

DESCRIPTION

Substrat semiconducteur détachable en carbure de silicium polycristallin

DOMAINE TECHNIQUE

- 5 La présente demande concerne la fabrication de substrats semiconducteurs, et plus particulièrement la fabrication de couches support en carbure de silicium polycristallin pour leur utilisation dans des substrats à hautes performances.

ETAT DE LA TECHNIQUE

- 10 Dans le domaine de l'électronique de puissance, il est connu d'utiliser des matériaux semiconducteurs à large bande. Ces matériaux présentent une bande interdite plus large que les matériaux semiconducteurs tels que le silicium, ce qui leur confère des propriétés d'isolation électrique entre celles des semiconducteurs et des matériaux isolants. Notamment, les semiconducteurs à large bande présentent l'avantage de tolérer des températures
15 supérieures à celles que sont capables de supporter les semiconducteurs classiques. En outre, ces matériaux présentent une densité de puissance accrue par rapport aux semiconducteurs classiques, permettant des gains de volume et de masse dans les systèmes électroniques les comprenant.

- Un matériau semiconducteur à large bande fréquemment utilisé est le carbure de silicium
20 (SiC). Pour la réalisation de composants électroniques de puissance, et en particulier de transistors à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur (ou MOSFET) il est nécessaire de disposer de substrats en SiC présentant une certaine épaisseur, généralement de l'ordre de 300 micromètres, leur conférant une résistance mécanique qui permet la réalisation de processus frontaux, c'est-à-dire la formation de fonctions électroniques sur le
25 substrat semiconducteur. Les substrats semiconducteurs ainsi obtenus sont ensuite placés sur un support métallique, notamment constitué de cuivre, et qui présente un module de Young et un coefficient d'expansion thermique différents de ceux du substrat semiconducteur. Des contraintes mécaniques peuvent donc être générées dans le substrat semiconducteur lors de cycles thermiques auxquels il est soumis sur le support métallique. Une façon de pallier ce
30 problème est de réduire l'épaisseur de la couche de SiC, ce qui est possible uniquement après la réalisation des processus frontaux.

- À cet effet, on peut former un substrat de SiC d'une épaisseur donnée, proche de 300 micromètres, avant de graver mécaniquement une partie de celui-ci afin de réduire son épaisseur, et donc de réduire les contraintes mécaniques imposées au support métallique ou
35 aux éventuelles soudures entre celui-ci et le substrat de SiC durant l'utilisation et le cyclage

thermique du composant électronique. En outre, une telle réduction de l'épaisseur du substrat de SiC permet de réduire la résistance ON et la résistance thermique de celui-ci, permettant de meilleures performances électriques, et permet de rapprocher le module de Young et le coefficient d'expansion thermique du substrat de SiC de ceux du support métallique.

- 5 Cependant, la gravure mécanique est relativement chère et difficile à mettre en œuvre du fait de la dureté du SiC, et la partie restante du substrat peut présenter une planéité imparfaite. Il est donc nécessaire d'établir des procédés permettant l'obtention d'un substrat semiconducteur d'épaisseur faible et présentant une planéité régulière, tout en diminuant les coûts et le temps nécessaire à la mise en œuvre de tels procédés.

10 **EXPOSE**

Un but recherché est de remédier aux inconvénients précités.

Il est à cet effet proposé, selon un premier aspect, un substrat intermédiaire pour la fabrication d'un substrat semiconducteur, comprenant successivement :

- a. une première couche semiconductrice,
- 15 b. une première couche formant barrière thermique,
- c. un support comprenant une couche d'absorption configurée pour absorber un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée, la température de la couche d'absorption augmentant lors de l'absorption, et une zone de séparation adjacente à la couche d'absorption et configurée pour se
- 20 dégrader thermiquement sous l'effet de l'augmentation de température de la couche d'absorption, de sorte à séparer au moins une partie du support du reste du substrat intermédiaire.

- Ainsi, le substrat proposé permet la séparation, après achèvement des processus frontaux, du substrat semiconducteur en deux parties distinctes sans gravure mécanique, de sorte à ne conserver que l'épaisseur voulue de couche semiconductrice avant son intégration au support métallique sans compromettre la planéité de la couche semiconductrice. L'utilisation d'un laser pour diviser le substrat semiconducteur en deux parties, et ainsi isoler l'épaisseur voulue de ce substrat, permet son obtention plus rapidement et à moindre coût que
- 30 par gravure mécanique. L'utilisation d'une couche barrière thermique permet de limiter la propagation de la chaleur dans le reste du substrat et favorise donc la séparation avec une puissance et/ou une durée d'exposition au laser réduites.

Selon un mode de réalisation, le support comprend :

- a. un ensemble de séparation comprenant :
 - i. la couche d'absorption, et
 - ii. une couche de séparation adjacente à la couche d'absorption et comprenant la zone de séparation, la dégradation de la zone de séparation ayant lieu lorsque la couche d'absorption atteint une température seuil,
 - b. une deuxième couche formant barrière thermique
 - c. une couche support,
- 10 la deuxième couche formant barrière thermique étant située entre l'ensemble de séparation et la couche support.

Selon un mode de réalisation, le support comprend :

- a. la couche d'absorption, et
 - b. une couche support formant en outre une seconde barrière thermique,
- 15 la zone de séparation étant comprise dans la couche support.

Selon un mode de réalisation, le substrat comprend en outre une couche germe adaptée pour la croissance de la première couche semiconductrice, la couche germe comprenant préférentiellement du graphite, la première couche semiconductrice étant interposée entre la couche germe et la première couche formant barrière thermique.

20

Selon un mode de réalisation, la couche de séparation est constituée de nitrure de silicium.

Selon un mode de réalisation, la couche d'absorption est constituée d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium polycristallin de type β -SiC, le nitrure de titane ou le zirconium.

- 25 Selon un mode de réalisation, le substrat comprend en outre une couche semiconductrice monocristalline, de préférence comprenant du carbure de silicium ou du nitrure de gallium, une première face de la couche semiconductrice monocristalline étant adjacente à la première couche semiconductrice.

- 30 Selon un mode de réalisation, la première couche semiconductrice est constituée d'un matériau semiconducteur à large bande, notamment d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium, le nitrure d'aluminium et le nitrure de gallium.

Selon un mode de réalisation, la couche support est une deuxième couche semiconductrice de qualité inférieure à la première couche semiconductrice, préférentiellement constituée d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium et le nitrure de silicium.

5 Selon un mode de réalisation, la couche support présente une épaisseur comprise entre 100 et 200 nanomètres.

Selon un mode de réalisation, la première et/ou la deuxième couche formant barrière thermique présente une conductivité thermique inférieure à 25 W/mK, la deuxième couche formant barrière thermique étant de préférence constituée de dioxyde de titane ou de nitrure de silicium.

10 Selon un mode de réalisation, le substrat comprend en outre une couche semiconductrice monocristalline disposée sur une région superficielle de la première couche semiconductrice, la première couche semiconductrice étant située entre la première couche formant barrière thermique et la couche semiconductrice monocristalline

15 Un autre aspect porte sur un procédé de fabrication d'un substrat intermédiaire semiconducteur, comprenant successivement des étapes de :

- a. croissance d'une première couche électriquement semiconductrice sur une couche germe,
- b. croissance, sur la première couche semiconductrice, d'une première couche formant barrière thermique,
- 20 c. croissance, sur la première couche formant barrière thermique, d'un support comprenant une couche d'absorption configurée pour absorber un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée, la température de la couche d'absorption augmentant lors de l'absorption, le support comprenant en outre une zone de séparation adjacente à la couche
- 25 d'absorption et configurée pour se dégrader thermiquement sous l'effet de l'augmentation de température de la couche d'absorption, de sorte à séparer au moins une partie du support du reste du substrat intermédiaire,
- d. retrait de la couche germe,

30 les étapes de croissance étant obtenues notamment par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

Selon une mise en œuvre du procédé, la croissance du support comprend des étapes successives de :

- 5 a. croissance d'un ensemble de séparation constitué de la couche d'absorption et d'une couche de séparation, la croissance de l'ensemble de séparation comprenant :
- la croissance de la couche d'absorption
 - la croissance de la couche de séparation, la couche de séparation comprenant la zone de séparation, la zone de séparation étant adjacente à la couche d'absorption,
- 10 b. croissance, sur l'ensemble de séparation, d'une deuxième couche formant barrière thermique :
- c. croissance, sur la deuxième couche formant barrière thermique, d'une couche support,

15 les étapes de croissance étant obtenues notamment par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

Selon une mise en œuvre du procédé, la croissance du support comprenant des étapes successives de :

- 20 a. croissance, sur la première couche formant barrière thermique, de la couche d'absorption
- b. croissance, sur la couche d'absorption, d'une couche support agissant en outre comme seconde barrière thermique,
- la zone de séparation étant comprise dans la couche support,

les étapes de croissance étant obtenues notamment par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

25 Un autre aspect porte sur un procédé de fabrication d'un substrat comprenant une couche semiconductrice monocristalline sur un substrat semiconducteur polycristallin, comprenant la mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat semiconducteur intermédiaire tel que défini précédemment, la première couche semiconductrice étant polycristalline,

30 et comprenant en outre des étapes successives de :

- a. formation d'une zone de fragilisation dans un substrat donneur semiconducteur par implantation d'espèces, de sorte délimiter une couche semiconductrice monocristalline à transférer,

- b. collage de la couche semiconductrice monocristalline à transférer sur une région superficielle de la première couche semiconductrice,
- c. détachement du substrat donneur le long de la zone de fragilisation pour transférer la couche semiconductrice monocristalline sur la première couche semiconductrice.

5

Un autre aspect porte sur un procédé de fabrication d'un composant électronique, comprenant des étapes successives de :

- a. Mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat tel que défini précédemment,
- b. Réalisation de processus frontaux dans la couche semiconductrice monocristalline pour former ledit composant électronique.

10

Selon une mise en œuvre, le procédé comprend, postérieurement à la réalisation desdits processus frontaux, une étape d'application d'un rayonnement laser dans la gamme de longueur d'onde déterminée au substrat intermédiaire, de sorte à dégrader thermiquement la zone de séparation et à séparer au moins une partie du support du reste du substrat intermédiaire.

15

Selon une mise en œuvre, le procédé comprend, postérieurement à l'application du rayonnement laser, une étape de retrait de couches résiduelles situées sur une face de la première couche semiconductrice opposée à la couche semiconductrice monocristalline, les couches résiduelles étant issues de l'étape d'application du rayonnement laser.

20

Un autre aspect porte sur un substrat intermédiaire pour la fabrication d'un substrat semiconducteur, comprenant successivement :

25

- Une première couche semiconductrice constituée de carbure de silicium polycristallin (pSiC),
- Une première couche formant barrière thermique, constituée de dioxyde de titane (TiO₂),
- Une couche d'absorption, constituée de carbure de silicium polycristallin de type 3C (3C-pSiC),
- Une couche de séparation, constituée de nitrure de silicium (Si₃N₄),
- Une deuxième couche formant barrière thermique, constituée de dioxyde de titane (TiO₂),

30

35

- Une couche support, constituée de carbure de silicium polycristallin de type 4H (4H-pSiC)

Un autre aspect porte sur un substrat intermédiaire pour la fabrication d'un substrat semiconducteur, comprenant successivement :

- 5 - Une première couche semiconductrice constituée de carbure de silicium polycristallin (pSiC),
- Une première couche formant barrière thermique, constituée de dioxyde de titane (TiO_2),
- Une couche d'absorption, constituée de nitrure de titane (TiN),
- 10 - Une couche de séparation, constituée de nitrure de silicium (Si_3N_4),
- Une deuxième couche formant barrière thermique, constituée de dioxyde de titane (TiO_2),
- Une couche support, constituée de carbure de silicium polycristallin de type 4H (4H-pSiC).

15 **DESCRIPTION DES FIGURES**

D'autres caractéristiques, buts et avantages ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins.

Les [Fig. 1], [Fig. 2], [Fig. 3] et [Fig. 4] illustrent de façon schématique des substrats intermédiaires pour la fabrication d'un substrat semiconducteur, selon différents modes de
20 réalisation d'un premier aspect ;

Les [Fig. 5], [Fig. 6], [Fig. 7] illustrent des procédés de fabrication d'un substrat intermédiaire pour la fabrication ultérieure d'un substrat semiconducteur, selon différents modes de réalisation d'un deuxième aspect,

La figure 8 illustre un procédé de fabrication d'un substrat comprenant une couche
25 semiconductrice monocristalline sur un substrat semiconducteur polycristallin, selon un troisième aspect.

La figure 9 illustre un procédé de fabrication d'un composant électronique, selon un quatrième aspect.

Les [Fig. 10], [Fig. 11], [Fig. 12] représentent des résultats d'une simulation de l'évolution de température d'un substrat intermédiaire lors de l'application d'un rayonnement laser.

Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

5 Selon un premier aspect, un substrat intermédiaire 10 est représenté à la figure 1. Il comprend un agencement de couches, qui peuvent être formées successivement à partir d'une couche germe 1 de graphite. La formation des différentes couches du substrat intermédiaire 10 peut faire intervenir l'injection successive de gaz qui permettent de réaliser des dépôts par condensation.

10 La première couche formée est une première couche semiconductrice 2 dite « de haute qualité », qui est configurée pour supporter une couche à partir de laquelle des composants seront formés, notamment en vue de fabriquer des composants électroniques de puissance. La première couche semiconductrice 2 est prévue pour subsister dans le composant électronique final. La première couche semiconductrice 2 peut être une couche de carbure de
15 silicium polycristallin, notamment de type 4H ou 3C (également appelé β -pSiC). Alternativement, et selon les applications, elle peut être constituée de carbure de silicium monocristallin de type 4H. La première couche semiconductrice 2 peut également être constituée d'un autre matériau semiconducteur à large bande, tel que le nitrure d'aluminium (AlN) ou le nitrure de gallium (GaN).

20 Dans certains modes de réalisation, la première couche semiconductrice 2 est, en outre, configurée pour conduire un courant électrique. En particulier, la première couche semiconductrice 2 est dopée.

Lorsque la première couche semiconductrice 2 est constituée de carbure de silicium, elle peut être hautement dopée à l'azote (dopage N⁺⁺). On peut également envisager un
25 dopage de type N au phosphore ou un dopage de type P au gallium ou à l'aluminium. Ce dopage permet de conférer à la première couche semiconductrice 2 une résistivité électrique très faible, ainsi qu'une haute conductivité thermique, proche de celle du carbure de silicium massif. Lorsque la première couche semiconductrice 2 est en revanche formée d'autres matériaux, d'autres formes de dopages sont envisageables : par exemple, pour une première
30 couche semiconductrice 2 constituée de nitrure de gallium (GaN), on peut utiliser un dopage au silicium ou au magnésium. Afin de minimiser la résistance électrique de cette première couche semiconductrice 2, il est souhaitable qu'elle présente une épaisseur comprise entre 10 et 300 μm , de préférence inférieure à 100 μm .

Cependant, il est nécessaire que le substrat semiconducteur intermédiaire présente une tenue mécanique suffisante pour supporter les processus frontaux qui lui seront appliqués. À cet effet, le substrat intermédiaire 10 comprend un support 13 dont l'épaisseur est configurée pour conférer au substrat 10 une résistance mécanique donnée, par exemple comprise entre
5 environ 100 et 400 μm .

Selon des variantes envisageables, la première couche semiconductrice 2 est également susceptible d'être non-dopée, voire d'être électriquement isolante (par exemple, dans le cas d'une couche de carbure de silicium, par un dopage au vanadium).

Le support 13 comprend une couche d'absorption 3 ainsi qu'une zone de séparation 8
10 qui lui est adjacente. La couche d'absorption 3 est configurée pour absorber un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée, pour que sa température augmente.

La gamme de longueur d'ondes pour le rayonnement laser est choisie de sorte que la couche germe 1 et la première couche formant barrière thermique 5 (décrite plus bas) soient sensiblement transparentes à ce rayonnement, afin d'assurer qu'une partie suffisante du
15 rayonnement atteigne la couche d'absorption 3, et afin d'éviter l'endommagement de ces couches par le rayonnement.

Sous l'effet de l'augmentation de température causée par l'absorption du rayonnement laser par la couche d'absorption 3, la zone de séparation 8 se dégrade, permettant ainsi la séparation du substrat intermédiaire 10 en deux parties. On peut ainsi fabriquer le substrat
20 intermédiaire puis réaliser les processus frontaux à partir de la couche semiconductrice 2, l'épaisseur totale du substrat intermédiaire 10 lui conférant une résistance mécanique suffisante pour ne pas être endommagé par ces processus, et enfin appliquer un laser dans la gamme de longueur d'onde déterminée de façon à séparer une partie fine du substrat qui comprend la première couche semiconductrice 2 du reste du substrat 10, sans avoir recours
25 à un polissage ou meulage mécanique qui pourrait endommager la première couche semiconductrice 2 et qui serait plus long et plus coûteux à mettre en œuvre.

La couche d'absorption 3 peut être constituée d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium polycristallin de type β -SiC, le nitrure de titane (TiN) ou le zirconium (Zr). Lorsqu'elle est constituée de β -SiC, la couche d'absorption 3 peut être configurée pour absorber un
30 rayonnement laser dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 410 nanomètres. Le nitrure de titane présente l'avantage de pouvoir absorber une gamme plus large de longueur d'ondes de rayonnement, de sorte que lorsque la couche d'absorption est constituée de ce matériau, elle peut être configurée pour absorber un rayonnement laser dont la longueur d'onde est comprise entre 380 nanomètres et 1.7 micromètres. Le carbure de silicium présente
35 quant à lui l'avantage d'être un matériau qui peut être utilisé pour la fabrication de la première

couche semiconductrice 2, et donc de n'introduire aucun nouvel élément chimique lors de la fabrication du substrat intermédiaire 10.

Le substrat intermédiaire comprend en outre, intercalée entre la première couche semiconductrice 2 et le support 13, une première couche formant barrière thermique 5. Cette
5 couche est configurée pour former barrière à la conduction thermique entre la couche d'absorption 3 et la première couche semiconductrice 2, de sorte à limiter autant que possible une augmentation de température de la première couche semiconductrice. En effet, la première couche formant barrière thermique 5 est configurée pour présenter une conductivité thermique plus faible que celle de la première couche semiconductrice 2, et la première
10 couche semiconductrice 2 subirait donc une augmentation de sa température en l'absence de la première couche formant barrière thermique 5. Malgré ceci, la première couche semiconductrice 2 doit présenter un coefficient d'absorption faible sur la gamme de longueur d'onde prévue pour le rayonnement laser, par exemple de longueur d'onde comprise entre 380 et 410 nanomètres, de façon à ce qu'elle n'absorbe pas le rayonnement prévu pour
15 chauffer la couche d'absorption 3.

Selon un mode de réalisation, illustré à la figure 2, le support 13 comprend un ensemble de séparation 12 comprenant, d'une part, la couche d'absorption 3, et d'autre part une couche de séparation dite sacrificielle 4 adjacente à la couche d'absorption et comprenant la zone de séparation 8. La couche de séparation 4 est configurée pour que la dégradation de la zone de
20 séparation 8 ait lieu lorsque la couche d'absorption 3 atteint une température seuil, de façon à pouvoir contrôler précisément la séparation du substrat intermédiaire 10. L'ensemble de séparation 12 est disposé entre la première couche 5 formant barrière thermique et une deuxième couche 6 formant barrière thermique. Enfin, la deuxième couche formant barrière thermique 6 est adjacente, sur son côté opposé à l'ensemble de séparation, à une couche
25 support 7. Les deux barrières thermiques 5, 6 permettent de confiner l'élévation de température à l'ensemble de séparation de sorte que seul l'ensemble de séparation subisse une augmentation de température significative, permettant la séparation du substrat en deux parties le long de la zone de séparation 8 sans dégradation du reste du substrat 10.

Lorsque le coefficient d'absorption de la couche d'absorption 3 et de la couche de
30 séparation 4 aux longueurs d'onde prévues pour le rayonnement laser le permettent, la couche d'absorption 3 peut être disposée, au sein de l'ensemble de séparation 12, plus proche de la première couche formant barrière thermique 5 – tel que représenté sur la figure 2 – ou, alternativement, la couche de séparation 4 peut être disposée plus proche de la première couche formant barrière thermique 5. En d'autres termes, les coefficients d'absorption de la
35 couche d'absorption 3 et de la couche de séparation 4 doivent permettre l'échauffement de la

couche d'absorption 3 et la dégradation de la zone de séparation 8 de la couche de séparation 4 selon la disposition choisie pour ces deux couches 3, 4 dans l'ensemble de séparation 12.

La gamme de longueur d'ondes pour le rayonnement laser est choisie de sorte que la deuxième couche formant barrière thermique 6 et la couche support 7 soient sensiblement transparentes à ce rayonnement, afin d'éviter l'endommagement de ces couches par le rayonnement.

La couche de séparation 4 est avantageusement très fine, par exemple de moins de 100 micromètres d'épaisseur, de sorte à ne pas fragiliser le substrat intermédiaire avant séparation. Le fait de prévoir une couche de séparation 4 mince permet également de limiter le coût de fabrication de cette couche. Il n'est pas nécessaire de prévoir une couche de séparation 4 épaisse car celle-ci n'a pas pour fonction de contribuer à la tenue mécanique du substrat. Elle peut être constituée de nitrure de silicium (de formule Si_3N_4).

Les couches formant barrière thermique 5, 6 peuvent présenter une conductivité thermique inférieure à 25 W/mK, de préférence inférieure à 10 W/mK. Elles peuvent notamment être constituées de dioxyde de titane (TiO_2), ou de nitrure de silicium (Si_3N_4).

La couche support 7 a pour principale fonction d'augmenter l'épaisseur du substrat intermédiaire 10 de façon à lui conférer une résistance mécanique adéquate pour la réalisation des processus frontaux. Notamment, les propriétés semiconductrices de cette couche n'importent pas. Il est donc avantageux de minimiser le coût de cette couche autant que possible. La couche support 7 est donc de préférence de qualité inférieure à celle de la première couche semiconductrice 2 : la résistivité thermique et la résistivité électrique de la couche support 7 sont, notamment, supérieures à celles de la première couche semiconductrice 2. Par exemple, la première couche semiconductrice 2 présente une résistivité électrique inférieure à 5 mΩ/cm tandis que la couche support 7 présente une résistivité électrique supérieure à 5 mΩ/cm.

La couche support 7 peut être constituée de carbure de silicium polycristallin de type 4H-SiC, ou de nitrure de silicium (Si_3N_4). Elle peut présenter une épaisseur comprise entre 100 et 200 nanomètres. En outre, et comme la première couche semiconductrice 2, il est avantageux que la couche support 7 présente un coefficient d'absorption faible sur la gamme de longueur d'onde prévue pour le rayonnement laser, de façon à ce qu'elle n'absorbe pas le rayonnement prévu pour chauffer la couche d'absorption 3.

Un autre mode de réalisation est illustré à la figure 3. Le substrat intermédiaire 10 selon ce mode de réalisation ne comprend pas de deuxième barrière thermique 6. Dans ce cas, la couche support 7 est constituée d'un matériau présentant un faible coefficient d'absorption

aux longueurs d'ondes prévues pour le rayonnement laser (ie transparent à la longueur d'onde laser utilisée), ainsi qu'une faible conductivité thermique. Il peut par exemple s'agir de nitrure de silicium (Si_3N_4). La présence d'une deuxième couche formant barrière thermique 6 n'est alors pas nécessaire, car la couche support 7 ne risque pas d'être endommagée par le rayonnement. En outre, le nitrure de silicium présente un coefficient d'expansion thermique sensiblement proche de celui du carbure de silicium polycristallin, de sorte qu'on n'introduit pas de contraintes mécaniques additionnelles, par rapport aux modes de réalisation précédemment décrits. Ce mode de réalisation présente l'avantage d'être compatible avec le procédé de fabrication de la couche 2 (silicium et azote dans le réacteur de dépôt) et de simplifier l'empilement de couches par rapport aux modes de réalisation précédemment décrits.

Selon un mode de réalisation, illustré à la figure 4, le substrat intermédiaire 10 comprend une couche semiconductrice monocristalline 14 dont une première face est adjacente à la première couche semiconductrice 2 sur son côté opposé à la première couche formant barrière thermique 5. La couche semiconductrice monocristalline peut comprendre du carbure de silicium ou du nitrure de gallium (GaN).

Un deuxième aspect porte sur un procédé de fabrication d'un substrat intermédiaire semiconducteur 10 tel que décrit précédemment. Le procédé comprend plusieurs phases de croissance de couches, mises en œuvre préférentiellement par dépôts gazeux successifs sur les couches formées précédemment. D'autres méthodes de dépôt connues de l'homme du métier rentrent cependant dans le cadre de la présente divulgation : par exemple, l'épitaxie en phase liquide, l'épitaxie par jets moléculaires ou la pulvérisation cathodique. Avantagusement, toutes les couches successives peuvent être déposées dans une même enceinte et en utilisant la même méthode de dépôt.

En référence à la figure 5, la première étape 101 consiste à faire croître, sur un support germe 1, une première couche semiconductrice 2 de haute qualité. Le procédé comprend ensuite la croissance 102 sur cette première couche semiconductrice 2 d'une première couche formant barrière thermique 5, puis la croissance 103 d'un support 13 sur la première couche formant barrière thermique 5. Enfin, une fois ces trois étapes de croissance achevées, le procédé comprend le retrait 104 de la couche germe, notamment par meulage ou polissage mécanique. Le support 13 comprend une couche d'absorption 3 et une zone de séparation 8 qui lui est adjacente. Comme décrit pour le substrat intermédiaire 10 selon le premier aspect, la couche d'absorption 3 est configurée pour absorber un rayonnement lumineux sur une plage de longueur d'ondes données, la température de la couche d'absorption 3 augmentant alors par rayonnement, et la zone de séparation 8 est configurée pour se fragiliser et se dissocier

sous l'effet de l'échauffement, et ainsi permettre la séparation d'au moins une partie du support 13 du reste du substrat intermédiaire 10.

Selon une mise en œuvre du procédé, représentée à la figure 6, la croissance 103 du support 13 est divisée en une pluralité de sous-étapes successives. Une première sous étape 5 consiste à faire croître un ensemble de séparation 12 comprenant la couche d'absorption 3 ainsi qu'une couche distincte de séparation 4 adjacente, la couche de séparation 4 comprenant la zone de séparation 8, la couche de séparation 4 étant configurée pour que la zone de séparation 8 se dégrade lorsque la couche d'absorption 3 atteint une température seuil. Cette première sous étape comprend la croissance 1031 de la couche d'absorption 3, 10 puis la croissance 1032 de la couche de séparation 4. Une deuxième sous étape 1033 comprend la croissance 1033, sur l'ensemble de séparation 12 ainsi formé, d'une deuxième couche formant barrière thermique 6, permettant ainsi de contenir l'augmentation de température par irradiation entre les deux couches formant barrière thermique 5, 6, c'est-à-dire au niveau de l'ensemble de séparation 12, et donc sans compromettre la qualité de la 15 première couche semiconductrice 2. Enfin, l'étape de croissance 103 du support 13 comprend une troisième sous-étape 1034 de croissance d'une couche support 7 configurée pour conférer au substrat intermédiaire 10 une épaisseur et une résistance mécanique adaptées à la réalisation de processus frontaux.

Selon une mise en œuvre alternative à celle décrite au paragraphe précédent, et illustrée 20 par la figure 7, la croissance 103 du support 13 comprend une première étape de croissance 1031 de la couche d'absorption 3 sur la première couche formant barrière thermique 5, puis une deuxième étape de croissance 1035 d'une couche support 7 qui comprend la zone de séparation 8. Dans ce cas, la couche support 7 est constituée d'un matériau présentant une faible conductivité thermique, et qui est transparent aux longueurs d'ondes prévues pour le 25 rayonnement lumineux appliqué au substrat intermédiaire 10 afin de séparer le substrat 10 le long de la zone de séparation 8. La couche support 7 est de qualité inférieure à la première couche semiconductrice 2. Par exemple, la couche support 7 a été déposée avec une vitesse de croissance supérieure à celle de la première couche semiconductrice 2.

Un troisième aspect porte sur un procédé de fabrication d'un substrat à haute 30 performance. Ce procédé, illustré à la figure 8, comprend une première étape de mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat intermédiaire 10 selon le deuxième aspect. Puis, le procédé comprend la formation 109 d'une zone de fragilisation dans un substrat donneur semiconducteur 9 par implantation d'espèces à travers une face du substrat donneur 9 de façon à séparer le substrat donneur en deux parties, une partie définissant une couche 35 semiconductrice monocristalline 14. S'ensuit une étape de collage 110 du substrat donneur 9,

au niveau de la couche semiconductrice monocristalline 14, sur une région superficielle de la première couche semiconductrice 2 et une étape de détachement 111 du substrat donneur le long de la zone de fragilisation. On obtient alors un substrat semiconducteur, comprenant une couche semiconductrice monocristalline 14 disposée sur une couche semiconductrice 2, qui
5 peut quant à elle être monocristalline ou polycristalline selon les applications.

Un quatrième aspect porte sur un procédé de fabrication d'un composant électronique, comme représenté à la figure 9. Ce procédé comprend une première étape de mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat de type semiconducteur selon le troisième aspect, tel que décrit au paragraphe précédent. Puis, le procédé comprend une étape 112 de réalisation
10 de processus frontaux dans la première couche afin de former le composant électronique. Par processus frontaux, aussi désignés par le terme anglais de processus « *front-end* », on entend la réalisation de composants individuels - tels que des transistors, résistances, condensateurs ou autres – intégrés dans la couche semiconductrice monocristalline 14 du substrat.

Selon une mise en œuvre, le procédé peut en outre comprendre, postérieurement à la
15 réalisation 112 des processus frontaux, l'application 113 d'un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée au substrat intermédiaire 10, augmentant ainsi la température de la couche d'absorption 4 et permettant la dégradation de la zone de séparation 8 une fois que la température de la couche d'absorption 4 atteint un seuil, et permettant ainsi la séparation d'au moins une partie du support 13 du reste du substrat intermédiaire 10.
20 L'application 113 d'un rayonnement laser peut notamment se faire sur la couche support 7.

Selon une mise en œuvre, et postérieurement à l'application 113 d'un rayonnement laser, le procédé peut en outre comprendre une étape 114 de retrait de couches résiduelles
15 situées sur une face de la première couche semiconductrice 2 opposée à la couche semiconductrice monocristalline. Les couches résiduelles 15 sont issues de l'étape d'application 113 du rayonnement laser, et comprennent notamment la première couche
25 formant barrière thermique 5, et éventuellement la couche d'absorption 3 ainsi qu'une partie de la couche de séparation 4.

La figure 10 illustre l'évolution de température dans le substrat intermédiaire 10 lors de simulations d'une irradiation du substrat par un rayonnement laser de 50 Watts et de 125
30 micromètres de diamètre, présentant une longueur d'ondes de 404 nanomètres. Trois courbes I, II et III sont représentées, correspondant respectivement à une durée d'irradiation de 47,2 millisecondes, 47,9 millisecondes et 50 millisecondes. Le substrat intermédiaire 10 utilisé pour la simulation comprend deux couches formant barrière thermiques 5, 6 distinctes ainsi qu'une couche de séparation 4, et le rayonnement laser est appliqué sur une face libre de la couche
35 support 7 opposée aux autres couches du substrat intermédiaire 10. On voit que la

température de la couche d'absorption dépasse les 2000 °C tandis que les températures de la première couche semiconductrice 2 et la couche support 7 s'élèvent à un maximum d'environ 800 °C.

La figure 11 représente une évolution de la température maximum dans la couche de séparation 4 en fonction du diamètre du laser utilisé, dans les mêmes conditions de simulation que pour la figure 10. Les trois courbes I, II et III correspondent respectivement à des durées d'exposition du substrat intermédiaire 10 de 50, 100 et 200 microsecondes. On voit qu'il est nécessaire de prévoir un faible diamètre de rayonnement laser afin d'obtenir une montée de la température dans la couche de séparation 4 qui soit suffisamment élevée. Pour une augmentation de la température dans la couche de séparation 4 au-delà de 2000 °C, un rayonnement laser de moins de 150 micromètres de diamètre est nécessaire dans ces conditions de simulation.

La figure 12 représente, pour les mêmes conditions de simulation :

- l'évolution de la température maximale dans la couche de séparation 4, cette dernière étant représentée par les courbes notées I à VI,
- l'évolution de la température de surface du substrat, représentée par la courbe notée VII pour un rayonnement laser de 125 micromètres de diamètre et pour une durée d'exposition de 200 microsecondes.

Le diamètre du rayonnement laser peut varier selon plusieurs facteurs, par exemple selon la puissance du laser ou les matériaux présents dans le substrat. Pour les valeurs de température maximale dans la couche de séparation 4, les paramètres du laser utilisé sont répertoriés, pour chaque courbe, dans le tableau 1 ci-dessous.

En ce qui concerne la température de surface du substrat, on voit qu'elle atteint un maximum d'environ 200 °C, bien inférieur aux températures obtenues dans la couche de séparation, ce qui démontre l'efficacité des couches formant barrière thermique 5, 6.

Les évolutions de la température de surface du substrat observées durant ces simulations pour les autres paramètres (c'est-à-dire les paramètres de simulation correspondant aux courbes I à V), qui ne sont pas représentées sur la figure 12, sont similaires.

[Tableau 1]

Courbe	Durée d'exposition du substrat (µs)	Diamètre laser (µm)
--------	-------------------------------------	---------------------

I	50	150
II	100	150
III	200	150
IV	50	125
V	100	125
VI	200	125

REVENDECATIONS

1. Substrat (10) intermédiaire pour la fabrication d'un substrat semiconducteur, comprenant successivement :
 - 5 a. une première couche (2) semiconductrice,
 - b. une première couche formant barrière thermique (5),
 - c. un support (13) comprenant :
 - 10 i. une couche d'absorption (3) configurée pour absorber un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée, la température de la couche d'absorption (3) augmentant lors de l'absorption, et
 - ii. une couche de séparation (4) comprenant une zone de séparation (8) adjacente à la couche d'absorption (3) et configurée pour se dégrader thermiquement sous l'effet de l'augmentation de température de la couche d'absorption, de sorte à séparer au moins une partie du support (13) du reste du substrat intermédiaire (10), la dégradation de la zone de séparation (8) ayant lieu lorsque la couche d'absorption (3) atteint une température seuil,
 - 15 iii. une deuxième couche formant barrière thermique (6), et
 - iv. une couche support (7), la couche support (7) étant une deuxième couche semiconductrice de qualité inférieure à la première couche semiconductrice (2).
 - 20
2. Substrat (10) intermédiaire selon la revendication 1, comprenant en outre une couche germe (1) adaptée pour la croissance de la première couche semiconductrice (2), la couche germe (1) comprenant préférentiellement du graphite, la première couche semiconductrice (2) étant interposée entre la couche germe (1) et la première couche formant barrière thermique (5).- 25
3. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, la couche de séparation (4) étant constituée de nitrure de silicium.- 30
4. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, la couche d'absorption (3) étant constituée d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium polycristallin de type β -SiC, le nitrure de titane ou le zirconium.

5. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant en outre une couche semiconductrice monocristalline (14), de préférence comprenant du carbure de silicium (SiC) ou du nitrure de gallium (GaN), une première face de la couche semiconductrice monocristalline (14) étant adjacente à la première couche semiconductrice (2).
6. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, la première couche (2) semiconductrice étant constituée d'un matériau semiconducteur à large bande, notamment d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium, le nitrure d'aluminium et le nitrure de gallium.
7. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la couche support (7) est constituée d'un matériau choisi parmi le carbure de silicium et le nitrure de silicium.
8. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, la couche support (7) présentant une épaisseur comprise entre 100 et 200 nanomètres.
9. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, la première (5) et/ou la deuxième couche (6) formant barrière thermique présentant une conductivité thermique inférieure à 25 W/mK, la deuxième couche (6) formant barrière thermique étant de préférence constituée de dioxyde de titane ou de nitrure de silicium.
10. Substrat intermédiaire selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3 à 9, comprenant en outre une couche semiconductrice monocristalline (14) disposée sur une région superficielle de la première couche semiconductrice, la première couche semiconductrice (2) étant située entre la première couche formant barrière thermique (5) et la couche semiconductrice monocristalline (14)
11. Procédé de fabrication d'un substrat (10) intermédiaire semiconducteur, comprenant successivement des étapes de :
- a. croissance (101) d'une première couche électriquement semiconductrice (2) sur une couche germe (1),
 - b. croissance (102), sur la première couche semiconductrice (2), d'une première couche formant barrière thermique (5),
 - c. croissance (103), sur la première couche formant barrière thermique (5), d'un support (13) comprenant une couche d'absorption (3) configurée pour absorber

un rayonnement laser dans une gamme de longueur d'onde déterminée, la température de la couche d'absorption (3) augmentant lors de l'absorption, le support (13) comprenant en outre une zone de séparation (8) adjacente à la couche d'absorption (3) et configurée pour se dégrader thermiquement sous l'effet de l'augmentation de température de la couche d'absorption, de sorte à séparer au moins une partie du support (13) du reste du substrat intermédiaire (10),

d. retrait (104) de la couche germe (1),

les étapes de croissance étant obtenues par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

12. Procédé de fabrication d'un substrat (10) intermédiaire semiconducteur selon la revendication 11, la croissance (103) du support (13) comprenant des étapes successives de :

a. croissance d'un ensemble de séparation (12) constitué de la couche d'absorption (3) et d'une couche de séparation (4), la croissance de l'ensemble de séparation (12) comprenant :

- la croissance (1031) de la couche d'absorption (3)
- la croissance (1032) de la couche de séparation (4), la couche de séparation (4) comprenant la zone de séparation (8), la zone de séparation (8) étant adjacente à la couche d'absorption (3),

b. croissance (1033), sur l'ensemble de séparation (12), d'une deuxième couche formant barrière thermique (6) :

c. croissance (1034), sur la deuxième couche formant barrière thermique (6), d'une couche support (7),

les étapes de croissance étant obtenues notamment par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

13. Procédé de fabrication d'un substrat (10) intermédiaire semiconducteur selon la revendication 11, la croissance (103) du support (13) comprenant des étapes successives de :

a. croissance (1031), sur la première couche formant barrière thermique (5), de la couche d'absorption (3)

b. croissance (1035), sur la couche d'absorption (3), d'une couche support (7) agissant en outre comme seconde barrière thermique,

la zone de séparation (8) étant comprise dans la couche support (7),

les étapes de croissance étant obtenues notamment par dépôt en phase gazeuse sur les couches précédemment formées.

14. Procédé de fabrication d'un substrat comprenant une couche semiconductrice monocristalline sur un substrat semiconducteur polycristallin, comprenant la mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat semiconducteur intermédiaire (10) selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, la première couche semiconductrice (2) étant polycristalline,
- et comprenant en outre des étapes successives de :
- a. formation (109) d'une zone de fragilisation dans un substrat donneur semiconducteur (9) par implantation d'espèces, de sorte délimiter une couche semiconductrice monocristalline (14) à transférer,
 - b. collage (110) de la couche semiconductrice monocristalline (14) à transférer sur une région superficielle de la première couche semiconductrice (2),
 - c. détachement (111) du substrat donneur (9) le long de la zone de fragilisation pour transférer la couche semiconductrice monocristalline (14) sur la première couche semiconductrice (2).
15. Procédé de fabrication d'un composant électronique, comprenant des étapes successives de :
- a. Mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat selon la revendication 14,
 - b. Réalisation (112) de processus frontaux dans la couche semiconductrice monocristalline (14) pour former ledit composant électronique.
16. Procédé de fabrication d'un composant électronique selon la revendication 15, comprenant, postérieurement à la réalisation desdits processus frontaux, une étape d'application (113) d'un rayonnement laser dans la gamme de longueur d'onde déterminée au substrat intermédiaire (10), de sorte à dégrader thermiquement la zone de séparation (8) et à séparer au moins une partie du support (13) du reste du substrat intermédiaire (10).
17. Procédé de fabrication d'un composant électronique selon la revendication 16, comprenant, postérieurement à l'application du rayonnement laser, une étape de retrait (114) de couches résiduelles (15) situées sur une face de la première couche

semiconductrice (2) opposée à la couche semiconductrice monocristalline (14), les couches résiduelles (15) étant issues de l'étape d'application (113) du rayonnement laser.