistivité : une résistance différentielle à l'état passant de 140 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ est ainsi observée.

Par ailleurs, la couche de migration partagée en SiC présente par son caractère polaire la caractéristique d'avoir, sur une face, une surface constituée majoritairement d'atomes de silicium (surface dite de type Si) et, sur l'autre face, une surface constituée
20 majoritairement d'atomes de carbone (surface dite de type C). La cellule de transistor MOS fabriquée sur la surface de type Si présente dès lors des propriétés différentes de la cellule de transistor MOS fabriquée sur la surface de type C.

En effet, l'état de surface d'une couche formée par croissance épitaxiale diffère selon que la couche est formée sur la surface de type Si ou sur la surface de type C. D'un côté,
25 sur la surface de type C, la surface après épitaxie est plutôt plane sans marches macroscopiques. D'un autre côté, sur la surface de type Si, la surface après épitaxie présente des terrasses de 200-600nm avec des marches de 2-8nm.

Par ailleurs, l'oxydation du SiC se fait avec une cinétique 8 à 15 fois plus rapide sur la surface de type C que sur la surface de type Si. Après oxydation, la hauteur de bande

interdite est plus élevée sur la surface de type Si (2.7–2.8 eV) que sur la surface de type C (2.4–2.5 eV).

Comme rapporté dans l'article [2], une conséquence des propriétés différentes est une tension de seuil très différente entre les deux surfaces. Cette tension de seuil est en effet à température ambiante de 13,7 V sur la surface de type C et de 7,3 V sur la surface de type Si. Par ailleurs, la différence de densité de pièges à l'interface rend le canal du transistor préparé sur la cellule de transistor MOS fabriquée sur la surface de type C bien plus sensible aux variations de température que la cellule de transistor MOS fabriquée sur la surface de type Si.

10 EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a pour objectif de proposer une solution pour la conception d'un commutateur bidirectionnel dont les transistors MOS connectés verticalement dos-à-dos présentent des propriétés similaires.

A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'un substrat pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, comprenant :

- la fourniture d'un substrat support présentant une face avant et une face arrière ;
- le report sur la face avant du substrat support d'une première couche germe en un matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, ladite première couche germe présentant une surface d'un premier type et une surface d'un deuxième type ;
- le report sur la face arrière du substrat support d'une deuxième couche germe en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, ladite deuxième couche monocristalline présentant une surface du premier type et une surface du deuxième type .

Les reports sont réalisés de sorte à exposer la surface du premier type de la première couche germe et la surface du premier type de la deuxième couche germe, la surface du deuxième type de la première couche germe et la surface du deuxième type de la deuxième

couche germe étant à l'interface avec respectivement la face avant et la face arrière du substrat support.

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

- le report de chacune de la première et de la deuxième couche germe sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support comprend :
 - le collage respectivement sur la face avant et la face arrière du substrat support d'une surface du deuxième type d'un substrat donneur en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, le substrat donneur ayant été préalablement soumis à une implantation d'espèces ioniques à travers sa surface du deuxième type pour y former un plan de fragilisation ;
 - l'apport d'énergie thermique et/ou mécanique pour séparer le substrat donneur au niveau du plan de fragilisation.
- il comprend en outre la croissance, sur chacune de la première et de la deuxième couche germe reportée sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support, d'une couche de migration en un matériau semi-conducteur à large bande interdite.
- la couche de migration déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe présente une épaisseur comprise entre 5 et 100 μm .
- la couche de migration déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe est dopée.
- Il comprend en outre l'implantation d'impuretés de type N ou de type P dans la couche de migration déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe.
- Il comprend en outre le dépôt d'une couche d'oxyde de grille sur la couche de migration déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe et la formation d'une électrode de grille sur la couche d'oxyde de grille.
- le substrat support est en un matériau qui présente une résistivité électrique inférieure à 20 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$.

- le substrat support est un substrat de carbure de silicium, de nitrure d'aluminium, de diamant ou d'oxyde de gallium.
- le substrat support présente une épaisseur comprise entre 100 et 500 μm , de préférence comprise entre 300 et 400 μm .
- 5 - chacune de la première et de la deuxième couche germe présente une épaisseur inférieure ou égale à 10 μm .
- les surfaces du premier type et du deuxième type de chacune de la première couche germe et de la deuxième couche germe sont des faces perpendiculaires, à 15° près, à des directions cristallines opposées.
- 10 - chacune de la première et de la deuxième couche germe est une couche de SiC dont la surface du premier type est une surface de type Si.
- chacune de la première et de la deuxième couche germe est une couche de GaN dont la surface du premier type est une surface de type Ga.

L'invention concerne également un substrat pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, comprenant :

- un substrat support présentant une face avant et une face arrière ;
- une première couche germe rapportée sur la face avant du substrat support, la première couche germe étant en un matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite et présentant une surface d'un premier type et une surface d'un deuxième type, la surface du deuxième type de la première couche germe étant à l'interface avec la face avant du substrat support ;
- 20 - une deuxième couche germe rapportée sur la face arrière du substrat support, la deuxième couche germe étant en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite et présentant une surface du premier type et une surface du deuxième type, la surface du deuxième type de la deuxième couche germe étant à l'interface avec la face arrière du substrat support.
- 25 - une troisième couche germe rapportée sur la face avant du substrat support, la troisième couche germe étant en un matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite et présentant une surface d'un premier type et une surface d'un deuxième type, la surface du deuxième type de la troisième couche germe étant à l'interface avec la face avant du substrat support ;

L'invention vise aussi un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, intégrant un substrat tel que présenté ci-dessus.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

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

- la figure 1 illustre différentes étapes de fabrication du substrat selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue schématique d'un substrat conforme à l'invention ;
- la figure 3 est une autre vue schématique d'un substrat conforme à l'invention après mise en œuvre d'une étape de formation de couches de migration ;
- la figure 4 est une vue schématique d'un substrat conforme à l'invention suite à la réalisation de cellules MOS dans les couches de migration.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'invention porte sur un substrat et son procédé de fabrication pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à large bande interdite dont les transistors sont verticalement connectés dos-à-dos.

En référence à la figure 1(A), un tel procédé comprend la fourniture d'un substrat support 1 qui présente une face avant et une face arrière. Ce substrat support 1 peut être réalisé en un matériau à large bande interdite, par exemple en carbure de silicium (par exemple de type β -SiC), en nitrure d'aluminium, en diamant ou en oxyde de gallium. Par large bande interdite, on entend typiquement une bande interdite plus large que celle du silicium, soit une bande interdite typiquement comprise entre 1,5 et 7 eV. Le substrat support 1 est de préférence un substrat à très faible résistivité électrique, c'est-à-dire un substrat présentant une résistivité électrique inférieure ou égale à 20 m Ω .cm. Le substrat support est par exemple polycristallin, notamment s'il est en silicium, en diamant ou en nitrure d'aluminium.

Le substrat support 1 peut présenter une épaisseur comprise en 100 et 500 μ m, de préférence comprise entre 300 et 400 μ m. Dans le cadre d'un substrat d'un diamètre 150mm (par exemple en SiC polycristallin), cette épaisseur correspond au standard SEMI de l'industrie. Dans le cadre d'un substrat de 200mm (par exemple en SiC polycristallin),

cette épaisseur peut nécessiter un ajustement par rapport au standard actuel de 500µm. Dans tous les cas, au-delà de l'épaisseur devant être ajustée préalablement au collage, il peut être judicieux de réaliser une préparation de surface adaptée au collage, pour les deux faces avant et arrière du substrat 1.

5 Comme illustré par la figure 2, le procédé comprend en outre le report (ou « transfert ») sur la face avant du substrat support 1 d'une première couche germe 21 et le report sur la face arrière du substrat support 1 d'une deuxième couche germe 22. Par couche germe, on entend une couche de germe monocristallin de croissance. Chacune de la première et de la deuxième couche germe 21, 22 peut présenter une épaisseur inférieure
10 ou égale à 10 µm, par exemple une épaisseur comprise entre 400 et 800 nm.

Les couches germe 21, 22 sont réalisées en un matériau polaire à large bande interdite. Ce matériau peut être du SiC (par exemple 4H-SiC ou 6H-SiC) ou du GaN. On notera que des couches germe de SiC ou de GaN peuvent être reportées sur un substrat support de SiC polycristallin.

15 De par leur caractère polaire, les couches germe 21, 22 présentent la caractéristique d'avoir, sur une face, une surface d'un premier type F1 et, sur l'autre face, une surface d'un deuxième type F2.

Les surfaces du premier type F1 et du deuxième type F2 correspondent à des faces perpendiculaires, à 15° près, à des directions cristallines opposées. Par exemple, ces
20 directions cristallines correspondent à la direction positive le long de l'axe c (+c, plan (0001)) et la direction négative le long de l'axe c (-c, plan (000-1)). Ainsi, la surface du premier type F1 peut être définie comme une surface dont la désorientation cristalline par rapport à l'axe (0001) du cristal est inférieure à 15°. De même, la surface du deuxième type F2 peut être définie comme une surface dont la désorientation cristalline par rapport à
25 l'axe (000-1) d'un cristal est inférieure à 15°. On relèvera que cette désorientation est motivée par la nécessité d'une croissance par bord de marche pour favoriser la croissance d'un polytype ou minimiser les parois d'antiphase.

Dans le cas du SiC, la face Si est la face orientée selon la direction (0001) tandis que la face C est la face orientée selon la direction (000-1). La surface du premier type F1 est
30 alors une surface de type Si constituée majoritairement d'atomes de silicium tandis que la

surface du deuxième type F2 est alors une surface de type C constituée majoritairement d'atomes de carbone.

Dans le cas du GaN, la face Ga est la face orientée selon la direction (0001) tandis que la face N est la face orientée selon la direction (000-1). La surface du premier type F1 est alors une surface de type Ga constituée majoritairement d'atomes de gallium tandis que la surface du deuxième type F2 est alors une surface de type N constituée majoritairement d'atomes d'azote.

Les reports respectifs de la première couche germe 21 sur la face avant du substrat support et de la deuxième couche germe 22 sur la face arrière du substrat support sont réalisés de sorte à exposer la surface du premier type F1 de la première couche germe 21 et la surface du premier type F1 de la deuxième couche germe 22. Ainsi, la surface du deuxième type F2 de la première couche germe 21 et la surface du deuxième type F2 de la deuxième couche germe 22 sont à l'interface avec respectivement la face avant et la face arrière du substrat support. La surface du premier type F1 est de préférence la surface de type Si dans le cas du SiC et la surface de type Ga dans le cas du GaN. On favorise de telle manière la réalisation d'une épitaxie respectivement de SiC ou de GaN sur les surfaces du premier type F1 des couches germe 21, 22. On notera à cet égard que la surface du premier type F1 de chacune des couches germe 21, 22 présente de préférence une désorientation (*off-cut* en anglais) adaptée pour une croissance cristalline sur celle-ci, par exemple une désorientation comprise entre 4 et 8° dans le cas du SiC.

Dans un mode de réalisation privilégié, le report de chacune des première et deuxième couche germe 21, 22 sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support est effectué conformément au procédé Smart Cut™. Ces reports comprennent alors le collage (cf. figure 1(B)) respectivement sur la face avant et la face arrière du substrat support 1 d'une surface du deuxième type d'un substrat donneur 2 en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, le substrat donneur ayant été préalablement soumis à une implantation d'espèces ioniques à travers sa surface du deuxième type pour y former un plan de fragilisation 3 et à un apport d'énergie thermique et/ou mécanique pour séparer le substrat donneur au niveau du plan de fragilisation (cf. figure 1(C)) et réaliser ainsi le transfert de la couche germe du substrat donneur au substrat

support (cf. figure 1(D)). Les figures 1(B)-1(D) représentent le report de la première couche germe 21 sur face avant du substrat support 1. On comprend que des étapes identiques sont mises en œuvre pour réaliser le report de la deuxième couche germe 22 sur la face arrière du substrat support 1.

5 Le collage peut être réalisé conformément aux techniques exposées dans les brevets FR 3 117 666 B1 et FR 3 112 240 B1. Il est également possible de réaliser un collage direct avec activation de surface (collage dit SAB pour « Surface Activated Bonding ») ou un collage exploitant une couche de collage conductrice ou semi-conductrice (par exemple en Si ou W).

10 Optionnellement, après le transfert des couches germes 21 et 22, un recuit dit « de finition » peut être prévu, permettant de renforcer le collage et/ou de réactiver les dopants dans les couches germes 21 et 22 (puisque l'implantation d'espèces ioniques est susceptible d'endommager le réseau cristallin de ces couches et donc d'en diminuer le taux de dopants actifs).

15 Dans un mode de réalisation possible, le transfert successif des couches germe 21 et 22 est précédé de la réalisation successive de procédés de préparation de surface et de transfert sur les deux faces du substrat support 1. Pour cela, deux approches peuvent être considérées.

20 La première approche comprend la préparation, par transfert de la couche germe 21, d'un substrat intermédiaire combinant le substrat support 1 et la couche germe 21, suivie, après dépôt d'une couche protectrice à la surface de la couche germe 21, d'une seconde séquence de transfert de la couche germe 22. Optionnellement, une couche de migration 31 (décrite ci-après) est déposée sur la couche germe 21 avant le transfert de la couche germe 22, auquel cas c'est la surface de la couche de migration 31 qui est recouverte d'une
25 couche protectrice avant et pendant le transfert de la couche germe 22.

30 Cette première approche revient à enchaîner deux séquences du procédé Smart Cut™ successivement, adressant à chaque fois une face du substrat support 1. Elle présente l'avantage de ré-utiliser l'état de l'art existant. Elle permet également de réaliser une nouvelle séquence de préparation de la surface du substrat support 1 avant transfert de la couche germe 22, étant entendu que la face arrière d'un substrat support est impactée

durant les opérations liées au procédé Smart Cut™ et à la croissance de la couche de migration 31 : rugosification sous l'effet des traitements thermiques, création d'éraflures lors des manipulations et pose/dépose sur des équipements de type plateau support (ou « chuck » en anglais), ajout de particules lié à chaque étape de fabrication. Cette nouvelle

5 séquence de préparation du substrat support 1 avant transfert de la couche germe 22 peut également comprendre une étape d'aminçissement du substrat support 1 si nécessaire.

La protection de la surface de la couche de migration 31 avant d'engager la préparation de surface et le transfert de la couche germe 22 peut par exemple consister en un dépôt d'une couche (ou « capping ») de carbone.

10 La deuxième approche comprend la préparation combinée par collage successif des substrats donneurs des couches germe 21 et 22, avant application d'un unique recuit de décollement, conduisant à la séparation de trois substrats, l'un formant le négatif ayant donné la couche germe 21 (en d'autres termes, la partie du substrat donneur restante après report de la couche germe 21), l'autre substrat formé par la couche germe 21, le

15 substrat support 1 et la couche germe 22, le troisième le négatif ayant donné la couche 22 (en d'autres termes, la partie du substrat donneur restante après report de la couche germe 22).

Cette deuxième approche permet de limiter le budget thermique apporté pour la réalisation et la finition des substrats illustrés sur la figure 3, puisqu'il n'est pas nécessaire

20 de répéter les recuits de décollement et/ou de finition.

Cette deuxième approche présente cependant deux inconvénients. D'une part, elle impose de manipuler successivement les substrats par leur face arrière. Il peut donc être judicieux de procéder à la pose / dépose de couches protectrices (par exemple par dépôt d'une résine carbonée, potentiellement recuite) sur la face arrière devant être manipulée,

25 avant d'appliquer un traitement (par exemple de polissage ou d'épitaxie) sur la face opposée du substrat. D'autre part, sans couche protectrice, cette deuxième approche impose d'impacter successivement chaque surface durant le traitement d'une face opposée. Cet inconvénient, sensible notamment lors des étapes de croissance ou de traitement thermique, peut être limité par un alignement rigoureux des substrats à chaque

30 étape, impactant un minimum de puces.

En référence à la figure 3, le procédé peut se poursuivre avec la croissance, sur chacune de la première et de la deuxième couche germe 21, 22 reportée sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support, d'une couche de migration (*drift layer* en anglais) 31, 32 en un matériau semi-conducteur à large bande interdite (identique ou non à celui des couches germe sous-jacentes). Il peut ainsi s'agir de couches de migration monocristalline, par exemple de couches en SiC déposées sur des couches germe de SiC ou encore des couches en GaN déposées sur des couches germe de GaN ou de SiC.

La croissance de chacune des couches de migration 31, 32 peut être réalisée par épitaxie, par exemple par dépôt chimique en phase vapeur (ou CVD pour l'anglais *Chemical Vapor Deposition*).

La couche de migration 31, 32 déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe 21, 22 peut présenter une épaisseur comprise entre 5 et 100µm suivant la tension de blocage désirée.

La couche de migration 31, 32 déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe 21, 22 est de préférence dopée, par exemple de type n, de manière notamment à en abaisser la résistivité. Dans le cas d'une couche de migration en SiC, celle-ci peut présenter un niveau de dopage compris entre 10^{13} et 10^{17} atomes/cm³.

Dans une application privilégiée, le substrat support 1 est en un matériau qui présente une résistivité inférieure à celle du matériau des couches de migration, de préférence une résistivité inférieure à 20 mΩ.cm. Prenant l'exemple d'un substrat support de SiC polycristallin, celui-ci présente une résistivité comprise entre 1 et 10 mΩ.cm. Une telle résistivité est si faible que l'on peut considérer que les deux couches de migration 31, 32 sont reliées par un fil conducteur. Il en découle que l'épaisseur électrique équivalente du substrat support est divisée jusqu'à 20 fois. En considérant une configuration optimale pour un substrat support de SiC polycristallin (épaisseur du substrat support de 100 µm et une résistivité de 1 mΩ.cm), on observe une résistance différentielle à l'état passant aussi faible que 0,01 mΩ.cm², équivalente à celle d'un substrat de SiC monocristallin de 5 µm d'épaisseur et nettement inférieure à celle (140 mΩ.cm²) constatée dans l'article [2] avec

une région de migration partagée sous la forme d'un substrat de SiC monocristallin de 250 μm d'épaisseur.

Le procédé peut se poursuivre avec l'élaboration de tout ou partie de composants électroniques sur chacun des côtés du substrat, i.e. dans chacune des régions de migration 31, 32, au moyen notamment d'étapes de lithographie double face. En particulier, le procédé peut comprendre la réalisation d'étapes classiquement mises en œuvre dans le domaine pour venir former un transistor MOS à partir de chacun des couches de migration 31, 32.

Le procédé peut ainsi comprendre l'implantation d'impuretés de type N ou de type P dans la couche de migration 31, 32 déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe. Dans l'exemple de réalisation représenté en figure 4, cette implantation permet de former des puits dopés P 33 et, au sein de ceux-ci des bandes dopées N+ 34 et des bandes dopées P+ 35. L'implantation permet également de former une région formant un canal 36 de transistor à effet de champ JFET (pour *Junction Field Effect Transistor*) ou une couche de stockage de charge CSEL (pour *Charge Storage Layer*).

Le procédé peut également comprendre le dépôt d'une couche d'oxyde de grille 37 sur la couche de migration 31, 32 déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe et la formation d'une électrode de grille 28 sur la couche d'oxyde de grille 37.

L'invention n'est pas limitée au procédé précédemment décrit mais s'étend également au substrat ainsi fabriqué (à quelque étape de fabrication que ce soit) ainsi qu'à un commutateur bidirectionnel réalisé à partir d'un tel substrat par exemple dans une configuration à source commune ou à drain commun.

Références

[1] J. Huber and J. W. Kolar, "Monolithic Bidirectional Power Transistors," in *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 10, no. 1, pp. 28-38, March 2023, doi: 10.1109/MPEL.2023.3234747

[2] S. Chowdhury, C. Hitchcock, Z. Stum, R. P. Dahal, I. B. Bhat and T. P. Chow, "Experimental Demonstration of High-Voltage 4H-SiC Bi-Directional IGBTs," in *IEEE Electron Device Letters*, vol. 37, no. 8, pp. 1033-1036, Aug. 2016, doi: 10.1109/LED.2016.2581419

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un substrat pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, comprenant :

- 5 - la fourniture d'un substrat support (1) présentant une face avant et une face arrière ;
- le report sur la face avant du substrat support d'une première couche germe (21) en un matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, ladite première couche germe présentant une surface d'un premier type (F1) et une surface d'un deuxième type (F2);
- 10 - le report sur la face arrière du substrat support d'une deuxième couche germe (22) en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, ladite deuxième couche monocristalline présentant une surface du premier type (F1) et une surface du deuxième type (F2) ;

lesdits reports étant réalisés de sorte à exposer la surface du premier type (F1) de la première couche germe (21) et la surface du premier type (F1) de la deuxième couche germe (22), la surface du deuxième type (F2) de la première couche germe (21) et la surface du deuxième type (F2) de la deuxième couche germe (22) étant à l'interface avec respectivement la face avant et la face arrière du substrat support.

20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le report de chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support comprend :

- 25 - le collage respectivement sur la face avant et la face arrière du substrat support (1) d'une surface du deuxième type d'un substrat donneur (2) en ledit matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite, le substrat donneur ayant été préalablement soumis à une implantation d'espèces ioniques à travers sa surface du deuxième type pour y former un plan de fragilisation (3) :
- l'apport d'énergie thermique et/ou mécanique pour séparer le substrat donneur au niveau du plan de fragilisation.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, comprenant en outre la croissance, sur chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) reportée sur respectivement la face avant et la face arrière du substrat support, d'une couche de migration (31 ; 32) en un matériau semi-conducteur à large bande interdite.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la couche de migration (31, 32) déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) présente une épaisseur comprise entre 5 et 100 μm .

5. Procédé selon l'une des revendications 3 et 4, dans lequel la couche de migration (31, 32) déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) est dopée.

6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, comprenant en outre l'implantation d'impuretés de type N ou de type P dans la couche de migration (31, 32) déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe.

7. Procédé selon la revendication 6, comprenant en outre le dépôt d'une couche d'oxyde de grille (37) sur la couche de migration (31, 32) déposée sur chacune de la première et de la deuxième couche germe et la formation d'une électrode de grille (38) sur la couche d'oxyde de grille.

8. Procédé selon l'une des revendications 3 à 7, dans lequel le substrat support (1) est en un matériau qui présente une résistivité électrique inférieure à 20 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le substrat support (1) est un substrat de carbure de silicium, de nitrure d'aluminium, de diamant ou d'oxyde de gallium.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel le substrat support (1) présente une épaisseur comprise entre 100 et 500 μm , de préférence comprise entre 300 et 400 μm .

5

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) présente une épaisseur inférieure ou égale à 10 μm .

10

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel les surfaces du premier type (F1) et du deuxième type (F2) de chacune de la première couche germe (21) et de la deuxième couche germe (22) sont des faces perpendiculaires, à 15° près, à des directions cristallines opposées.

15

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) est une couche de SiC dont la surface du premier type (F1) est une surface de type Si.

20

14. Procédé selon la revendication 12, dans lequel chacune de la première et de la deuxième couche germe (21, 22) est une couche de GaN dont la surface du premier type (F1) est une surface de type Ga.

15. Substrat pour la réalisation d'un commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, comprenant :

25

- un substrat support (1) présentant une face avant et une face arrière ;
- une première couche germe (21) rapportée sur la face avant du substrat support, la première couche germe étant en un matériau semi-conducteur polaire à large bande interdite et présentant une surface d'un premier type (F1) et une surface d'un deuxième type (F2), la surface du deuxième type (F2) de la première couche germe étant à l'interface avec la face avant du substrat support ;
- une deuxième couche germe (22) rapportée sur la face arrière du substrat support, la deuxième couche germe étant en ledit matériau semi-conducteur polaire à large

30

bande interdite et présentant une surface du premier type (F1) et une surface du deuxième type (F2), la surface du deuxième type (F2) de la deuxième couche germe étant à l'interface avec la face arrière du substrat support.

- 5 16. Commutateur bidirectionnel à transistors verticalement connectés dos-à-dos, intégrant un substrat selon la revendication 15.