

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 936 903

21 N° d'enregistrement national : 08 05532

51 Int Cl⁸ : H 01 L 21/20 (2006.01), H 01 L 21/762

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.10.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.04.10 Bulletin 10/14.

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) : KONONCHUK OLEG.

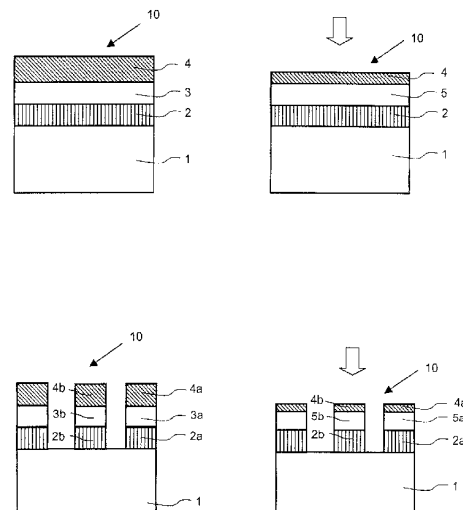
73 Titulaire(s) : S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR
TECHNOLOGIES Société anonyme.

74 Mandataire(s) : SOITEC.

54 RELAXATION D'UNE COUCHE DE MATERIAU CONTRAINT AVEC APPLICATION D'UN RAIDISSEUR.

57 L'invention concerne un procédé de fabrication d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) pour l'électronique, l'optoélectronique ou le photovoltaïque comportant la fourniture d'une structure (10) comprenant une couche de matériau contraint (3, 3a, 3b), située entre une couche de fluage (2, 2a, 2b), et une couche raidisseur (4, 4a, 4b) l'application d'un traitement thermique qui porte la couche de fluage (2, 2a, 2b) à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse de ladite couche de fluage (2, 2a, 2b) caractérisé en ce qu'il comprend la réduction progressive de l'épaisseur de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) lors de l'application dudit traitement thermique.

L'invention concerne également un procédé de fabrication de dispositifs semi-conducteurs comprenant la fourniture d'une couche de matériau au moins partiellement latéralement relaxé (5, 5a, 5b) obtenue suivant le procédé précédent, caractérisé en ce qu'il comprend en outre la formation d'au moins une couche active (6, 6a, 6b) sur la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) en particulier des couches actives (6, 6a, 6b) de composants laser, de composants photovoltaïques ou de diodes électroluminescentes.



FR 2 936 903 - A1



RELAXATION D'UNE COUCHE DE MATERIAU CONTRAINT AVEC APPLICATION D'UN RAIDISSEUR

Domaine technique de l'invention

5 La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé pour l'électronique, l'optoélectronique ou le photovoltaïque comportant la fourniture d'une structure comprenant une couche de matériau contraint située entre une couche de fluage et une couche raidisseur et l'application d'un traitement
10 thermique qui porte la couche de fluage à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse de ladite couche de fluage. L'invention concerne également la fabrication de dispositifs semi-conducteurs à partir de la couche de matériau au moins partiellement relaxée.

15

Etat de la technique

Lorsque des substrats ne sont pas disponibles ou sont très chers sous forme massive, ils peuvent être obtenus en couche plus fine par croissance
20 épitaxiale sur des substrats germes. Néanmoins, les propriétés de ces substrats germes ne sont pas toujours adaptées aux matériaux dont on veut réaliser la croissance. En effet, les substrats germes peuvent présenter par exemple un coefficient de dilatation thermique et un paramètre de maille différents de ceux des matériaux dont on veut réaliser la croissance, ce qui
25 génère un certain nombre de défauts dans la couche formée comme des fissures qui peuvent se développer au cours de la croissance ou au refroidissement de la structure, ou la présence de défauts cristallins qui

diminuent l'efficacité des dispositifs formés ultérieurement, ou encore la mise sous contrainte en compression ou en tension de la couche.

On connaît des techniques de relaxation de telles couches de matériau contraint, notamment par introduction d'une couche de fluage entre la
5 couche contrainte et un substrat support. L'application d'un traitement thermique à au moins la température de transition vitreuse de la couche de fluage permet alors la relaxation de la couche contrainte. Mais ces techniques ne donnent pas de résultats totalement satisfaisants, la couche
10 contrainte ne se relaxe pas toujours ou complètement sur un mode élastique. La structure formée d'un empilement de couche peut également être détériorée et la couche à relaxer peut être arrachée du reste de la structure. De plus, lorsque le matériau est contraint en compression, cette relaxation élastique peut conduire au plissement du matériau, la rugosité et l'amplitude entre les pics et les vallées de la couche plissée n'étant alors
15 pas conciliables avec les utilisations souhaitées. Lorsque le matériau est contraint en tension, la relaxation génère souvent des fissures et une augmentation de la rugosité de surface.

L'article « buckling suppression of SiGe islands on compliant substrates »
20 de H. Yin et al. (dans Journal of Applied Physics, vol 94, number 10, publié en date du 15 novembre 2003) décrit que les relaxations élastiques, latérale et par plissement, de matériaux contraints en compression, mettent en oeuvre deux phénomènes compétitifs. D'après ce document, un premier phénomène consiste en la relaxation latérale du matériau contraint, cette
25 relaxation se propage alors des frontières du film ou d'îlots formés dans le film vers le centre du film ou de l'îlot. On explique ainsi que plus l'îlot est de petite taille, plus sa relaxation latérale est rapide (ce qui est accentué par l'épaisseur de la couche de matériau contraint). Cette relaxation latérale permet d'obtenir un film de matériau relaxé sensiblement plat, d'une faible
30 rugosité de surface. Par exemple, des îlots de 60 micromètres x 60 micromètres de SiGe provenant d'une épitaxie sur un substrat initial de silicium et d'une teneur de 30% en Germanium se relaxent latéralement et

conduisent à l'obtention d'un film plat dont la rugosité rms est inférieure à 2 nm.

- Tel qu'expliqué par l'article cité précédemment, le second phénomène est une relaxation par plissement (« buckling ») dont la vitesse ne dépend pas
- 5 de la surface du film ou de l'îlot à relaxer mais de la contrainte dans le matériau. Le plissement conduit à l'obtention d'un film au moins partiellement relaxé mais très rugueux, voire à la fracture du film si la rugosité dépasse une valeur critique. Ce phénomène est favorisé par des films relativement mince, qui permettent une courbure facile.
- 10 Afin d'obtenir un matériaux relaxé de meilleure morphologie, H. Yin préconise de ralentir le phénomène de plissement et de favoriser le phénomène de relaxation latérale. Il propose pour ce faire le dépôt d'une couche de matériau non contraint sur le film de matériau à relaxer. Cette couche permet d'augmenter l'épaisseur totale de matériau sur la couche de
- 15 fluage en formant une bicouche (couche de matériau contraint et couche de recouvrement) et d'augmenter ainsi la vitesse de relaxation latérale. Le dépôt de cette couche de recouvrement permet également l'obtention d'une structure bicouche mécaniquement plus rigide avec une plus faible propension à la courbure. De plus, la contrainte moyenne dans la bicouche
- 20 étant moins élevée du fait du dépôt sans contrainte de la couche de recouvrement, la force conduisant au plissement est moins élevée. Mais, au terme du traitement thermique, la relaxation reste partielle dans le matériau initialement contraint. La relaxation est en effet interrompue lorsqu'un équilibre de contraintes se produit dans la bicouche. Un procédé multi-cycle
- 25 est alors proposé afin de favoriser la relaxation latérale au détriment de la relaxation par plissement. Il s'agit d'effectuer le traitement thermique sur la bicouche jusqu'à obtenir la relaxation permise par le nouvel équilibre des contraintes, puis la couche de recouvrement est réduite d'une épaisseur déterminée ce qui permet d'obtenir un nouvel équilibre des contraintes et
- 30 une nouvelle relaxation partielle au terme d'un second recuit de relaxation, tout en réduisant le phénomène de relaxation par plissement. Ces étapes d'amincissement/recuit sont renouvelées jusqu'au retrait total de la couche

de recouvrement. L'épaisseur de couche de recouvrement à retirer peut être identique à chaque cycle ou bien être variable et définie comme étant la moitié de l'épaisseur de la couche de recouvrement du cycle précédent. Une optimisation des cycles combinant ces deux variantes est également

5 envisagée mais le procédé de relaxation reste relativement long à mettre en place.

Exposé de l'invention

- 10 L'invention a pour but de remédier aux inconvénients précités et de proposer un procédé de fabrication d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé pour l'électronique, l'optoélectronique ou le photovoltaïque qui soit rapide, efficace et pratique à mettre en œuvre.
- 15 Selon l'invention, ce but est atteint par le fait que le procédé comprend une réduction progressive de l'épaisseur de la couche raidisseur lors de l'application du traitement thermique.

De manière particulièrement avantageuse, le procédé de fabrication

20 comprend en outre une étape de formation d'îlots, en particulier par gravure ou par irradiation électromagnétique, dans la couche de matériau contraint avant l'application du traitement thermique.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la couche de

25 matériau contraint est formée par l'intermédiaire des étapes successives suivantes :

- a) Dépôt de la couche de matériau contraint monocristallin ou polycristallin sur un substrat de nucléation
- b) Assemblage de la couche du matériau contraint et d'un substrat support
- 30 par l'intermédiaire d'une couche de fluage
- c) Retrait au moins partiel du substrat de nucléation.

Selon un autre mode particulier de l'invention le retrait du substrat de nucléation est partiel et la couche raidisseur est au moins en partie formée par le reliquat du substrat de nucléation.

- 5 Selon un aspect particulier de l'invention la couche de fluage est constituée d'au moins un matériau à faible viscosité en particulier le matériau est un verre de borophosphosilicate comportant entre 3 et 7% de bore et préférentiellement entre 3 et 5%.
- 10 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention la couche raidisseur est en GaN, la couche de matériau contraint est en InGaN et la gravure de la couche raidisseur est effectuée avec dans une atmosphère comprenant de l'HCl.
- 15 L'invention concerne également un procédé de fabrication de dispositifs semi-conducteurs comprenant la fourniture d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé selon l'invention et la formation d'au moins une couche active sur la couche de matériau au moins partiellement relaxé. En particulier ces couches actives sont de couches actives de composants
- 20 laser, de composants photovoltaïques ou de diodes électroluminescentes.

- Selon un procédé particulier de l'invention, la couche de matériau au moins partiellement relaxé est en matériau III/N, la ou les couches actives (sont en matériau III/N et la formation de la ou des couches actives est réalisée par
- 25 épitaxie sur la face de l'élément III du matériau de la couche de matériau au moins partiellement relaxé.

Brève description des figures

- 30 D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- les figures 1 et 2 illustrent un premier mode de réalisation selon l'invention
- les figures 3 et 4 illustrent un autre mode de réalisation selon l'invention
- 5 - les figures 5 à 8 illustrent les différentes étapes de fabrication d'un substrat pour la relaxation d'une couche contrainte conformément à un mode de réalisation de l'invention.
- Les figures 9 à 11 illustrent une variante de fabrication d'un substrat pour le relaxation d'une couche contrainte conformément à un mode de réalisation de l'invention.
- 10 - Les figures 12 à 14 illustrent la fabrication de couches actives sur une couche de matériau au moins partiellement relaxé obtenue selon un mode de réalisation de l'invention.
- Les figures 15 à 17 illustrent un exemple de mise en œuvre du procédé de fabrication d'un substrat pour la relaxation d'une couche contrainte conformément à un mode de réalisation de l'invention.
- 15 - Les figures 18 à 20 illustrent un exemple de mise en œuvre du procédé de relaxation d'îlots couche de matériau contraint conformément à un mode de réalisation de l'invention et du transfert d'îlots pour exposer la polarité souhaitée du matériau.
- 20

Description détaillée de l'invention

25

Sur la figure 1 est représentée une structure 10 comprenant une couche de matériau contraint 3 située entre une couche de fluage 2 et une couche raidisseur 4. De préférence, la structure 10 comprend également un substrat support 1 sur lequel la couche de fluage 2 repose. Il renforce la

30 rigidité de la structure 10 pendant l'application du traitement thermique.

Ledit traitement thermique est appliqué pour porter la couche de fluage 2 à une température supérieure ou égale à la température de sa transition vitreuse lors duquel l'épaisseur de la couche raidisseur 4 est réduite progressivement comme illustré à la figure 2.

5

On rappelle qu'un matériau est dit contraint respectivement en tension ou en compression dans le plan d'interface avec le matériau sur lequel il repose, lorsque son paramètre de maille est respectivement supérieur ou inférieur à son paramètre de maille nominal, c'est à dire son paramètre de maille à l'état naturel. Il est également indiqué que le terme « couche » doit être compris au sens large du terme, c'est à dire que la couche peut être continue ou discontinue.

Par couche de fluage on entend une couche en matériau amorphe qui flue et devient visqueuse lorsqu'elle est portée à une température au delà de sa température de transition vitreuse. De préférence, on utilise pour l'invention une couche de fluage de faible viscosité c'est à dire dont la température de transition vitreuse est assez basse. Par exemple, la température de transition vitreuse d'un oxyde de haute viscosité est de l'ordre de 1000°C voire au dessus de 1200°C, la température de transition vitreuse d'un oxyde de faible viscosité se situe entre 600°C à 1000°C.

Le matériau amorphe de la couche de fluage 2 selon l'invention peut être un verre tel qu'un verre à base de lithium ou un oxyde tel que le SiO₂, dopé par du bore ou du bore et du phosphore pour former un verre de borosilicate (bsg) ou borophosphosilicate (bpsg). La proportion de bore détermine la température de transition vitreuse de l'oxyde, il est ainsi possible de fixer la composition de l'oxyde pour le rendre visqueux à la température souhaitée. Par exemple, la température de transition vitreuse d'une couche de bpsg qui contient 4.5 % de bore est d'environ 650°C. Le matériau de la couche de fluage 2 peut être choisi de façon à ce que le traitement thermique

puisse être effectué entre 750°C et 1050°C et de préférence entre 850°C et 950°C.

Conformément à un mode de réalisation particulier de l'invention, la couche
5 de fluage 2 est en verre de borosphosilicate, et la teneur en bore de l'oxyde est de préférence comprise entre 7% et 3%. Lorsque l'on souhaite opérer à une température supérieure à 850°C la teneur en bore est préférentiellement inférieure ou égale à 4%.

10 Ainsi, lorsque l'on porte la couche de fluage 2 de la structure 10 au delà de la température de transition vitreuse qui permet la transition du matériau de la couche à l'état visqueux, la couche de matériau contraint 3 peut se relaxer au moins partiellement et conduire à une couche de matériau au moins partiellement relaxé 5. Cette relaxation se fait par déformation
15 élastique principalement latérale du fait de la présence du raidisseur 4 à sa surface. La couche raidisseur 4 contribue à limiter la vitesse de la déformation par plissement, par formation de fissures ou par augmentation de la rugosité de surface, en faveur d'une déformation latérale. Mais le raidisseur 4 au contact de la couche de matériau contraint 3 s'oppose à la
20 relaxation du matériau contraint. Tant que l'opposition exercée par le raidisseur, qui dépend en partie de l'épaisseur de celui-ci, n'est pas négligeable devant la force poussant à la relaxation, la relaxation du matériau contraint reste partielle. C'est pourquoi la réduction progressive de l'épaisseur du raidisseur 4 tout en maintenant la couche de fluage 2 à une
25 température supérieure à la température de transition vitreuse permet un rééquilibrage continu des forces en jeu et une relaxation latérale totale ou au moins partielle du matériau contraint peut être obtenue.

De préférence, la couche de fluage 2 est portée au delà de sa température
30 de transition vitreuse en chauffant l'ensemble de la structure 10 dans un dispositif du chauffage si bien que l'ensemble des couches constituant la structure 10 sont également chauffées. Mais on pourrait également

envisager d'appliquer un traitement thermique local au niveau de la couche de fluage 2.

5 La couche raidisseur 4 peut être constituée d'un matériau déposé de façon à être non contraint, ou avantageusement avec une contrainte en compression ou en tension si la couche de matériau 3 présente une contrainte respectivement en compression ou en tension. Les méthodes de dépôt utilisées peuvent être choisies parmi le dépôt chimique en phase liquide, le dépôt chimique en phase vapeur ou le dépôts par jet moléculaire.

10

Le matériau de la couche raidisseur 4 peut être monocristallin, polycristallin ou amorphe. Il devra présenter des propriétés thermomécaniques adaptées pour assurer une rigidité suffisante aux températures considérées et présenter l'effet raidisseur souhaité. Il peut être en germanium, en silicium, 15 ou constitué d'un matériau III/N. S'il est choisi en silicium, celui ci est de préférence polycristallin car il est moins onéreux à former. Son épaisseur peut être comprise entre 50 nm et 1 micromètre.

20 La méthode de réduction progressive de l'épaisseur de la couche raidisseur 4 peut être une gravure sèche de type gravure sèche assistée par plasma, ou une gravure sèche par réaction chimique en phase gazeuse bien connue sous la dénomination anglo-saxonne « gaz phase chemical reaction ». La technique de gravure utilisée doit être compatible avec la température du traitement thermique appliqué à la structure.

25

La réduction de l'épaisseur de la couche raidisseur 4 peut être réalisée jusqu'à l'enlèvement total de la couche. Si la durée du traitement thermique est subordonnée à la fin de la gravure, il est possible que le matériau contraint de la couche 3 ne soit pas totalement ou suffisamment relaxé. 30 Dans ce cas, le traitement thermique peut être poursuivi quelques heures par exemple afin de compléter la relaxation du matériau contraint et

conduire à une couche 5 d'un matériau totalement ou au moins partiellement relaxé, de façon principalement latérale.

5 Selon les propriétés thermomécaniques du matériau contraint de la couche 3 et notamment de son module de Young, du volume de matériau à relaxer, l'homme du métier peut aisément procéder aux réglages nécessaires afin d'optimiser la réduction de la couche raidisseur 4 de façon à ce que la couche de matériau 3 se relaxe au moins partiellement, et de préférence latéralement, tout en évitant la formation de plissement, de fissures ou de
10 rugosité de surface.

La couche de matériau contraint 3 est préférentiellement en matériau polycristallin ou monocristallin. Selon un mode de réalisation conforme à l'invention, le matériau contraint est un matériau III/N qui comprend des
15 matériaux d'alliages binaires, ternaires ou quaternaires à base d'élément III et d'azote. De préférence, le matériau III/N est de l'InGaN monocristallin avec une teneur d'indium comprise entre 3 et 35%. De façon encore préférée, l'InGaN a une teneur en indium comprise entre 5 et 10%.

20 Selon un autre aspect de l'invention, la couche de matériau contraint 3 peut être découpée en îlots de matériaux 3a, 3b comme représentés sur la figure 3. Ces îlots permettent de limiter la relaxation par plissement ou formation de fissures tout en favorisant la relaxation latérale. Il devient alors possible d'accélérer la vitesse de réduction de l'épaisseur de la couche de raidisseur
25 4 tout en conservant la relaxation principalement latérale qui conduit à un matériau au moins partiellement relaxé latéralement 5a,5b illustré à la figure 4. Ces îlots peuvent être de toutes formes et de toutes dimensions. Des îlots de formes carrées sont préférés pour des raisons pratiques concernant leur fabrication, leurs dimensions peuvent varier selon la contrainte initiale
30 du matériau de 100 micromètres x 100 micromètres à 3 mm x 3 mm par exemple. Ils peuvent être formés par irradiation électromagnétique grâce à une source d'irradiation dont la longueur d'onde correspond aux propriétés

absorbantes du matériau. Par exemple, un laser permettra de former des îlots dans un matériau nitruré de type III/N, plus particulièrement, un laser d'une longueur d'onde inférieure à 400 nm permettra de graver des tranchées pour former des îlots GaN. Ces îlots peuvent également être
5 formés par masquage et gravure, comme cela est bien connu de l'homme du métier.

Selon une variante de l'invention, des motifs 2a, 2b, alignés sur les îlots de la couche de matériau contraint 3a, 3b, sont formés dans au moins une
10 partie de l'épaisseur de la couche de fluage 2 afin de minimiser encore le processus de plissement ou la formation de fissures au cours de la relaxation du matériau contraint. Selon les cas, les motifs sont réalisés dans toute l'épaisseur de la couche de fluage 2 jusqu'à l'obtention d'îlots distincts comme représenté sur la figure 3. De préférence, ces îlots 2a, 2b
15 ont la même dimension que les îlots 3a, 3b de matériau contraint.

Selon le mode de réalisation de formation de ces îlots 3a,3b, la couche raidisseur 4 est également découpée sous forme d'îlots 4a, 4b alignés sur les îlots de matériaux contraints 3a, 3b comme représenté à la figure 3 afin
20 d'optimiser la relaxation en îlots 5a, 5b comme illustré à la figure 4.

L'invention concerne également un procédé de fabrication de la structure 10. Comme illustré à la figure 5, la couche de matériau contraint 3 est tout d'abord déposée, par exemple par épitaxie, sur un substrat de nucléation 11
25 dont le paramètre de maille du matériau diffère de celui du matériau de la couche 3. L'épitaxie peut être effectuée selon une méthode connue telle que l'EPVOM (Epitaxie en Phase Vapeur d'Organo-Métalliques) ou l'EJM (Epitaxie par Jet Moléculaire) et une couche 3 qui peut être continue en matériau contraint monocristallin ou polycristallin est alors obtenue. Une
30 couche 3 de matériau polycristallin peut également être obtenue par simple dépôt. L'épaisseur de cette couche en matériau contraint 3 est de préférence limitée afin d'éviter que la contrainte accumulée ne conduise à

des déformations plastiques altérant ainsi la qualité cristallographique du matériau de la couche 3. Elle peut varier suivant la nature des matériaux mis en jeu entre 50 nm à 2 micromètres, sans créer de défauts de type dislocations ou fissures au cours de la croissance.

5

Lorsque l'épithaxie est réalisée avec un masque formé sur le substrat de nucléation, une couche 3 discontinue peut être obtenue et peut comprendre des îlots 3a, 3b d'une taille allant de 50 micromètres x 50 micromètres à 3 mm x 3 mm. Ils peuvent également être d'une forme quelconque. Le substrat de nucléation 11 peut être massif ou composite. Un substrat composite 11, comprenant une couche germe 15 sur laquelle sera formée la couche 3 et un support mécanique 16, (non représenté sur les figures) présente l'avantage de pouvoir séparer les contraintes de paramètre de maille et de coefficient de dilatation thermique entre la couche germe 15 et le support mécanique 16 ou par exemple de limiter le coût du substrat si le support mécanique 16 est polycristallin ou si il peut être recyclé.

En référence à la figure 6, une couche de fluage 2, 2a, 2b est déposée sur la couche de matériau contraint 3, 3a, 3b ou sur la couche de matériau contraint 3, 3a, 3b et le substrat support 1. Les faces de la couche 3, 3a, 3b et du substrat support 1 sont ensuite assemblées par l'intermédiaire de la couche de fluage 2, 2a, 2b comme illustré à la figure 7. Cet assemblage peut comprendre un collage par adhésion moléculaire. La couche de fluage 2, 2a, 2b peut alors présenter une épaisseur de 0,1 micromètre à 5 micromètres.

Le substrat de nucléation 11 est alors retiré au moins partiellement de la couche 3. Lorsque que le retrait est total, par exemple par amincissement mécanique, chimique, irradiation électromagnétique à l'interface avec la couche 3, la couche raidisseur 4, 4a, 4b est déposée directement sur la face exposée de la couche de matériau contraint 3, 3a, 3b jusqu'à

l'épaisseur souhaitée pour conduire à la structure 10 représentée à la figure 8.

5 Le retrait partiel du substrat de nucléation 11 peut être obtenu par amincissement mécanique et ou chimique ou par fracture par exemple au niveau d'une zone de fragilisation 13 dans le substrat 11 comme illustrée à les figures 9 et 10. Cette zone de fragilisation aura été formée au préalable dans le substrat 11 par introduction d'espèces ioniques par exemple selon la technologie Smart Cut™ comme représenté à la figure 9. Le reliquat 14
10 du substrat de nucléation 11 illustré à la figure 11 peut alors former au moins une partie de la couche raidisseur 4. Une couche de matériau peut aussi être déposée sur ce reliquat 14 pour compléter la formation de la couche raidisseur 4 souhaitée. Alternativement, le reliquat 14 peut être retiré avant la formation de la couche raidisseur 4. L'épaisseur du reliquat
15 14 varie en fonction de l'énergie des espèces ioniques implantées et de l'épaisseur des couches de matériau traversées par ces espèces. Elle peut être comprise entre 50 nm et 1 micromètre.

Selon un autre aspect de l'invention, une fois l'application du traitement
20 thermique effectué et l'obtention d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé 5, 5a, 5b, de préférence latéralement, comme illustré à la figure 12, le résidu éventuel de la couche raidisseur 4, 4a, 4b est retiré et une épitaxie d'une ou plusieurs couches de matériaux est réalisée pour former une ou plusieurs couches actives 6, 6a, 6b comme représenté à la
25 figure 13. Les matériaux des couches 5, 5a, 5b sont choisis de préférence pour présenter, une fois au moins partiellement latéralement relaxés, un paramètre de maille identique ou très proche de celui du matériau des couches actives 6, 6a, 6b souhaité. Ces couches 5, 5a, 5b leur servant de germe, les couches actives obtenues 6, 6a, 6b sont ainsi d'une très bonne
30 qualité cristallographique. Par exemple, pour une couche totalement relaxée 5, 5a, 5b en InGaN dont la teneur en indium est comprise entre 5 et 10 %, le matériau d'une au moins des couches actives 6 sera de préférence en

InGaN comprenant une plage d'indium de 5 et 10%. Les couches actives 6 sont alors relaxées et présentent une densité de dislocations traversantes inférieure ou égale à $5 \cdot 10^8/\text{cm}^2$. Elles peuvent présenter une épaisseur cumulée de 100 nm à 2 micromètres. Ces couches ont les propriétés
5 cristallographiques nécessaires pour pouvoir être utilisées comme composants lasers, photovoltaïques ou diodes électroluminescentes.

Par ailleurs, lorsque l'épitaxie de couches actives 6, 6a, 6b est effectuée directement sur la structure 10, il est préférable que la température de
10 traitement thermique qui permet la relaxation soit supérieure à la température d'épitaxie de couches actives. Dans le cas d'une épitaxie d'InGaN effectuée à 800°C , le verre de borophosphosilicate utilisé comprendra avantageusement une teneur en bore inférieure à 4%.

15 Dans le cas de matériaux III/N polaires, il est connu que l'épitaxie est plus aisée sur la face de polarité de l'élément III, à savoir le gallium pour l'InGaN, que sur une face à la polarité N. Il peut être alors nécessaire de transférer la couche de matériau au moins partiellement relaxé latéralement 5, 5a, 5b sur un substrat final 18 tel qu'illustré à la figure 14 via une couche de collage
20 17, afin de présenter la face de l'élément III pour l'épitaxie de couches actives.

Un premier exemple de réalisation conforme à l'invention est maintenant décrit. En référence à la figure 15, une couche de nitrure d'indium et de
25 gallium (InGaN) 3 contenant 10% d'indium et d'une épaisseur de 50 nm est déposée par épitaxie sur un substrat de nucléation 11, constitué d'un support mécanique 16 en saphir recouvert d'une couche germe 15 de nitrure de gallium GaN.

Cette couche d'InGaN présente une différence de paramètres
30 de maille d'environ 1% avec la couche germe 15 de nitrure de gallium sur laquelle elle est formée. Elle présente une densité de dislocations inférieure

ou égale à $5.10^8/\text{cm}^2$ et de préférence une densité inférieure ou égale à $1.10^8/\text{cm}^2$.

Une couche de fluage 2 en verre de borophosphosilicate dont la teneur en bore est de 4.5% est alors déposée sur la couche d'InGaN 3, 5 comme illustré à la figure 16, sur une épaisseur d'environ 500 nm. Optionnellement, une couche enterrée de SiO_2 de 50 nm (non représentée sur le schéma) est déposée sur la face gallium de l'InGaN afin d'améliorer l'adhérence du matériau avec le substrat 1.

On procède ensuite à une implantation d'ions hydrogène ou 10 d'ions hydrogène et d'hélium avec une dose totale comprise entre 2,5 et 6.10^{17} atomes/ cm^2 , dans le GaN, au travers de la couche d'InGaN et de la couche de verre de borophosphosilicate, pour y former une zone de fragilisation 13. Cette zone de fragilisation délimite d'une part un négatif 12 comportant le support mécanique en saphir et le résidu de la couche de 15 gallium et d'autre part un reliquat 14 constitué de GaN d'une épaisseur de 150 nm comme illustré à la figure 16.

Une couche en verre de borophosphosilicate est déposée sur le substrat support 1 sur une épaisseur de 1 micromètre puis les surfaces exposées des couches en verre de borophosphosilicate déposées sur le 20 support 1 et sur la couche d'InGaN 3 sont polies (non représentées sur les figures) par exemple par une technique CMP (Polissage Mécano-Chimique) avant de les mettre en contact intime. La couche de fluage 2 en verre de borophosphosilicate ainsi formée présente une épaisseur d'environ 1 micromètre du fait de l'enlèvement de 500 nm de matériau au cours du 25 polissage.

Un traitement thermique de fracture est ensuite appliqué afin de détacher le reliquat 14 du négatif 12 au niveau de la zone de fragilisation 13 formée dans le substrat de nucléation 11. Ce traitement thermique peut être complété par l'apport d'énergie mécanique ou d'autre nature. En 30 référence à la figure 17, on obtient la couche d'InGaN 3 transférée sur le substrat support 1 via l'intermédiaire de la couche de fluage 2 et le reliquat 14 formé de GaN sert alors de couche raidisseur 4.

De façon optionnelle et en référence à la figure 18, le reliquat 14, la couche d'InGaN contraint 3 et la couche de fluage 2 sont gravés par un procédé standard de lithographie/gravure afin d'obtenir des îlots carrés comportant respectivement les couches raidisseur 4a, 4b, les couches de matériau contraint 3a, 3b et les couches de fluage 2a, 2b d'une dimension de 1 mm x 1 mm. Le étant assimilé à la couche raidisseur 4 étant issu du reliquat 14, celui-ci est référencé par 4 de même pour les îlots 14a et 14b référencés par 4a et 4b.

Un traitement thermique dans une atmosphère de gaz neutre contenant du HCl est appliqué à la structure pour porter la couche de fluage 2a, 2b au delà de sa température de transition vitreuse par exemple à 850°C pendant 4h. La couche raidisseur 4a, 4b est amincie au cours du traitement thermique par effet gravant de l'atmosphère contenant du HCl. Le traitement thermique en atmosphère de gaz neutre est poursuivi au delà de l'enlèvement total de la couche raidisseur 4, 4a, 4b afin d'obtenir la relaxation totale et latérale, c'est à dire sans plissement ou autres détériorations de la qualité cristalline du matériau, de la couche d'InGaN 3, 3a, 3b en la couche d' InGaN 5, 5a, 5b comme illustré à la figure 19.

La face exposée de la couche d'InGaN 5, 5a, 5b présente une polarité N du fait de son transfert sur le substrat 1. Elle est alors à nouveau reportée sur un substrat support 18, par assemblage de la structure présentée sur la figure 19 et enlèvement du substrat 1 et des couches 2a, 2b, via une couche de collage 17 comme représenté à la figure 20. Ainsi la couche de matériau d'InGaN 5, 5a, 5b présente une face exposée de polarité gallium. Des couches actives 6, 6a, 6b comprenant une ou des couches en matériau III/N tel que l'InGaN à 10% ou d'une teneur comparable en indium, peuvent alors être déposées par épitaxie sur la face gallium de la couche d'InGaN 5, 5a, 5b totalement et latéralement relaxée.

30

Selon un deuxième exemple de réalisation de l'invention, la couche d'InGaN 3 dont la teneur en indium est de 5% est déposée de façon

discontinue, sur le substrat de nucléation 11 par l'utilisation d'un masque. L'épaisseur de cette couche est de 100 nm et les îlots 3a et 3b ainsi formés présentent une taille de 1 mm x 1 mm.

La couche de fluage 2a,2b est également déposée de façon discontinue et alignée sur îlots 3a,3b. Le matériau de la couche de fluage est un verre de borophosphosilicate à 4.5% en bore. La couche 2a,2b est déposée sur une épaisseur de 2 micromètres. Puis la couche 3a, 3b et le substrat support 1 sont assemblés par l'intermédiaire de la couche de fluage 2a,2b après une étape de polissage par CMP appliquée à la couche et qui participe au retrait de 1 micromètre de son épaisseur.

Le substrat de nucléation 11 est totalement retiré par amincissement mécanique et une couche raidisseur 4a, 4b discontinue de silicium polycristallin est déposée sur les îlots 3a,3b, sur une épaisseur de 200 nm et de façon à être alignée avec les îlots 3a,3b .

Un traitement thermique à 950°C pendant 4h dans une atmosphère de gaz neutre et HCl est appliqué à la structure pour amincir la couche raidisseur 4, 4a, 4b en silicium. Le silicium peut en effet être gravé à cette température par une atmosphère contenant du HCl ce qui permet d'obtenir relaxation dans le même temps. Le traitement thermique est poursuivi 2 heures au delà de l'enlèvement total de la couche raidisseur 4a, 4b afin d'obtenir la relaxation au moins partielle de la couche d'InGaN 3a, 3b en la couche d' InGaN 5a, 5b.

Les étapes ultérieures pour le transfert de la couche 5a, 5b en vue de la formation des couches actives 6a, 6b sont conformes à celles décrites dans le premier exemple.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) pour l'électronique, l'optoélectronique ou le photovoltaïque comportant les étapes suivantes :
 - fourniture d'une structure (10) comprenant une couche de matériau contraint (3, 3a, 3b) située entre une couche de fluage (2, 2a, 2b) et une couche raidisseur (4, 4a, 4b)
 - application d'un traitement thermique qui porte la couche de fluage (2, 2a, 2b) à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse de ladite couche de fluage (2, 2a, 2b)
caractérisé en ce qu'il comprend une réduction progressive de l'épaisseur de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) lors de l'application dudit traitement thermique.
2. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit traitement thermique est appliqué à l'ensemble de la structure (10).
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la structure (10) comprend également un substrat support (1) sur lequel la couche de fluage (2, 2a, 2b) repose.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le matériau de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est monocristallin, polycristallin ou amorphe.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la réduction de l'épaisseur de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est réalisée par gravure sèche, en particulier par gravure par réaction chimique en phase gazeuse.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de formation d'îlots (3a, 3b), en particulier par gravure ou par irradiation électromagnétique, dans la couche de matériau contraint (3) avant l'application dudit traitement thermique.
7. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que des motifs (2a, 2b), alignés sur les îlots (3a, 3b), sont formés dans au moins une partie de l'épaisseur de la couche de fluage (2).
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que la couche de matériau contraint (3, 3a, 3b) est formée par l'intermédiaire des étapes successives suivantes :
- a) Dépôt de la couche de matériau contraint (3, 3a, 3b) monocristallin ou polycristallin sur un substrat de nucléation (11)
 - b) Assemblage de la couche du matériau contraint (3, 3a, 3b) et du substrat support (1) par l'intermédiaire de la couche de fluage (2, 2a, 2b)
 - c) Retrait au moins partiel du substrat de nucléation (11)
9. Procédé selon la revendication 8 caractérisé en ce que l'étape de formation d'îlots (3a, 3b) est réalisée après l'étape c) de retrait au moins partiel du substrat de nucléation (11).
10. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que le retrait du substrat de nucléation (11) est partiel et en ce que la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est au moins en partie formée par un reliquat (14, 14a, 14b) du substrat de nucléation (11).
11. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10 caractérisé en ce que le retrait du substrat de nucléation (11) est réalisé par fracture.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est formée sur la couche de matériau contraint (3, 3a, 3b).
- 5 13. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la réduction de l'épaisseur de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est réalisée jusqu'à l'enlèvement total de ladite couche raidisseur (4, 4a, 4b).
- 10 14. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'application du traitement thermique est poursuivi après l'enlèvement total de la couche raidisseur (4, 4a, 4b).
- 15 15. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche de fluage (2, 2a, 2b) est constituée d'au moins un matériau à faible viscosité en particulier le matériau est un verre de borophosphosilicate comportant entre 3% et 7% de bore et préférentiellement entre 3% et 5%.
- 20 16. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le traitement thermique portant la couche de couche de fluage (2, 2a, 2b) à une température égale ou supérieure à la température de transition vitreuse de ladite couche de fluage (2, 2a, 2b) est effectué entre 750°C et 1050°C et de préférence entre 850°C et 950°C
- 25 17. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est en silicium polycristallin, en germanium ou en matériau III/N.
- 30 18. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche de matériau contraint (3, 3a, 3b) est en un matériau monocristallin III/N, en particulier la couche est en InGaN.

19. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est en GaN, la couche de matériau contraint (3, 3a, 3b) est en InGaN et la gravure de la couche raidisseur (4, 4a, 4b) est effectuée dans une atmosphère comprenant du HCl.
20. Procédé de fabrication de dispositifs semi-conducteurs comprenant la fourniture d'une couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) obtenue suivant le procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre la formation d'au moins une couche active (6, 6a, 6b) sur la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) en particulier des couches actives (6, 6a, 6b) de composants laser, de composants photovoltaïques ou de diodes électroluminescentes.
21. Procédé selon la revendication 20 caractérisé en ce qu'il comprend en outre le transfert de la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) sur un substrat final (18) avant la formation de la ou des couches actives (6, 6a, 6b).
22. Procédé selon la revendication 20 caractérisé en ce que la ou les couches actives (6, 6a, 6b) sont formées sur la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) de la structure (10) et que la température de transition vitreuse de la couche de fluage (2,2a,2b) est supérieure à la température de formation de la ou des couches actives (6, 6a, 6b).
23. Procédé selon l'une des revendications 20 à 22 caractérisé en ce que la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b) est en matériau III/N, la ou les couches actives (6, 6a, 6b) sont en matériau III/N et la formation de la ou des couches actives (6, 6a, 6b) est réalisée

par épitaxie sur une face de l'élément III du matériau de la couche de matériau au moins partiellement relaxé (5, 5a, 5b).

5

10

15

20

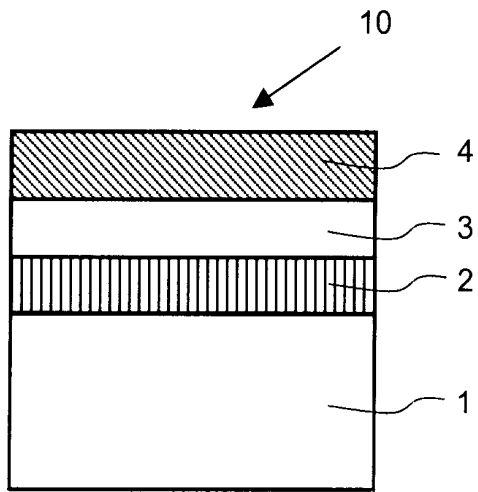


Figure 1

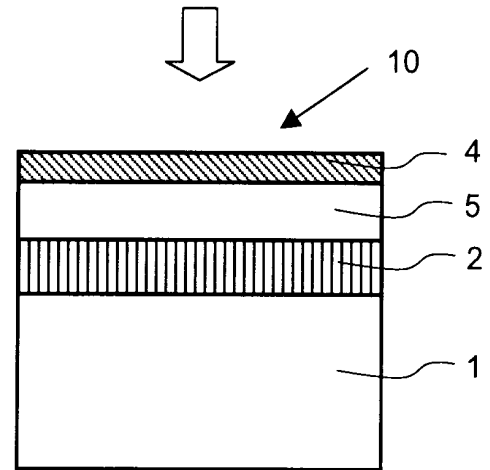


Figure 2

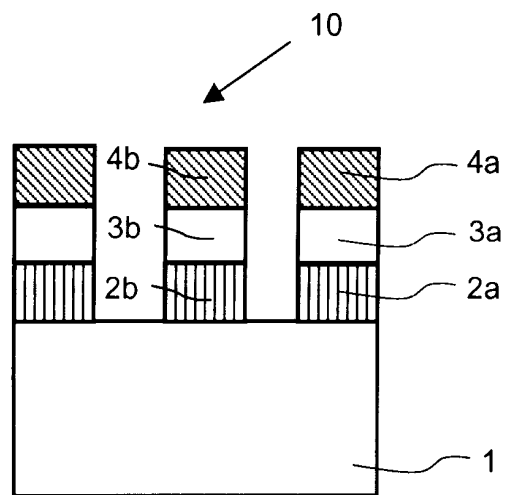


Figure 3

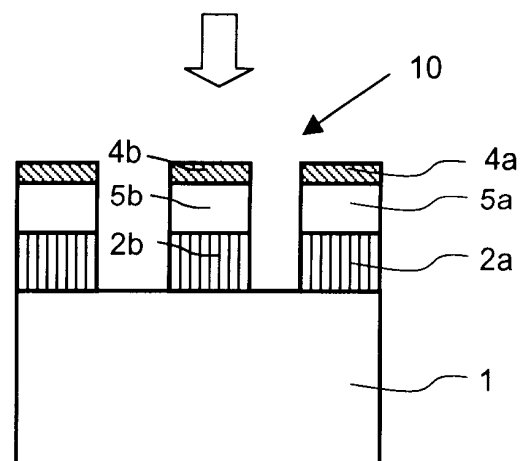


Figure 4

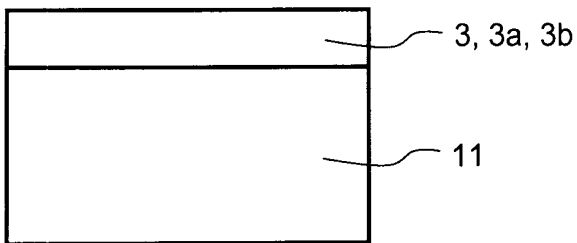


Figure 5

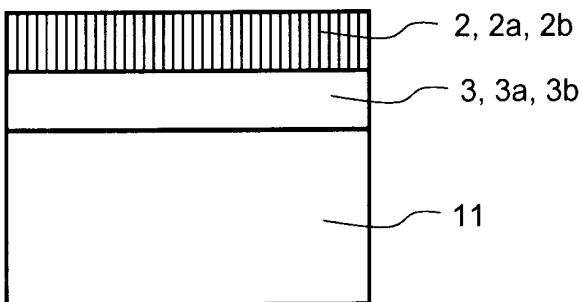


Figure 6

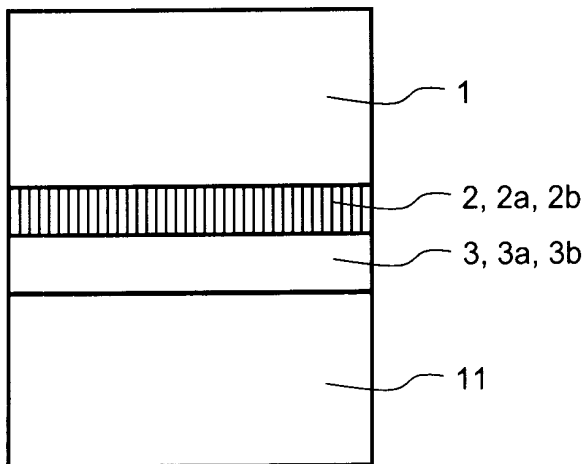


Figure 7

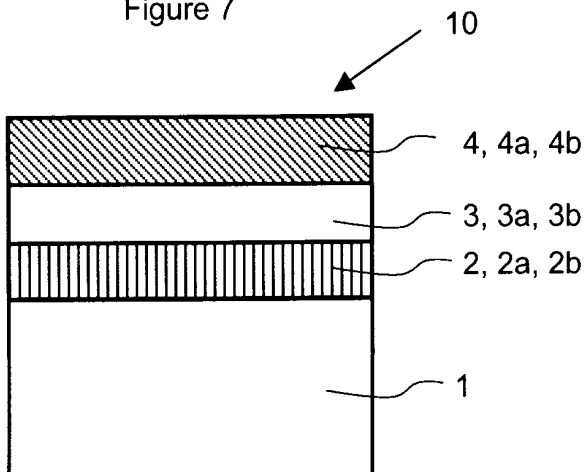


Figure 8

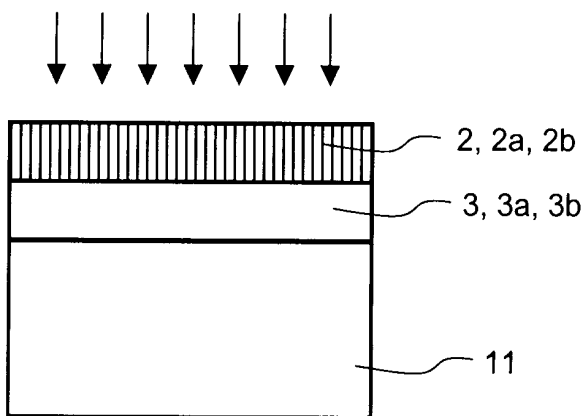


Figure 9

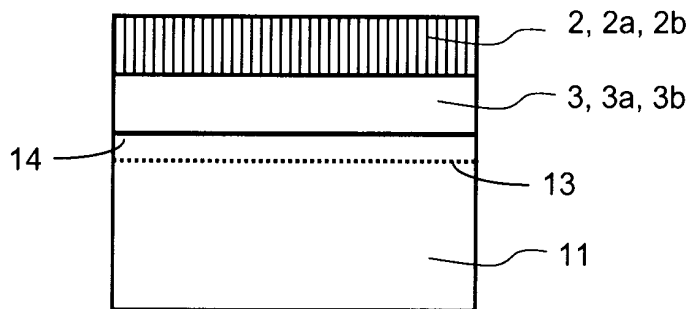


Figure 10

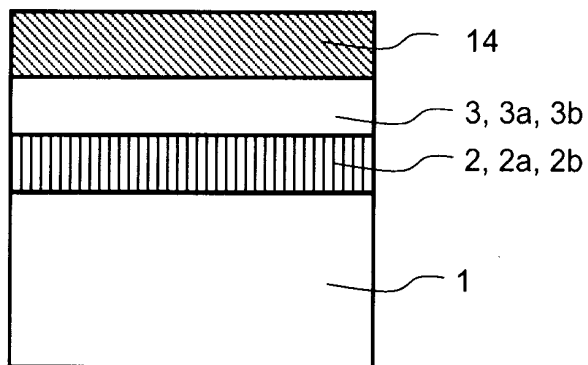


Figure 11

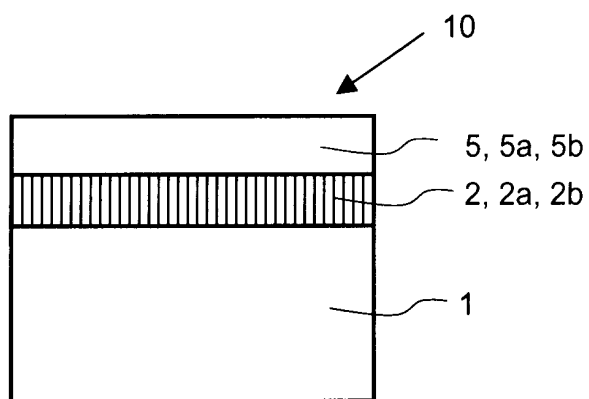


Figure 12

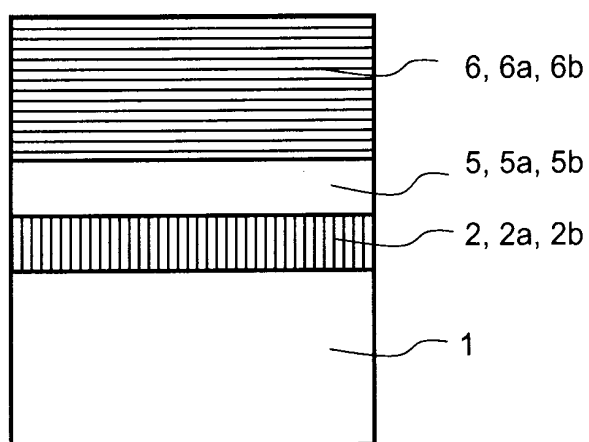


Figure 13

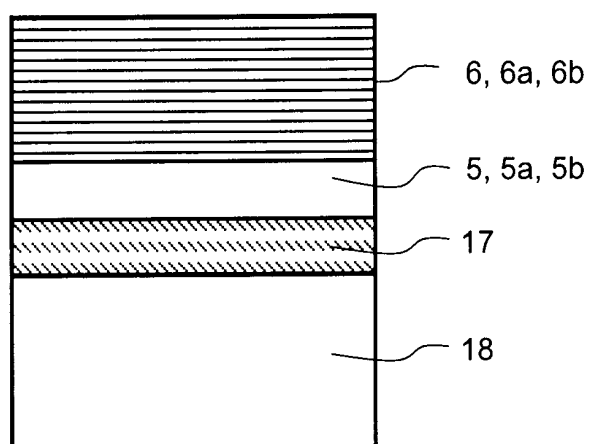


Figure 14

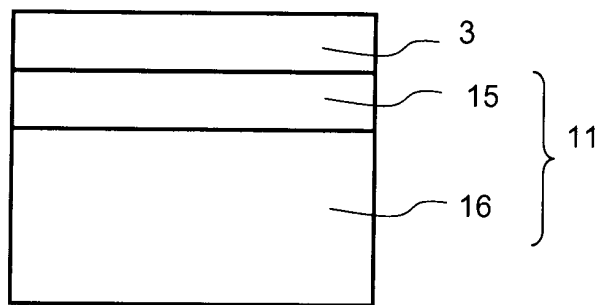


Figure 15

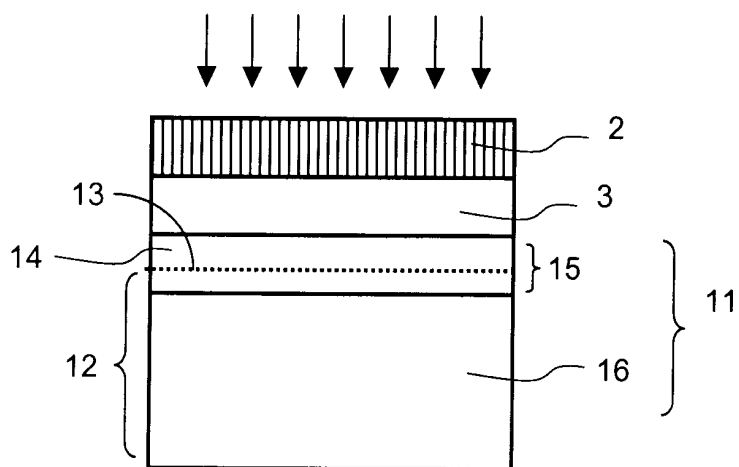


Figure 16

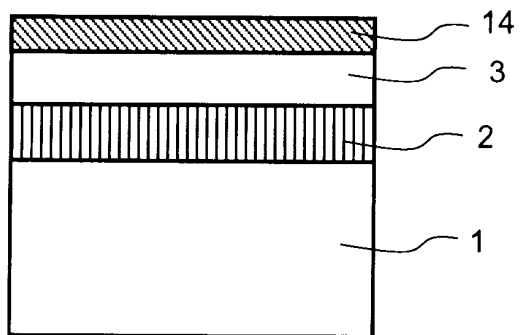


Figure 17

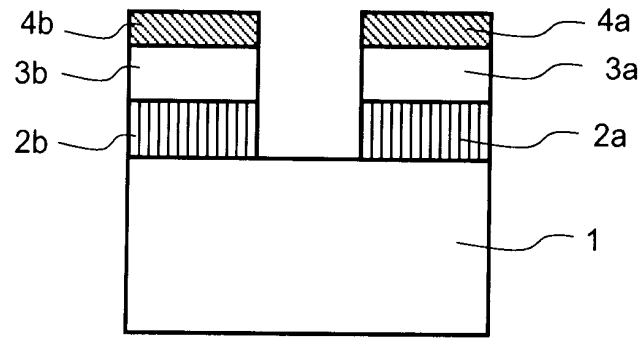


Figure 18

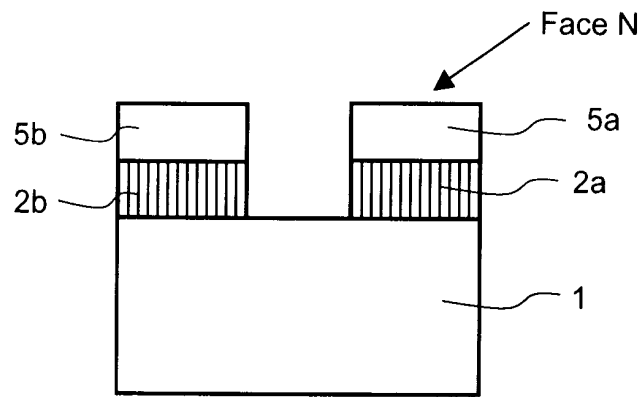


Figure 19

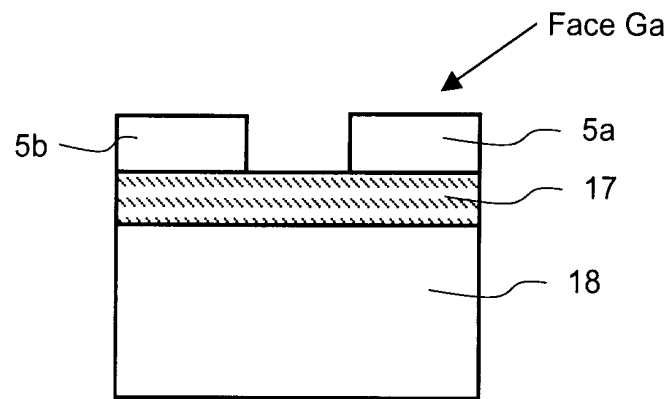


Figure 20



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 715027
FR 0805532

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
D,A	DATABASE INSPEC [Online] THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB; 15 novembre 2003 (2003-11-15), HAIZHOU YIN ET AL: "Buckling suppression of SiGe islands on compliant substrates" XP002528406 Database accession no. 7773160 * le document en entier * & Journal of Applied Physics AIP USA, vol. 94, no. 10, 15 novembre 2003 (2003-11-15), pages 6875-6882, ISSN: 0021-8979	1-23	H01L21/20 H01L21/762
A	US 2004/192067 A1 (GHYSELEN BRUNO [FR] ET AL) 30 septembre 2004 (2004-09-30) * le document en entier *	1-23	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01L
A	US 2004/195656 A1 (GHYSELEN BRUNO [FR] ET AL) 7 octobre 2004 (2004-10-07) * le document en entier *	1-23	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 mai 2009		Lyons, Christopher	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0805532 FA 715027**

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 **18-05-2009**

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 au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004192067 A1	30-09-2004	US 2005250294 A1	10-11-2005
US 2004195656 A1	07-10-2004	US 2006128117 A1	15-06-2006