

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 845 523

②1 N° d'enregistrement national : **02 12405**

⑤1 Int Cl⁷ : H 01 L 21/762, H 01 L 21/22

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.10.02.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 09.04.04 Bulletin 04/15.

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 et COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LETERTRE FABRICE, LEVAILLANT YVES MATHIEU et JALAGUIER ERIC.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 PROCÉDE POUR REALISER UN SUBSTRAT PAR TRANSFERT D'UNE PLAQUETTE DONNEUSE COMPORTANT DES ESPECES ETRANGERES, ET PLAQUETTE DONNEUSE ASSOCIEE.

⑤7 L'invention vise un procédé pour réaliser un substrat comportant une couche mince transférée d'une plaquette donneuse sur un support, ladite couche mince comportant des espèces étrangères destinées à modifier ses propriétés. Il comprend selon l'invention les étapes séquentielles suivant:

- implantation d'espèces atomiques dans une zone de la plaquette donneuse (20) sensiblement dépourvue des espèces étrangères (24), pour former une zone de fragilisation (22) au-dessous d'une face de collage, la zone de fragilisation et la face de collage délimitant une couche mince (23) à transférer,

- collage de la plaquette donneuse (20), au niveau de sa face de collage, sur un support (10),

- application de contraintes en vue d'effectuer une fracture dans la région de la zone de fragilisation (22) et d'obtenir un substrat comportant le support (10) et la couche mince (23),

et en outre une étape de diffusion des espèces étrangères (24) dans l'épaisseur de la couche mince (23) avant implantation ou après fracture.

Application notamment à la réalisation de substrats avec couche mince de InP rendue semi-isolante par diffusion de

FR 2 845 523 - A1



La présente invention concerne d'une façon générale les procédés de fabrication de substrats par empilement de couches minces de matériaux semi-conducteurs, préférentiellement applicable à des couches minces
5 monocristallines.

Le procédé connu sous la dénomination Smart-Cut®, basé sur l'implantation d'hydrogène et/ou autres gaz rares et l'adhésion moléculaire, permet d'amincir et d'assembler des films minces sur des supports. Plus
10 précisément, l'implantation d'espèces atomiques crée une fragilisation en profondeur dans la couche que l'on souhaite détacher d'une plaquette donneuse. Celle-ci est ensuite assemblée à un support ou raidisseur par adhésion moléculaire. Puis, on procède par traitement notamment
15 thermique ou mécanique au transfert de la couche implantée par fracture au niveau de la zone de fragilisation. L'épaisseur du film aminci varie selon les applications mais est en général de l'ordre de quelques centaines, voire dizaines, de nanomètres. La surface
20 obtenue peut ensuite être polie par procédé notamment chimique ou mécanico-chimique.

Un tel procédé permet de créer des hétéro-structures impossibles à obtenir par épitaxie. Il présente aussi l'avantage, lorsque les traitements thermiques de
25 fracture et/ou de renforcement de l'interface de collage, se font à température plus faible que durant une épitaxie, d'amoindrir les phénomènes d'inter-diffusion. D'un point de vue économique, ce procédé permet par ailleurs de recycler la couche restante après fracture,
30 appelée négatif.

Une application de ce procédé à l'échelle industrielle est celle du substrat silicium sur isolant

(SOI) composé d'une film mince de silicium monocristallin isolé électriquement d'un substrat massif. Généralement, le substrat massif est en silicium, et la couche isolante en silice sous forme amorphe.

5 Mais ce procédé peut convenir à une large gamme de matériaux, dans le choix de la couche implantée (SiC, GaAs, InP, LiNbO₃...), du support ou raidisseur (silicium mono- ou poly-cristallin, arséniure de gallium, phosphore d'indium polycristallin, quartz, etc.) ou encore d'une
10 éventuelle couche de collage (SiO₂, Si₃N₄, Pd, etc.).

Il est également possible d'utiliser ce procédé pour réaliser des « pseudo-substrats » destinés à recevoir, par épitaxie sur la couche mince transférée, une couche supplémentaire.

15 Ceci peut procurer plusieurs avantages :

- taille : certains substrats n'étant pas disponibles en taille industrielle standard, il est alors possible de mettre en œuvre un procédé de report d'une couche mince sur un support ou raidisseur de diamètre
20 supérieur. On peut en particulier envisager un report de film InP de 4 pouces de diamètre sur un support de 6 pouces de diamètre, de manière à rester compatible avec les chaînes de production de micro-électronique équipées en 6 pouces ;

- fragilité : la fragilité de certains substrats massifs, (par exemple en InP) peut occasionner le bris des substrats et des composants pendant la fabrication et la manipulation, et ceci au point d'augmenter
25 significativement les coûts de production. Le procédé de report de couche peut alors être avantageusement utilisé
30 si le raidisseur peut apporter une solidité à la

structure (par exemple couche mince en InP sur support en Si ou en GaAs).

• prix : le prix élevé de certains substrats peut justifier d'avoir recours à un procédé de report de
5 couche pour reporter une couche très fine (quelques dizaines de nanomètres) sur un substrat raidisseur de faible coût, et de renouveler l'opération après recyclage de la plaquette donneuse (négatif).

• effet « compliant » : ce terme d'origine anglo-
10 saxonne est représentatif d'une certaine adaptabilité notamment dimensionnelle de la couche mince. A cet égard, il est connu que l'épitaxie requiert une bonne adaptation des paramètres de maille et des coefficients de dilatation thermique de l'ensemble du substrat par
15 rapport à la couche épitaxiée. A titre d'exemple, sur substrat GaAs massif, le désaccord de maille maximum ne doit pas excéder environ 1%, sauf à créer des défauts d'empilement dans la couche épitaxiée. On a certes
20 développé récemment des techniques autorisant des désaccords supérieurs entre les paramètres de maille, en proposant une structure multicouche présentant une couche germe d'épitaxie suffisamment fine pour pouvoir s'adapter par déformation aux caractéristiques du matériau épitaxié.

25 On observera en outre que l'InP en tant que substrat pour l'industrie microélectronique présente un intérêt croissant. Grâce à ses propriétés intrinsèques le matériau InP et ses alliages (InGaAs, AlInAs, InGaP, InGaAsP, InGaAsN, etc...) pouvant être épitaxiés en accord
30 de maille sur celui-ci permettent en particulier de réaliser des transistors présentant des fréquences de coupure et de transition excellentes. Ainsi la

technologie InP est la plus favorable pour équiper les réseaux de transmission optique à très haut débit.

En optoélectronique, les émetteurs et récepteurs réalisés en technologie InP peuvent fonctionner dans les échelles de longueur d'onde utilisées dans les télécommunications optiques.

La combinaison de ces caractéristiques fait de ce groupe de matériaux le seul permettant aujourd'hui une intégration complète des fonctions photoniques et des fonctions électroniques associées de commande et d'amplification dans le domaine de l'optoélectronique.

Enfin dans le domaine de l'amplification micro-ondes, les fortes puissances ou les faibles niveaux de bruit développés par les transistors à effet de champ de type HEMT (acronyme anglo-saxon standard pour High Energy Mobility Transistor) en technologie InP contribuent également au grand succès de celle-ci.

Les substrats InP et apparentés disponibles aujourd'hui sont des substrats massifs obtenus par technique d'élaboration de lingots. On recense deux techniques principales de croissance par tirage : la technique de type Czochralski à encapsulation liquide (LEC, acronyme anglo-saxon pour « Liquid Encapsuled Czochralski ») et celle de type « Vertical Gradient Freezing » (VGF) selon l'expression anglo-saxonne, ainsi que de nombreuses variantes et sophistications.

Toutefois, l'obtention de cristaux InP de grande taille et de bonne qualité présente des difficultés liées aux propriétés de cristallisation du matériau. Ainsi la faible énergie de création des macles et des fautes d'empilement facilite l'apparition de défauts dans la

structure cristalline formée, et la densité de ces défauts augmente avec la taille des lingots.

On sait également incorporer certaines impuretés dans le mélange en fusion, soit en vue d'un dopage de type N ou P, soit pour rendre le matériau semi-isolant, ceci s'effectuant par compensation préférentiellement avec du fer.

A partir de ces lingots, les substrats sont découpés selon la direction cristallographique désirée, généralement (100) ou (111). Puis, par polissage mécano-chimique, on obtient un substrat final, prêt à recevoir une épitaxie de façon connue en soi.

Cependant, la croissance par tirage de InP compensé au fer se heurte à une propriété physique qui est le coefficient de ségrégation extrêmement faible du fer dans InP [$K(\text{Fe})=10^{-3}$]. Ceci crée une incorporation de fer exagérée en proximité du germe en début de croissance, suivie d'un appauvrissement en fer du mélange fondu. Le gradient de concentration en fer de la tête à la queue du lingot conduit à une variation de concentration en fer qui peut atteindre un ordre de grandeur (exemple de répartition de concentration : de $10^{16}.\text{cm}^{-3}$ à $10^{17}.\text{cm}^{-3}$ d'une extrémité à l'autre de l'axe du lingot. Ainsi la compensation du substrat, et donc sa résistivité, va sensiblement varier selon sa position d'origine dans le lingot.

Pour s'affranchir de ce phénomène, il est certes possible de procéder à la compensation des substrats massifs a posteriori. On citera ici une technique d'incorporation de fer par implantation ionique, dont il s'avère toutefois qu'elle endommagerait le matériau InP de manière irréversible.

On sait donc procéder à la compensation de l'InP grâce à une technique de diffusion. On utilise généralement la technique de diffusion en tube de quartz scellé, à haute température (environ 900°C), sous
5 pression de vapeur (quelques atmosphères) d'un composé riche en fer et en phosphore. La présence de phosphore prévient une désorption du phosphore composant l'InP à la surface du substrat.

Mais l'épaisseur des substrats massifs imposent des
10 temps de diffusion extrêmement longs (typiquement au moins 80 h pour un substrat de 600 micromètres), et cette technique est donc difficilement compatible avec un processus industriel en grande série sur des substrats massifs.

15 Pour les considérations précitées de taille, de fragilité ou de prix du substrat, ou encore pour conférer au substrat un caractère « compliant » pour l'épitaxie, l'homme du métier pourrait souhaiter recourir à une technique de type Smart-Cut® pour reporter une couche
20 mince d'InP sur un support. Cette technique a été mise en œuvre sur des couches InP non intentionnellement dopées, ou dopées avec les dopants usuels (S, Sn et Zn), ou encore compensées par la présence de fer (voir notamment l'article de E. Jalaguier et coll. dans Proc. 11th Int.
25 Conf. InP and Related Materials, pp. 26-7 (1999).

Toutefois, dans le cas du matériau InP semi-isolant, compensé par le fer ou autre matériau de compensation, on observe des interactions indésirables entre les espèces
30 implantées (typiquement l'hydrogène) et les complexes présents au sein du matériau et impliquant les atomes de fer.

Plus précisément, alors que des études ont montré le rôle favorable de la présence de dopants ou d'impuretés dans le matériau sur la cinétique de coalescence des espèces implantées avant fracture, la Demanderesse a
5 découvert que la présence de fer agissait différemment, probablement en modifiant la cinétique de migration de l'hydrogène au cours de l'implantation, puis du recuit. Il en résulte, d'une part que le choix des conditions d'implantation (dose, énergie, température) et de recuit
10 (durée, température) devient nettement plus délicat. D'autre part, la rugosité de la face libre de la couche mince reportée après fracture est augmentée, d'où un travail accru de polissage et une perte de matière qui nuisent à l'efficacité industrielle et économique du
15 procédé.

La présente invention vise à remédier à cet inconvénient.

Elle propose à cet effet, selon un premier aspect, un procédé pour réaliser un substrat comportant une
20 couche mince cristalline transférée d'une plaquette donneuse sur un support, ladite couche mince comportant une ou plusieurs espèces étrangères destinées à modifier ses propriétés, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes séquentielles suivant :

25 - implantation d'espèces atomiques dans une zone de la plaquette donneuse sensiblement dépourvue des espèces étrangères, pour former une zone de fragilisation au-dessous d'une face de collage, la zone de fragilisation et la face de collage délimitant une couche mince à
30 transférer,

- collage de la plaquette donneuse, au niveau de sa face de collage, sur un support,

- application de contraintes en vue d'effectuer une fracture dans la région de la zone de fragilisation et d'obtenir un substrat comportant le support et la couche mince,

5 et en ce qu'il comprend en outre une étape de diffusion des espèces étrangères dans l'épaisseur de la couche mince avant implantation ou après fracture, apte à modifier les propriétés notamment électriques ou optiques de la couche mince.

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

- l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée après fracture.

15 - l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée avant implantation.

- l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée jusqu'à une profondeur inférieure à la profondeur d'implantation.

20 - le procédé comprend, après fracture, une étape d'amincissement apte à éliminer la partie de la couche mince transférée dépourvue des espèces étrangères.

- le procédé comprend en outre, avant collage, une étape de réalisation d'une couche d'adhésion sur la plaquette donneuse et/ou sur le support.

25 - la couche d'adhésion forme un isolant enterré dans le substrat final.

- le matériau de la plaquette donneuse est un composé semi-conducteur III-V.

30 - les espèces étrangères comprennent une espèce apte à rendre le composé semi-isolant par diffusion.

- le composé est le phosphore d'indium.

- la ou les espèces étrangères sont choisies dans le groupe comprenant le fer et le rhodium.

- les espèces étrangères comprennent une combinaison d'un accepteur peu profond tel que le mercure ou le cadmium et d'un donneur peu profond tel que le titane ou le chrome.

- les espèces implantées comprennent au moins une espèce parmi les ions hydrogène et les ions de gaz rares.

- le matériau du support est choisi mécaniquement plus résistant que le matériau de la couche mince.

- le procédé comprend une étape ultérieure de croissance épitaxiale sur la couche mince du substrat.

- le matériau d'épithaxie présente un désaccord de maille avec le matériau de la couche mince.

L'invention propose également selon un deuxième aspect une plaquette donneuse comportant au moins une couche d'un matériau cristallin pour la mise en œuvre d'un procédé de report de couches minces de matériau semi-conducteur d'une épaisseur prédéterminée prélevées dans cette plaquette vers un support pour la fabrication de substrats pour la microélectronique, l'optoélectronique ou l'optique, caractérisée en ce qu'elle comprend, du côté du prélèvement et sur une profondeur inférieure à ladite épaisseur prédéterminée, au moins une espèce étrangère (24) diffusée apte à modifier les propriétés du matériau de la plaquette donneuse.

Des aspects préférés mais non limitatifs de cette plaquette sont les suivants :

- le matériau de la plaquette est un semi-conducteur composé III-V, et ladite espèce étrangère est apte à rendre le matériau de la plaquette semi-isolant.

- le semi-conducteur composé III-V est le phosphore d'indium.

- la ou les espèces étrangères sont choisies dans le groupe comprenant le fer et le rhodium.

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

Les figures 1A à 1E illustrent différentes étapes d'un procédé selon une première forme de réalisation de l'invention, et

15 Les figures 2A à 2F illustrent différentes étapes d'un procédé selon une deuxième forme de réalisation de l'invention.

On va maintenant décrire en détail les étapes d'un premier procédé selon l'invention dans l'exemple d'une couche mince issue d'une plaquette donneuse 20 en InP, reportée sur support ou raidisseur 10 en silicium.
20

En premier lieu, les faces à coller du support 10 et de la plaquette donneuse 20 sont pourvues d'une couche d'adhésion (typiquement oxyde ou nitrure), respectivement 11, 21, qui permet de former une surface hydrophile pour
25 l'adhésion moléculaire (Figure 1A).

A cet effet, la plaquette donneuse 20 et le support 10 subissent tout d'abord une attaque chimique à base d'acide fluorhydrique afin d'enlever la couche d'oxyde naturelle. Le support 10 est oxydé par oxydation
30 thermique. Cette technique, valable en particulier pour le silicium, n'est toutefois pas envisageable pour le matériau InP, et l'on recourt donc ici à un dépôt en

phase vapeur en source plasma. L'épaisseur des couches d'adhésion 11, 21 avoisine généralement quelques centaines de nanomètres.

Une implantation d'espèces atomiques est alors
5 réalisée dans la plaquette donneuse 20, au niveau de sa face pourvue de la couche d'adhésion 21, pour former une zone générale plane de fragilisation 22 et délimiter entre elle et la couche 21 une couche mince à reporter 23 (Figure 1B).

10 Par « implantation d'espèces atomiques » on entend dans le présent mémoire toute introduction par bombardement d'atomes ou de molécules, groupés ou non, ionisés ou non. Cette implantation peut être réalisée grâce à un implanteur par faisceau d'ions, un implanteur
15 par immersion dans un plasma, etc. Différents types d'espèces peuvent être implantés, par exemple des ions de gaz rares (par exemple H^+ , H_2^+ , He^+). Il est aussi possible de réaliser une co-implantation avec un élément tel que le bore.

20 Préférentiellement, l'implantation ionique dans la plaquette 20 s'effectue après avoir élevé ladite plaquette en température. La gamme de températures utilisée diffère selon les matériaux. Dans le cas d'InP, la température est préférentiellement comprise entre 150
25 et 250°C. La dose utilisée pour l'implantation d'ions hydrogène dans ce matériau est préférentiellement comprise entre 10^{16} et 5.10^{17} H+/cm².

L'étape suivante est un collage par adhésion moléculaire de la plaquette donneuse implantée et du
30 support, au niveau des couches d'adhésion 21, 11 (Figure 1C). Ce collage requiert des surfaces planes et lisses. Les surfaces sont polies grâce aux techniques classiques

de polissage mécano-chimique. Dans le cas présent d'une adhésion de type hydrophile, il est en outre préférable de favoriser la concentration de surface en molécules à terminaison OH permettant l'adhésion. A cet effet, on
5 peut immerger la plaquette donneuse et le support dans une solution RCA ou SC1 ($H_2O:H_2O_2:NH_4OH = 5:1:0.2-1$). On procède ensuite au séchage à une température inférieure à $90^\circ C$. La plaquette donneuse et le support sont alors
10 assemblés à température ambiante sous faible pression, cet assemblage subissant alors un recuit typiquement entre 250 et $400^\circ C$. Ce recuit a pour fonctions d'une part de renforcer l'adhésion à l'interface de collage, et d'autre part de faire apparaître des micro-fissures qui, en coalesçant, permettent d'aboutir à une fracture du
15 film InP selon le plan de fragilisation créé par la zone implantée (Figure 1D). Sur cette figure, on a désigné en 30 la couche isolante globalement formée par les couches d'adhésion initiales 21, 11.

Préférentiellement, on procède ensuite à un
20 amincissement de la surface de la couche mince maintenant exposée, destiné à se débarrasser de la zone superficielle implantée, riche en atomes hydrogène. Différentes techniques peuvent être utilisées : gravure sèche humide et/ou polissage mécano-chimique. Une
25 technique d'amincissement par gravure sèche qui peut s'avérer particulièrement adaptée est la technique d'amincissement et lissage par pulvérisation.

Pour obtenir à partir de la couche mince d'InP 23
une couche semi-isolante 25 par diffusion dans celle-ci
30 de fer 24 (Figure 1E), la structure assemblée est alors placée sous tube de quartz scellé, à haute température (environ $900^\circ C$), dans un mélange gazeux composé de fer et

de phosphore (FeP_2). La pression typique est de quelques atmosphères. La durée de la diffusion, essentiellement proportionnelle à l'épaisseur de la couche InP à diffuser, est estimée à une dizaine de minutes pour une épaisseur de l'ordre du micromètre. Le gaz FeP_2 est obtenu de préférence à partir de poudre de haute pureté de fer et de phosphore rouge en rapport molaire 1:2.

L'exposition à la haute température utilisée pendant cette diffusion a également une fonction de recuit, qui permet de conférer au matériau InP un caractère semi-isolant à une concentration de fer nettement plus faible que dans le cas d'un matériau non recuit (typiquement à partir de 10^{15} atomes/cm² au lieu de 10^{17} atomes/cm², de façon connue en soi et comme décrit par R. Fornari et coll. dans « Conductivity Conversion of Lightly Fe-doped InP Induced by Thermal Annealing : A Method for Semi-insulating Material Production », J. Appl. Phys. 81(11) 1997, pp. 7604-11).

On pense que cet effet provient d'une importante diminution de donneurs peu profonds (concentration d'environ $4 \cdot 10^{15}$ atomes.cm⁻³).

La réduction de la concentration nécessaire en fer permet dans ce cas une très haute mobilité des électrons libres résiduels. En outre, ce traitement de recuit permet une stabilité thermique qui améliore l'aptitude du substrat à une implantation pour la fabrication de dispositifs.

Ainsi, grâce au fait que les espèces atomiques implantées dans le matériau de la couche donneuse en InP le sont alors que ce matériau est encore dépourvu de fer, on peut réaliser des phases d'implantation, coalescence

et fracture dans de bonnes conditions, sans la perturbation décrite plus haut occasionnée par le fer.

Selon une variante de réalisation, on peut réaliser la diffusion du fer à partir d'une source de diffusion constituée par un film mince solide, riche en fer, rapportée sur la face libre de la couche mince 23 transférée. L'ensemble est exposé à un traitement thermique favorisant la diffusion. Ce procédé permet de protéger la surface de la couche mince en prévenant toute désorption du phosphore.

Le traitement de surface final de la structure comportant le support 10, la couche intermédiaire isolante 30 et la couche mince 25 s'effectue de préférence par pulvérisation par projection d'atomes neutres (argon) en amas afin d'obtenir un premier aplanissement et lissage de la surface par polissage mécanique et/ou mécano-chimique. La valeur de la rugosité finale, mesurée en écart-type, est de l'ordre de quelques Angströms.

Le substrat peut être soit livré tel quel à destination de l'industrie du composant, pour recevoir une épitaxie au-dessus de la couche mince 25, formant alors germe de croissance, soit pourvu à la suite des étapes ci-dessus d'une couche épitaxiée.

La préparation nécessaire à l'épitaxie peut inclure une étape de stabilisation de l'oxyde de surface ainsi que l'utilisation de tensioactifs afin de donner à la surface un caractère hydrophile.

On va maintenant décrire en référence aux figures 2A à 2F une autre forme de réalisation de l'invention.

Selon celle-ci, on peut commencer par diffuser le fer sur la plaquette donneuse 20 (Figure 2A), mais dans

une couche 25 de faible profondeur. Plus précisément, cette profondeur est choisie inférieure à la profondeur à laquelle les atomes seront subséquemment implantés pour former la zone de fragilisation 22 (Figure 2C). La figure 2B illustre quant à elle la réalisation intermédiaire de la couche d'adhésion 21.

La figure 2D illustre l'étape de collage.

La migration des espèces implantées permet d'aboutir à la fracture, par rapport à la plaquette donneuse 20, d'une couche mince 23 comprenant la couche 25 ayant reçu la diffusion de fer et une couche 26 dans laquelle le fer est sensiblement absent (figure 2E). Puisque cette migration s'effectue dans une zone où les atomes de fer sont absents, ou en tout cas suffisamment rares pour ne pas perturber cette migration et la coalescence qui en résulte, la fracture peut s'effectuer dans de bonnes conditions.

Cette deuxième forme de réalisation est avantageuse en ce qu'elle évite le recuit à haute température nécessaire pour la diffusion du fer d'une structure multi-couches. En effet, les différences entre les coefficients de dilatation thermique sont susceptibles de générer des contraintes très importantes. Ainsi, en exposant le substrat massif (non composite) à une température élevée pour la diffusion, la dilatation du substrat n'implique pas de contraintes de cisaillement.

On obtient ainsi, avant traitement de surface, la structure illustrée sur la figure 2E des dessins, avec une zone 26 de la couche mince sensiblement dépourvue de fer, et une zone 25 contenant du fer diffusé, adjacente à la zone isolante enterrée 30.

La profondeur de la zone implantée 22 par rapport à l'épaisseur de la zone 25 est choisie de telle sorte qu'un amincissement ultérieur permette d'éliminer entièrement la zone 26, et le cas échéant une petite fraction de la zone 25, pour obtenir au final une couche mince 25 compensée en fer de manière homogène dans toute son épaisseur.

De nombreuses autres variantes peuvent être apportées à l'invention.

Pour ce qui concerne le matériau diffusé, il peut s'agir de toute matériau incorporé à une couche mince, avant ou après transfert, notamment pour modifier des propriétés physiques, chimiques ou électriques de celle-ci, et qui contrarie d'une manière ou d'une autre la migration des espèces implantées lors de l'étape d'implantation.

A cet égard, bien que le fer soit actuellement le seul élément utilisé industriellement pour rendre InP semi-isolant, des éléments de compensation à diffusivité plus basse que celle du fer - pour ainsi limiter la contamination d'autres parties de la structure par le fer et le risque de déplétion en fer.

Ainsi, et de façon connue en soi et comme indiqué dans l'article de A. Näser et coll. « Thermal Stability of the Mid-gap Acceptor Rhodium in Indium Phosphide », Appl. Phys. Lett., 67, 479-481 (1995), le rhodium est un accepteur profond dans InP (double énergie d'activation de 620 et 710 meV) très stable thermiquement face à la diffusion dans InP. Si cet élément peut s'avérer problématique à utiliser pour des substrats InP massifs, car il ne permet pas de compenser tout leur volume, il devient praticable avec une couche d'InP de

faible épaisseur transférée selon la présente invention. Typiquement, d'après l'étude de A. Näser et coll. susmentionnée, la dose de rhodium sera d'environ 1.10^{17} atomes.cm⁻³ à une profondeur de 250 nm).

5 La compensation de InP peut aussi être obtenue grâce à une combinaison d'éléments, et par exemple à un accepteur peu profond tel que Hg ou Cd combiné à un donneur profond tel que Ti ou Cr. On obtient ainsi des résistivités de 10^4 à 10^5 O.cm. Le mercure et le titane
10 ont l'avantage de présenter une diffusivité beaucoup plus faible que de celle du fer, pour ainsi limiter la contamination des parties voisines de la structure obtenue.

En conclusion, la présente invention permet
15 d'obtenir une structure telle que :

- film mince de InP avec Fe diffusé ;
- éventuelle couche de collage amorphe (SiO₂, Si₃N₄, etc.) ;
- support, par exemple Si monocristallin,
20 polycristallin...)

par un procédé de report du film mince, sans perturbation par le fer.

Plus précisément, en choisissant l'InP non dopé, on facilite le report du film mince InP par le procédé de
25 report de couches tel que Smart-Cut®.

En outre, la diffusion en source gazeuse de InP par le fer, parce qu'elle est effectuée à très haute température (supérieure ou égale à environ 900°C), donne des résultats d'homogénéité dans la répartition du fer,
30 en efficacité de la compensation (rapport résistivité/concentration en fer amélioré) et conséquemment en mobilité des électrons libres résiduels.

Cette diffusion étant effectuée dans un film mince de très faible épaisseur (typiquement $< 1 \mu\text{m}$), sa durée est typiquement de quelques minutes, soit environ deux ordres de grandeur plus courte qu'une diffusion dans un substrat
5 massif, prohibitive en temps, et devient compatible avec une mise en œuvre industrielle.

En termes de taille, le diamètre maximal des plaquettes d'InP étant aujourd'hui de 100 mm, on peut les reporter sur un support de plus grand diamètre, pour
10 pouvoir ainsi utiliser ultérieurement ces pseudo-substrats dans des lignes de fabrication standardisées à des tailles supérieures. Par exemple, il devient possible d'utiliser certains équipements de la technologie GaAs (taille standard des substrats : 150 mm) avec de tels
15 pseudo-substrats.

De surcroît, par rapport à un substrat massif, le support par exemple en Si, de la structure procure une solidité accrue. Cet avantage se traduit par une diminution des pertes pendant le transport, la
20 manipulation et la fabrication des composants et circuits.

Enfin, selon la couche de transition utilisée, l'invention permet de donner au pseudo-substrat un caractère « compliant » en épitaxie, grâce à la très
25 faible épaisseur de la couche d'InP. Ceci signifie qu'une épitaxie d'un matériau en désaccord de maille de 1% voire davantage, et/ou dont le coefficient de dilatation thermique diffère de celui d'InP, peut être facilitée.

Bien entendu, la présente invention s'applique à
30 tous matériaux susceptibles de contenir des éléments étrangers perturbant la coalescence des espèces implantées nécessaire à la bonne mise en œuvre d'un

procédé de report de couches tel que Smart-Cut®. Elle n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites et représentées, mais l'homme du métier saura y apporter de nombreuses variantes et modifications.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour réaliser un substrat comportant une couche mince cristalline transférée d'une plaquette
5 donneuse sur un support, ladite couche mince comportant une ou plusieurs espèces étrangères destinées à modifier ses propriétés, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes séquentielles suivant :
- implantation d'espèces atomiques dans une zone de
10 la plaquette donneuse (20) sensiblement dépourvue des espèces étrangères (24), pour former une zone de fragilisation (22) au-dessous d'une face de collage, la zone de fragilisation et la face de collage délimitant une couche mince (23) à transférer,
 - 15 - collage de la plaquette donneuse (20), au niveau de sa face de collage, sur un support (10),
 - application de contraintes en vue d'effectuer une fracture dans la région de la zone de fragilisation (22) et d'obtenir un substrat comportant le support (10) et la
20 couche mince (23),
- et en ce qu'il comprend en outre une étape de diffusion des espèces étrangères (24) dans l'épaisseur de la couche mince (23) avant implantation ou après fracture, apte à modifier les propriétés notamment
25 électriques ou optiques de la couche mince.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée après fracture.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée avant implantation.
- 5 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape de diffusion des espèces étrangères est effectuée jusqu'à une profondeur inférieure à la profondeur d'implantation.
- 10 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend, après fracture, une étape d'amincissement apte à éliminer la partie de la couche mince transférée dépourvue des espèces étrangères.
- 15 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, avant collage, une étape de réalisation d'une couche d'adhésion sur la plaquette donneuse et/ou sur le support.
- 20 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la couche d'adhésion forme un isolant enterré dans le substrat final.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, 25 caractérisé en ce que le matériau de la plaquette donneuse est un composé semi-conducteur III-V.
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que les espèces étrangères comprennent une espèce apte à 30 rendre le composé semi-isolant par diffusion.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le composé est le phosphure d'indium.
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que la ou les espèces étrangères sont choisies dans le groupe comprenant le fer et le rhodium.
12. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que les espèces étrangères comprennent une combinaison d'un accepteur peu profond tel que le mercure ou le cadmium et d'un donneur peu profond tel que le titane ou le chrome.
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les espèces implantées comprennent au moins une espèce parmi les ions hydrogène et les ions de gaz rares.
14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que le matériau du support est choisi mécaniquement plus résistant que le matériau de la couche mince.
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend une étape ultérieure de croissance épitaxiale sur la couche mince du substrat.
16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le matériau d'épitaxie présente un désaccord de maille avec le matériau de la couche mince.

17. Plaquette donneuse (20) comportant au moins une couche d'un matériau cristallin pour la mise en œuvre d'un procédé de report de couches minces de matériau semi-conducteur d'une épaisseur prédéterminée prélevées
5 dans cette plaquette vers un support pour la fabrication de substrats pour la microélectronique, l'optoélectronique ou l'optique, caractérisée en ce qu'elle comprend, du côté du prélèvement et sur une profondeur (25) inférieure à ladite épaisseur
10 prédéterminée, au moins une espèce étrangère (24) diffusée apte à modifier les propriétés du matériau de la plaquette donneuse.

18. Plaquette selon la revendication 17, caractérisée en
15 ce que le matériau de la plaquette est un semi-conducteur composé III-V, et en ce que ladite espèce étrangère est apte à rendre le matériau de la plaquette semi-isolant.

19. Plaquette selon la revendication 18, caractérisée en
20 ce que le semi-conducteur composé III-V est le phosphore d'indium.

20. Plaquette selon la revendication 19, caractérisée en
25 ce que la ou les espèces étrangères sont choisies dans le groupe comprenant le fer et le rhodium.

FIG.1A

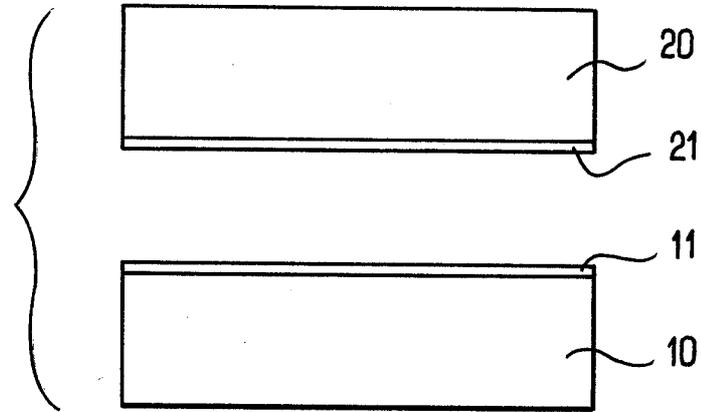


FIG.1B

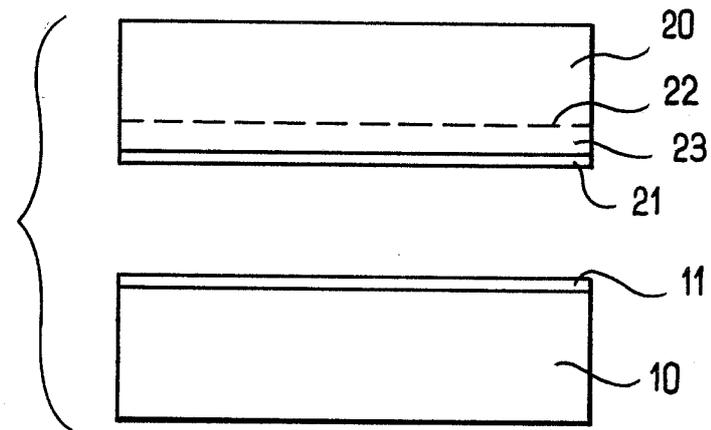
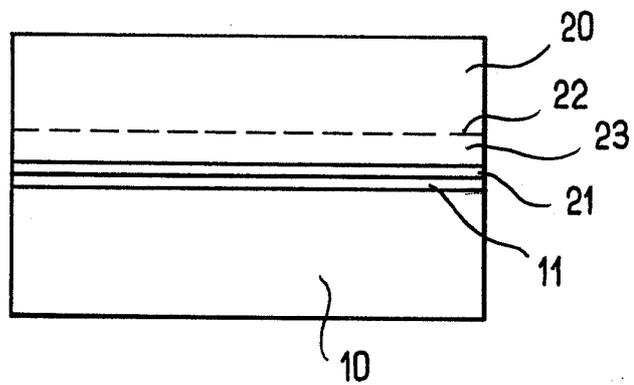


FIG.1C



214

FIG. 1D

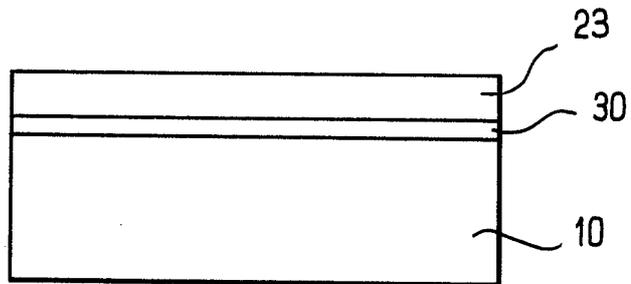
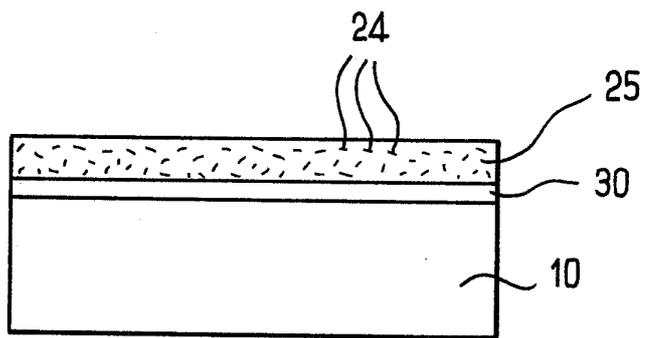
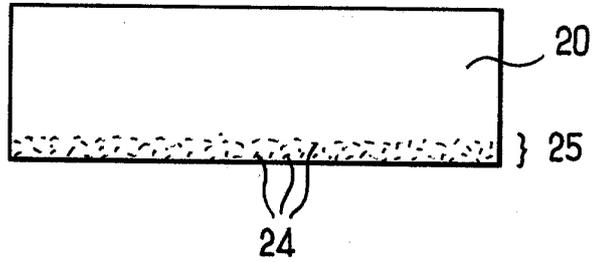
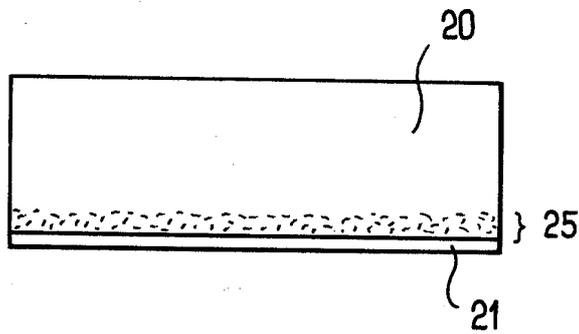
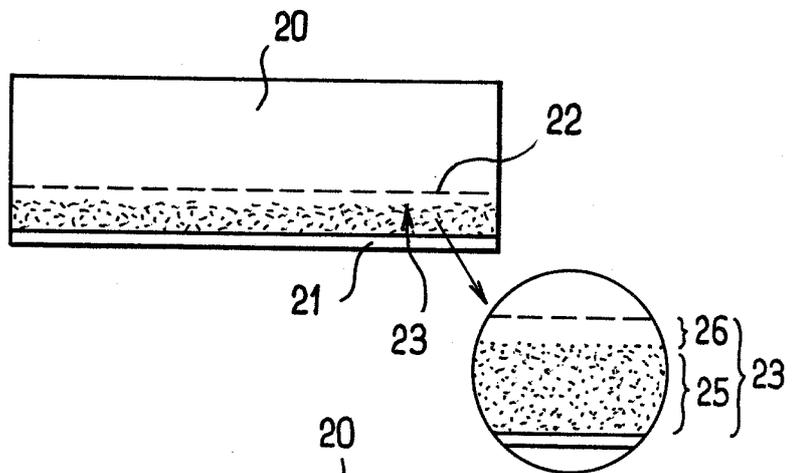
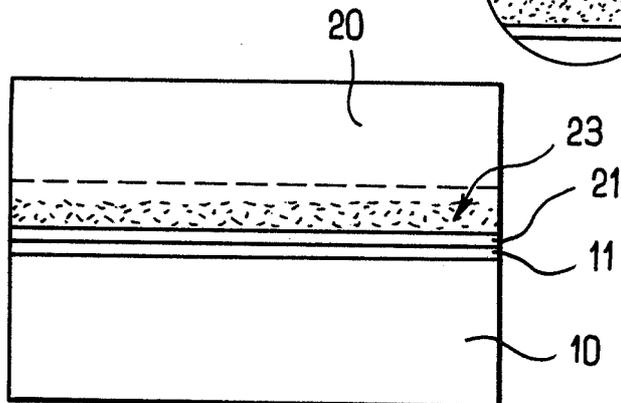


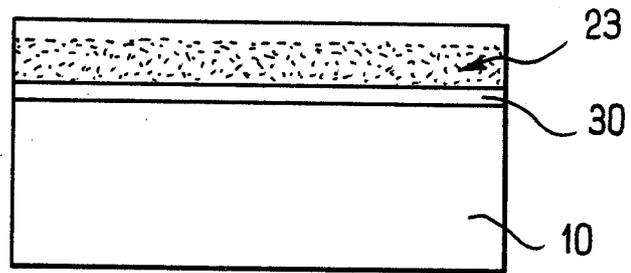
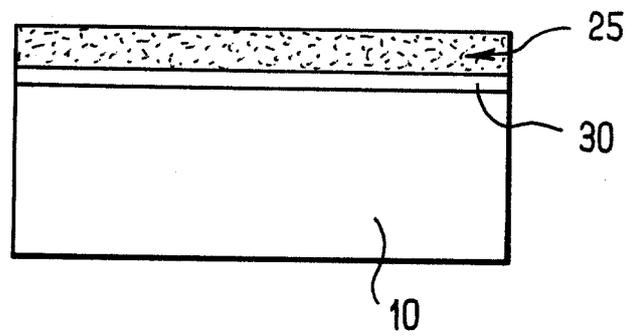
FIG. 1E



3 / 4

FIG. 2AFIG. 2BFIG. 2CFIG. 2D

4 / 4

FIG. 2EFIG. 2F



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 628559
FR 0212405

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,Y	JALAGUIER E ET AL: "TRANSFER OF THIN INP FILMS ONTO SILICON SUBSTRATE BY PROTON IMPLANTATION PROCESS" 1999 11TH. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDIUM PHOSPHIDE AND RELATED MATERIALS. CONFERENCE PROCEEDINGS. IPRM DAVOS, MAY 16 - 20, 1999, INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDIUM PHOSPHIDE AND RELATED MATERIALS, NEW YORK, NY: IEEE, US, vol. CONF. 11, 16 mai 1999 (1999-05-16), pages 26-27, XP000931496 ISBN: 0-7803-5563-6 * le document en entier * ---	1-3,6-16	H01L21/762 H01L21/22
Y	FORNARI R ET AL: "Homogeneity of thermally annealed Fe-doped InP wafers" MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 44, no. 1-3, 1 février 1997 (1997-02-01), pages 233-237, XP004084155 ISSN: 0921-5107 * "1. Introduction" et "4. Conclusions" * ---	1-3,6-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.7) H01L
X	WO 02 37556 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE ;ASPAR BERNARD (FR); JALAGUIER ERIC) 10 mai 2002 (2002-05-10) * page 25, ligne 29 - page 26, ligne 13 * * page 15, ligne 30 - page 17, ligne 9 * ---	1,2,5-16	
D,A	NÄSER ET AL.: "Thermal stability of midgap acceptor rhodium in indium phosphide" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 67, no. 4, 24 juillet 1995 (1995-07-24), pages 479-481, XP001153114 * title * -----	11,20	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 juin 2003		Wolff, G	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0212405 FA 628559**

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 **12-06-2003**
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
WO 0237556 A	10-05-2002	FR 2816445 A1	10-05-2002
		AU 2373502 A	15-05-2002
		WO 0237556 A1	10-05-2002
