(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
12 mai 2005 (12.05.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/043615 A1

(51) Classification internationale des brevets[7] :
H01L 21/762

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2004/002779

(22) Date de dépôt international :
28 octobre 2004 (28.10.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0312621 28 octobre 2003 (28.10.2003) FR

(71) Déposants *(pour tous les États désignés sauf US)* : **S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES** [FR/FR]; Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, F-38190 Bernin (FR). **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris Cedex 15 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **NGUYEN, Nguyet-Phuong** [VN/FR]; 65, rue Joseph Bouchayer, F-38100 Grenoble, (FR). **CAYREFOURCQ, Ian** [FR/FR]; 74, chemin du Theys, F-38330 Saint Nazaire les Eymes (FR). **LAGAHE-BLANCHARD, Christelle** [FR/FR]; La Guillenchière, route de la cascade, F-38134 Saint Joseph de Riviere (FR). **BOURDELLE, Konstantin** [RU/FR]; 22, rue du Luisset, F-38930 Crolles (FR). **TAUZIN, Aurélie** [FR/FR]; 32, rue Ampère, F-38000 Grenoble (FR). **FOURNEL, Franck** [FR/FR]; 9, route des Iles, F-38430 Moirans (FR).

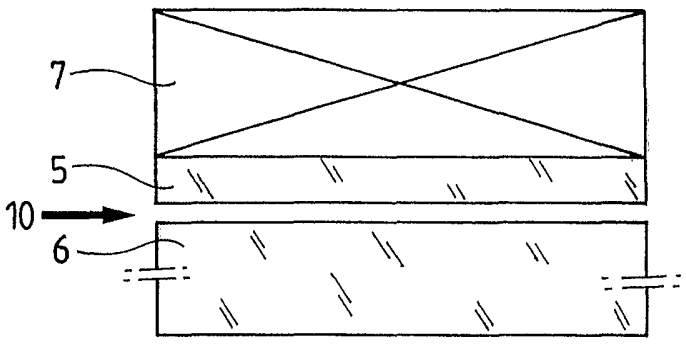
(74) Mandataire : **SANTARELLI**; 14, avenue de la Grande Armée, BP 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title:** METHOD FOR SELF- SUPPORTED TRANSFER OF A FINE LAYER BY PULSATION AFTER IMPLANTATION OR CO-IMPLANTATION

(54) **Titre :** PROCEDE DE TRANSFERT AUTOENTRETENU D'UNE COUCHE FINE PAR IMPULSION APRES IMPLANTATION OU CO-IMPLANTATION



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for self-supported transfer of a fine layer, wherein: at least one species of ions is implanted in a source-substrate at a given depth in relation to the surface of the source-substrate according to a certain dosage; a stiffener, which is in intimate contact with the source-substrate, is applied; said source-substrate undergoes heat treatment at a given temperature during a given period of time in order to create an embrittled, buried area substantially at said given depth without causing the fine layer to become thermally detached; a controlled energy pulse is applied to the source-substrate in a temporally localized manner in order to cause self-supported detachment of a fine layer which is defined between the surface and the embrittled buried layer in relation to the rest of the source-substrate.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé de transfert auto-entretenu d'une couche fine selon lequel - on implante dans un substrat-source au moins une espèce d'ions avec une certaine dose, à une profondeur donnée par rapport à une face de ce substrat-source, - on applique un raidisseur en contact intime avec le substrat-source, - on applique un traitement thermique à ce substrat-source, à une température donnée pendant un temps donné, en sorte de créer, sensiblement à la profondeur donnée, une zone enterrée fragilisée, sans initier le détachement thermique de la couche fine, - on applique une impulsion contrôlée d'énergie à ce substrat-source, de manière localisée dans le temps, en sorte de provoquer le détachement auto-entretenu d'une couche fine délimitée entre la face et la couche enterrée fragilisée, vis-à-vis du reste du substrat-source.

WO 2005/043615 A1

PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* **:** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Procédé de transfert autoentretenu d'une couche fine par impulsion après implantation ou co-implantation.

Domaine de l'invention

L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche ultra-fine (on parle aussi de couche mince ou ultra-mince) mettant en œuvre la propagation autoentretenue d'une fracture initiée par une impulsion d'énergie. Elle trouve des applications en particulier dans les domaines de la micro-électronique, de la micro-mécanique, de l'optique et de l'électronique intégrée.

Etat de la technique

Ainsi qu'on le sait, le détachement d'une couche mince peut être obtenu par implantation d'espèces chimiques dans un substrat source, par exemple en silicium, pour induire la formation d'une zone de défauts à une certaine profondeur. Ces défauts peuvent être des micro-bulles et/ou des platelets et/ou des micro-cavités et/ou des boucles de dislocations et/ou d'autres défauts cristallins, perturbant localement la qualité cristalline du matériau ; leur nature, leur densité et leur taille dépendent beaucoup de l'espèce implantée (de l'hydrogène, typiquement) ainsi que de la nature du substrat source. Un traitement thermique peut ensuite être appliqué pour permettre le développement des défauts spécifiques présents dans la zone fragilisée, ce qui permet d'obtenir le détachement ultérieur de la couche mince du substrat source,. Ceci a notamment été décrit dans le document US-5 374 564 et ses développements, dont le document US-6 020 252.

Toutefois un détachement spontané pendant un recuit thermique est parfois mal adapté à certaines situations, par exemple lorsque les substrats mis en contact ont des coefficients de dilatation thermique différents. Par ailleurs on sait (voir par exemple US – 2003/0134489) que, dans le cas d'une fracture obtenue thermiquement, et dans certaines conditions, celle-ci commence préférentiellement en un endroit localisé de la plaque, ce qui peut parfois conduire à des inhomogénéités de surface qui se traduisent sous la forme d'une apparence de type « marbrure ». Ces inégalités apparaissent également dans le cas d'une fracture purement thermique lorsqu'on cherche à sur-fragiliser en implantant en surdose une espèce telle que l'hydrogène de manière à en faciliter la fracture ou minimiser le budget thermique (couple température-durée) apporté ensuite aux plaques.

Lorsque le détachement est réalisé à haute température (typiquement vers 500°C environ), parmi les problèmes technologiques parfois rencontrés, il faut citer la rugosité de la surface ainsi que la dégradation de la couche transférée au cours du détachement thermique. Cela rend plus difficiles les étapes suivantes de traitement (par exemple : il faut polir plus la couche transférée, des défauts cristallins risquent d'être créés pendant les traitements suivants, ...). De plus, dans les hétéro-structures (comportant une superposition de substrats en matériaux différents), un autre problème technologique rencontré est la présence d'un champ de contraintes très fort dans les diverses couches en contact, au cours du traitement thermique, en raison de la différence des coefficients de dilatation thermique des divers matériaux mis en contact. Cela peut induire la dégradation des hétéro-structures si le détachement thermique s'opère à une température plus haute qu'une température critique. Cette dégradation peut être, typiquement, la casse d'un ou des deux substrats mis en contact et/ou le décollement des substrats au niveau de l'interface de collage.

C'est pourquoi il peut être souhaité d'obtenir le détachement à plus basse température.

Une façon d'obtenir ce type de détachement est de "jouer" avec les conditions d'implantation. Par exemple, un surdosage de l'espèce implantée

permet d'augmenter la fragilisation de la zone implantée et de provoquer le détachement à basse température par l'apport d'une force extérieure.

Le détachement peut aussi se faire en appliquant, généralement suite au traitement thermique, une force extérieure qui provoque la fracture dans la zone fragilisée jusqu'au détachement de la couche mince. On peut notamment se référer au document US – 6 225 192 (CEA).

Il est important de noter que, pour un substrat donné et des conditions d'implantation données, ce n'est pas uniquement la température de traitement qui conditionne les conditions ultérieures de détachement de la couche mince, mais aussi la durée de ce traitement, ce qui s'est traduit par la notion de budget thermique (voir FR-2 767 416 - CEA) ; quant à l'apport d'énergie mécanique, il est par exemple appliqué par un outil de type "guillotine" (voir WO 02/083387 - SOITEC).

C'est ainsi que Henttinen et al. (2000) [1] ont montré que, si le substrat source est une plaque de silicium, une dose d'ions d'hydrogène implantés de 1.10^{17} H^+/cm^2 (soit 5.10^{16} H_2/cm^2) permet le détachement par une force mécanique, après réalisation des étapes suivantes : traitement, de même que le substrat cible, par une activation chimique de plasma ; nettoyage de type RCA1, collage à température ambiante du substrat source sur le substrat cible, et recuit à 200°C pendant 2h. La force mécanique utilisée provenait d'une lame insérée à l'interface collé pour initier le détachement.

Cette approche, bien que diminuant la rugosité de la surface transférée (de l'ordre de la moitié par rapport aux solutions classiques de détachement, purement thermiques et sans activation plasma), implique une propagation lente et par à coups de l'onde de fracture. Ainsi Henttinen rapporte que chaque avancée de lame entraîne la propagation d'une fracture qui se stabilise sur une certaine distance au bout de deux minutes.

Ce type de détachement mécanique consiste donc à introduire une lame depuis les bords de la structure et à avancer cette lame sur la quasi-totalité de la structure collée, comme pour la " découper" le long de la zone fragilisée ; on parle parfois de détachement assisté, puisque le rôle de l'outil (tel

qu'une lame) est de propager l'onde de fracture d'un bord à l'autre de la structure.

Ce type de fracture amène les défauts suivants, au niveau de la future surface dégagée par le détachement de la couche mince :

- défaut de couronne (zone non transférée, à la périphérie du produit final), par exemple lié à une énergie de collage local trop faible par rapport au reste de l'interface, et à l'introduction des outils pour entamer le transfert,
- non uniformité (rugosité à basse fréquence) de l'épaisseur de la couche mince transférée, notamment en raison de l'onde de fracture assistée mécaniquement, donc irrégulière, par à coups, ce qui nécessite ensuite des traitements, tels qu'un polissage, que l'on cherche pourtant à éviter de manière générale,
- difficile déploiement industriel, compte tenu de l'utilisation d'un outil qui accompagne la propagation de la fracture, ce qui implique un traitement individuel de chaque structure (ou plaque).

Par ailleurs, on a constaté que, si le budget thermique est trop faible, le transfert de la couche mince est de mauvaise qualité, tandis que s'il est trop élevé, il peut y avoir fracture de l'un des substrats dans le cas d'une hétéro-structure. On comprend donc qu'il existe en principe une fenêtre étroite pour les paramètres opératoires (bien entendu liée aux conditions, notamment les doses implantées, la nature des matériaux, les températures de recuit, ...), or cette étroitesse constitue une contrainte lourde pour une exploitation industrielle.

La plupart de ces inconvénients se retrouve dans le cas du détachement d'une couche mince dans un substrat homogène (avec un seul matériau constitutif, SOI, par exemple).

Le détachement de la couche mince est bien sûr également conditionné par le choix des espèces chimiques implantées.

Il a été indiqué ci-dessus qu'on implante généralement de l'hydrogène, mais d'autres options ont été proposées, notamment en implantant de l'hélium.

Il peut même y avoir combinaison de deux espèces chimiques différentes.

C'est ainsi que Agarwal et al. (1998) [2] ont constaté que le fait d'implanter à la fois de l'hydrogène et de l'hélium permettait de réduire la dose totale d'ions implantés, en raison semble t'il de rôles différents joués par l'hydrogène et par l'hélium : l'hydrogène interagit avec les liaisons Si-Si brisées par l'implantation, pour créer des liaisons Si-H, ce qui aboutit à une grande densité de défauts de type platelets d'une taille de l'ordre de 3-10 nm (appelés H-défauts, de type platelet), tandis que l'hélium, qui n'agit pas chimiquement, conduit à l'apparition d'une moindre densité de défauts plus grands (taille supérieure à 300 nm environ). Les traitements thermiques envisagés dans cet article sont de 450°C pendant 20 mn ou de 750°C pendant 20s, ce qui implique nécessairement les inconvénients précités à propos du détachement à haute température.

Cette combinaison hydrogène-hélium a aussi été étudiée, de manière plus théorique, par Cerofolini et al. (2000) [3], qui ont noté que la mise sous pression des défauts était plus forte avec l'implantation de l'hélium qu'avec celle de l'hydrogène, et que le traitement thermique pouvait avoir des effets différents selon la température choisie : un recuit entre 150°C-250°C provoque une diminution du nombre de liaisons Si-H, un recuit dans la gamme 300°C-450°C provoque au contraire une augmentation de ce nombre, tandis qu'un recuit au-delà de 550°C tend plutôt à faire diminuer à nouveau ce nombre. Mais cet article n'en déduit pas de conclusions pratiques quant à la manière d'obtenir des couches minces de bonne qualité (notamment du point état de surface) pour un coût modéré.

L'invention a pour objet de pallier les inconvénients précités.

Plus précisément, l'invention a pour objet un procédé de transfert d'une couche mince pouvant être réalisé à basse température (afin de limiter les fortes contraintes mécaniques en cas d'utilisation de matériaux présentant de grandes différences de coefficients de dilatation), pouvant être réalisé de façons collectives et limitant les défauts précédemment cités lors du

détachement de la couche mince, en évitant notamment les à coups de l'onde de fracture. En d'autres termes, l'invention vise à obtenir, pour un coût modéré, des couches minces de grande qualité, en évitant donc, à la fois les inconvénients d'un traitement thermique à haute température et ceux liés à l'usage d'un outil pour un détachement assisté, et ceux liés à un traitement additionnel pour diminuer la rugosité après détachement.

Présentation de l'invention

L'invention propose à cet effet un procédé de transfert auto-entretenu d'une couche fine selon lequel :

- on prépare un substrat source,
- on implante dans ce substrat-source au moins une première espèce d'ions ou de gaz dans une première dose une profondeur donnée par rapport à une face de ce substrat-source, cette première espèce étant apte à générer des défauts,
- on applique un raidisseur en contact intime avec le substrat-source,
- on applique un traitement thermique à ce substrat-source, à une température donnée pendant un temps donné, en sorte de créer, sensiblement à la profondeur donnée, une zone enterrée fragilisée, sans initier le détachement thermique de la couche fine,
- on applique une impulsion d'énergie à ce substrat-source en sorte de provoquer le détachement auto-entretenu d'une couche fine délimitée entre la face et la couche enterrée fragilisée, vis-à-vis du reste du substrat source.

On peut définir ici un détachement auto-entretenu comme étant un détachement complet et quasi-instantané, analogue à celui obtenu par un simple traitement thermique à haute température, mais provoqué par un éventuel outil sans que celui-ci ait à suivre une quelconque onde de fracture (s'il y a un outil, il vient donc au plus en contact avec le substrat et la couche, sans longer l'interface de détachement) ; c'est donc, en d'autres termes, le contraire d'un détachement assisté. On peut aussi parler de phénomène « catastrophique ».

De manière préférée, on peut réaliser une co-implantation de deux espèces, par exemple de l'hydrogène et de l'hélium, telle que décrite dans la demande FR2847075 ou la demande WO-04/044976 ; l'implantation de plusieurs espèces peut être concomitante ou non.

La température de traitement thermique est avantageusement choisie en sorte de favoriser le développement de défauts cristallins dans la zone fragilisée sans pour autant induire de détachement spontané thermique. Cette température sera suffisamment basse pour ne pas générer des contraintes mécaniques trop importantes dans le substrat dans l'hypothèse où le substrat source et/ou un éventuel substrat cible comporteraient des matériaux présentant des coefficients de dilatation très différents. C'est pourquoi le procédé est un procédé de transfert se produisant à une température relativement basse (pas plus de 500°C dans le cas d'une hétéro structure Silicium/Quartz par exemple).

Selon l'invention, la fracture est obtenue par propagation d'une onde de fracture auto entretenue, après que celle-ci a été initiée par une impulsion d'énergie appliquée au niveau d'une zone fragile (cette impulsion pouvant être locale ou globale). Pour obtenir ce phénomène, des conditions d'implantation (dose, énergie, nature de l'espèce (ou des espèces), courant, ordre des implantations (s'il y en a plusieurs) et positions relatives dans la profondeur du substrat des espèces implantées (dans le cas d'une implantation de plusieurs espèces), température d'implantation, etc...) et de traitement adapté (par exemple un traitement thermique) semblent permettre de mettre en forme la distribution, la morphologie, la taille des défauts cristallins (cavités, platelets, micro et macro bulles et autres types de défauts) qui forment la zone fragile. C'est précisément le travail de mise en forme particulière de la zone fragile qui semble permettre d'obtenir le résultat de fracture auto entretenue.

L'invention consiste à favoriser les conditions de fragilisation proche, dans leur nature, des conditions obtenues lors de la fracture thermique, sans toutefois les conduire jusqu'à ce point. Le complément d'énergie est alors fourni par complément impulsionnel au terme ou durant le traitement thermique, et induit la propagation d'une fracture autoentretenue.

Par propagation auto entretenue de l'onde de fracture, il est entendu qu'il n'est pas nécessaire d'assister la propagation de l'onde en faisant avancer un outil ou en répétant l'impulsion d'énergie d'initiation. Et une caractéristique importante de l'invention est que l'onde de fracture est propagée sur toute la surface de la plaque en moins de 1 seconde, voire de l'ordre de la milliseconde (vitesses supérieurs à 100m/sec) pour des diamètres jusqu'à 300mm.

Une origine possible de la fracture autoentretenue (ou catastrophique) vient de la nature des défauts enterrés. Les études menées (dans le Germanium, mais applicable au Silicium) ont montré que dans les conditions de fracture autoentretenue la densité de défauts (micro-fissures, cavités, platelets, micro et macro bulles, ...) est estimée entre 0,03 et 0, 035 par micron carré, leurs tailles sont de l'ordre de 7 à 8 microns carrés, et la surface ouverte par ces défauts par rapport à la surface totale de la plaque est estimée entre 25 et 32 %. Ces valeurs caractéristiques de la zone fragilisée peuvent paraître similaires à des valeurs caractéristiques constatées lorsque la fracture est obtenue thermiquement, mais diffèrent de celles obtenue après un traitement de fragilisation qui nécessite une fracture mécanique assistée (auquel cas, la valeur de surface ouverte est plutôt de l'ordre de 10%).

De manière préférée, au moins la condition précitée sur la surface ouverte est réalisée (elle semble être la plus importante ; elle semble pouvoir être généralisée à une plage de 20% à 35%), éventuellement complétée par l'une et/ou l'autre des conditions sur la densité ou la taille des défauts.

Bien entendu d'autres effets ou causes ne sont pas exclus par cette interprétation, en particulier la nature chimique des liaisons dans le substrat peut également favoriser l'apparition du phénomène d'onde de fracture auto-entretenue.

En d'autres termes, l'invention semble consister à favoriser les conditions de fragilisation proche, dans leur nature, des conditions obtenues lors de la fracture thermique, sans toutefois les conduire jusqu'à ce point. Le complément d'énergie est alors fourni par complément impulsionnel.

Il faut souligner qu'il n'était pas évident pour l'homme du métier d'arriver à de telles conditions permettant de produire une fracture auto-

entretenue, même si ce résultat pouvait paraître en soi extrêmement souhaitable.

L'homme de métier, cherchant à améliorer les résultats de fracture mécanique aurait pu être incité à fragiliser davantage le substrat en augmentant par exemple le budget thermique apporté à la structure implantée et collée au substrat raidisseur. Et l'homme de l'art aurait pu vérifier qu'effectivement, en augmentant ce budget thermique, l'effort nécessaire pour propager l'onde de collage était moindre. Toutefois, il n'aurait pu observer le phénomène d'onde de fracture auto-propagée, qui ne se produit, comme on le verra par la suite, que dans des conditions particulièrement favorables. En particulier, l'homme du métier n'aurait pas cherché à poursuivre la fragilisation jusqu'à un point idéal qui précéderait le moment de la fracture thermique, car dans des conditions générales d'implantation et de traitement thermique, il s'agit d'un point instable qu'il serait dangereux ou vain de vouloir atteindre. En particulier dans le cas de la fabrication des hétéro-structures, le franchissement de ce point instable, et donc la fracture thermique du substrat, conduit bien souvent à une casse complète du produit final lié au relâchement soudain, lors de la fracture, des contraintes d'origine thermomécanique emmagasinées dans les substrats collés.

Ainsi, et tout au plus, l'homme du métier se serait attendu à ce que l'effort continu nécessaire pour propager l'onde de fracture soit moindre. Il n'avait donc, notamment, aucune raison objective pour penser que le simple prolongement du recuit de fragilisation (par rapport à l'art antérieur) suivi de l'application d'un effort impulsionnel conduise à une onde de fracture auto-entretenue.

En fait, l'application d'énergie impulsionnelle peut être globale (choc thermique, ultra son, ..) ou localisée (laser, choc mécanique, effort de traction, ...).

De manière préférée, cette impulsion est localisée, avantageusement appliquée par un outil animé d'un mouvement bref et de faible amplitude. Cet apport d'énergie est avantageusement appliqué à proximité immédiate de la

couche enterrée, limité à une partie seulement de celle- ci, de préférence à une portion périphérique de celle-ci.

Cette impulsion peut aussi être notamment constituée d'un apport thermique localisé (par exemple appliqué par une impulsion laser) ou d'une contrainte extérieure (par exemple à proximité immédiate de la zone fragilisée, en un bord de celle-ci).

Pour des raisons de simplicité de mise en œuvre, la fracture peut être obtenue aux environs de la température ambiante (0 à 50°C), par exemple par application d'un choc mécanique localisé en bordure de l'ensemble. Toutefois, cette mise en œuvre particulière ne limite pas l'invention, et il peut être, dans certaines situations, préférable d'initier la fracture à plus haute température, par exemple autour de 300°C.

Il a été observé que l'impulsion d'énergie avait toute son efficacité pour initier l'onde de fracture quand celle-ci conduisait à une ouverture très localisée de l'interface au niveau de la couche fragile. Ainsi un choc fourni par un outil de type lame, ou plus généralement tout effort de type traction, induit la propagation d'une fracture autoentretenue de manière très efficace.

Lorsque le traitement complémentaire est réalisé sous la forme de l'apport d'un budget thermique, celui ci est inférieur au budget thermique nécessaire pour l'obtention de la fracture.

L'état de surface du substrat formé après fracture présente des rugosités haute et basse fréquences améliorées par rapport à l'art antérieur. Ce résultat est particulièrement prononcé pour les basses fréquences avec notamment l'absence des ondes de fracture. On suppose que ce résultat est lié au fait que, dans le cadre de l'invention, l'onde de fracture se propage de façon continue, sans à coups et au sein d'une couche très fragilisée (ce qui faciliterait la propagation de l'onde suivant une zone préférentielle au sein de la couche fragilisée), par rapport à ce qui est obtenu dans l'art antérieur.

Dans des conditions d'implantation standard (implantation d'H^+ de l'ordre de 5.10^{16} at/cm² entre 20 et 300 keV dans du silicium - Si) le phénomène de fracture auto entretenu ne s'observe que pour des points de fonctionnement étroits, qu'il peut être difficile de reproduire de manière systématique.

Par contre, dans des conditions différentes, particulières, la fenêtre opératoire pour l'obtention du phénomène de fracture auto-entretenue est large, ce qui signifie que ce phénomène est observable pour une large variation des paramètres d'obtention de la couche fragiles (paramètres d'implantation et du traitement thermique additionnel, en particulier). C'est par exemple le cas, lorsque l'implantation est une co-implantation dans des conditions définies (voir ci-dessous), et/ou lorsque le profil en température du traitement additionnel comprend des phases adaptées. Dans le cadre d'une exploitation industrielle, il est important d'assurer la robustesse du procédé vis à vis des dérives, imprécisions, et variations des paramètres opératoires qui sont bien entendu inévitables. Pratiquement, cette grande robustesse autorise l'exploitation du procédé par lot de plaques, plutôt que plaque après plaque, comme cela est courant dans l'industrie de la micro électronique. Ainsi on a pu vérifier qu'il était possible d'obtenir la fracture sur un lot de plaques (25 plaques) à l'aide d'un outil de manipulation de plaque tel que celui divulgué dans WO03013815. Il a également été noté que le temps nécessaire à la mise en œuvre du procédé correspond sensiblement au temps de mise en œuvre des procédés de l'art antérieur.

En d'autres termes, selon un aspect particulier de l'invention, celle-ci propose un procédé de fabrication d'un lot de substrats comportant des étapes suivantes :

- implantation de chacun des substrats,
- traitement de fragilisation, en lot, des substrats,
- application d'impulsions d'énergie simultanément à chacun des substrats, (traitement collectif).

Il semble devoir être noté que, selon l'invention, le substrat est fragilisé et l' « énergie » de fragilisation n'a pas besoin d'être maintenue jusqu'au moment de l'application de l'impulsion énergétique. On peut même ajouter que provoquer une propagation auto-entretenue à chaud n'est pas recommandée dans le cas des hétéro structures, car les contraintes issues des différences de coefficient de dilatation thermique, qui se libèrent lors de la fracture, pourraient amener à la casse des substrats.

Il mérite d'être souligné que, selon l'invention, dans certaines conditions d'implantation, on parvient à fragiliser très fortement la zone implantée sans générer de détachement purement thermique, et cela même pour des temps de recuit très importants (pas de détachement observé après 24h de recuit à basse température définie ci-dessous) ; par contre, le détachement se déclenche de manière autoentretenue, par simple apport d'énergie impulsionel (tel qu'un choc mécanique au niveau de l'interface fragilisé, par exemple).

Les conséquences en sont significatives :

- la fenêtre opératoire de l'étape de recuit peut être très grande : la borne maximum pour la durée de ce recuit de pré-fragilisation est fortement repoussée (voire n'existe plus); cela est tout à fait favorable à l'industrialisation du procédé,
- il n'y a pas de détachement assisté puisque la fracture auto-entretenue permet de propager l'onde de fracture instantanément et sans à-coups sur toute la surface de la plaque ; il n'est pas nécessaire qu'une quelconque lame pénètre entre le substrat et la future couche mince, ce qui évite l'endommagement de la couche transférée par l'outil de décollement. La fracture auto-entrenue améliore aussi nettement la topologie des surfaces ainsi dégagées (avec par exemple une rugosité plus faible (surtout en basse fréquence)), et évite les défauts de couronne, ce qui rend utilisable la totalité de la couche mince, y compris sa périphérie
- le fait de ne plus avoir à introduire d'outil est aussi favorable à l'industrialisation du procédé et à un traitement collectif des substrats par lots de plaque.

Dans la mesure où, au plus tard au moment du traitement thermique, on met le substrat source en contact intime par ladite face à un raidisseur ou substrat cible, le traitement thermique contribue à améliorer l'énergie de collage entre ces substrats.

Ce substrat cible ou raidisseur est avantageusement choisi parmi les matériaux monocristallins ou polycristallins, comme le silicium ou le saphir

notamment, ou sous la forme d'un matériau amorphe, comme par exemple sous la forme de silice fondue.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, on effectue une implantation de plusieurs espèces de façons concomitantes ou non. Avantageusement, il peut s'agir d'une co-implantation d'hydrogène et d'hélium.

De manière avantageuse, dans le cas du silicium, dans le cas d'une co-implantation hydrogène-hélium, on peut implanter l'hydrogène (de préférence sous forme H^+) avec une dose relativement basse (typiquement de l'ordre de quelques 10^{16} H/cm^2), étant rappelé que l'hydrogène montre une efficacité importante pour créer une couche de fragilisation. Au niveau de cette couche, l'hélium peut être implanté avec une dose relativement basse (typiquement de l'ordre de 10^{16} He/cm^2, ou de quelques 10^{16} He/cm^2).

Lorsque le substrat source a été collé à un substrat cible, le traitement thermique à basse température (néanmoins suffisante pour obtenir une bonne solidité des interfaces du collage), a pour effet de permettre le détachement d'une couche ultra-fine très peu rugueuse (de l'ordre de quelques nm), initié par une impulsion extérieure. L'avantage de la co-implantation est d'obtenir la fragilisation maximum de cette zone à la température suffisante pour la solidité des interfaces du collage sans pour autant devoir atteindre des températures trop hautes que des hétérostructures ne pourraient peut être pas supporter et sans être non plus obligé d'utiliser de très fortes doses d'implantation (ce qui est un moyen connue de limiter la valeur de la température nécessaire au développement de la zone fragilisée).

De manière avantageuse, les deux espèces sont implantées au même niveau mais une variante consiste à décaler les profils d'implantation. Les deux espèces peuvent être implantées dans n'importe quel ordre, mais de manière avantageuse, dans le cas d'un substrat de silicium et d'une co-implantation hydrogène-hélium, il est préférable d'implanter le profil le plus profond en premier.

En fait, au moins lorsqu'on procède à une co-implantation hydrogène-hélium dans un substrat de silicium, on peut choisir une température de traitement thermique de 200°C à 400°C.

De manière préférée, le substrat source est en un matériau choisi par les semi-conducteurs et les isolants, monocristallins, polycristallins ou amorphes. C'est ainsi qu'il peut être choisi par les semi-conducteurs IV ; un exemple particulièrement intéressant est le silicium mais il peut aussi s'agir de germanium ou d'alliages Si-Ge. Il peut aussi s'agir de matériaux de la famille de III-iV ou des II-Vi comme l'As-Ga ou l'InP ou en un matériau isolant comme les matériaux ferroélectriques, par exemple le LiNbO3 et Li TaO3.

Le traitement thermique peut également présenter un profil adapté de manière à réduire le temps de ce traitement, comme cela est par exemple divulgué dans la demande de brevet européen 02-293049 déposée le 10 décembre 2002.

En fait, la gamme de température dépend principalement de la nature de l'espéce (ou des espèces) implantée(s) et de la nature du matériau constitutif du substrat source ainsi que la nature du substrat raidisseur notamment dans le cas d'une hétérostructure.

Description générale

Des objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre illustratif non limitatif en regard du dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 est une vue schématique d'un substrat source en cours d'implantation,
- la figure 2 en est une vue ultérieure après mise en contact intime (collage) à un substrat cible, et
- la figure 3 en est une vue en cours de détachement d'une couche fine issue du substrat source.

La figure 1 représente ainsi un substrat 1, par exemple en silicium avantageusement oxydé à sa surface 4, en train d'être soumis à un traitement

d'implantation, schématisé par les flèches 2, par exemple par bombardement, d'ions ou d'espèces gazeuses.

Cette implantation implique, à une profondeur donnée, l'implantation d'une première espèce qui est apte à générer des défauts, par exemple de l'hydrogène, de préférence sous la forme d'ions H+. Dans un exemple préféré de mise en œuvre de l'invention, cette implantation peut être une co-implantation de deux espèces, par exemple Hydrogène - Hélium. Dans le cas représenté, les deux espèces sont implantées à la même profondeur, mais en variante, il est préférable que la première espèce implantée soit celle dont le profil est le plus profond, par exemple l'hélium avant l'hydrogène.

En effet, on peut commencer par l'implantation de la première espèce, à savoir l'hydrogène, suite à quoi l'hélium peut être implanté. Toutefois l'ordre inverse des implantations peut être préférable, même si les deux implantations ne se font pas à la même profondeur.

Il en résulte une zone enterrée 3 fragilisée par la présence de défauts.

Cette zone fragilisée 3 délimite, au sein du substrat source, une future couche mince 5 et un reste de substrat source 6, c'est à dire ce qui restera du substrat source après détachement de la couche mince ; ce reste pourra servir de substrat source pour un nouveau cycle de mise en oeuvre du procédé.

La figure 2 représente une étape au cours de laquelle on met le substrat source, contenant la zone enterrée fragilisée 3, par sa face 4, en contact intime avec une face correspondante d'un substrat cible 7, typiquement par collage moléculaire direct, dont la fonction est celle d'un raidisseur.

On applique alors un traitement thermique qui va, d'une part, permettre un développement de la fragilisation de la couche enterrée 3, et d'autre part, lorsqu'une étape de collage a eu lieu, permettre une consolidation des liaisons de collage entre substrat source et substrat cible.

Plus précisément, la température de ce traitement thermique est choisie dans une gamme de températures propres à développer la zone fragilisée.

Ce traitement est avantageusement conduit à une température choisie dans la gamme 200°C-400°C, de préférence dans la gamme 300°C-350°C, pendant une durée typiquement choisie de quelques heures, par exemple 2 heures. Ainsi, les budgets thermiques (couples température-durée) sont industriellement réalistes.

A la figure 3 est représentée l'étape de détachement de la couche mince 3 vis-à-vis du reste du substrat source, au moyen de l'application d'un apport impulsionel d'énergie, de préférence bref et d'amplitude limitée, par exemple sous la forme d'un choc ou d'une impulsion.

Il est par exemple constitué d'une contrainte mécanique schématisée par la flèche 10.

Le détachement obtenu est auto-entretenu en ce sens, notamment, qu'il n'y a pas de mouvement d'un outil le long de la couche fragilisée.

Cet apport localisé d'énergie est ici limité à une partie de la couche enterrée, schématisé sous la forme d'un effet de coin correspondant à un choc appliqué par un outil tel qu'une lame sur (ou à proximité d') une portion de cette couche enterrée fragilisée ; mais il peut être de toute autre nature, par exemple un couple parallèle au plan de la zone enterrée fragilisée avantageusement appliqué sous la forme d'une impulsion de faible amplitude angulaire. Grâce au procédé de l'invention, la face de la couche mince qui est libérée par le détachement auto-entretenu dans la zone enterrée fragilisée (en pratique sensiblement plane) présente une rugosité bien plus faible que selon les solutions classiques, sans qu'il ait été nécessaire de prévoir un traitement particulier de la surfaces transférée ni de polissage important (« grossier ») après détachement. Il mérite d'être noté que, puisque le détachement est auto-entretenu, il n'y a pas de réelle propagation par à-coups d'une onde de fracture susceptible de générer des ondulations en surface, et que, puisqu'il n'y a pas de mouvement d'un quelconque outil le long des surfaces nouvellement créées (ou de mouvement relatif entre les deux parties de part et d'autre de la couche enterrée) il n'y a pas de dégradation des surfaces ainsi libérées, qui ont donc l'état de surface, très lisse, provoqué par le détachement auto-entretenu.

Le substrat source 1 peut être non seulement en silicium, mais plus généralement en tout matériau connu approprié, par exemple semi-conducteur IV, III-V ou II-Vi, ferroélectrique, monocristallin ou polycristallin, voire amorphe. C'est ainsi que ce substrat source peut être :

- un autre semi-conducteur de la colonne IV du tableau périodique des éléments, par exemple en germanium,
- un semi-conducteur du type III-V ou II-VI tel que AsGa ou InP, notamment,
- un isolant par exemple du type niobate ou tantalate, tels que LiNbO3 ou LiTaO3, notamment.

Quant au substrat cible il peut être réalisé dans une grande variété de matériaux, à choisir selon les besoins, monocristallin ou polycristallin (par exemple semi-conducteurs, par exemple parmi les mêmes matériaux que pour le substrat source) voire amorphe (par exemple verres ou polymères) ; c'est ainsi qu'il peut notamment être :

- un matériau cristallin tel que le saphir,
- en silice fondue ou en un autre verre,
- une simple couche de rigidification, par exemple un oxyde de quelques microns d'épaisseur, déposée par toute technique connue appropriée (cela ne correspond plus, il est vrai, à un substrat cible massif du type représenté sur les dessins).

Il mérite d'être noté que le substrat cible peut n'être qu'un substrat intermédiaire dont la couche mince est ensuite transférée sur un substrat final.

Exemples

Co-implantation

Selon un premier exemple de réalisation de l'invention, un substrat de Si (~700µm) comportant une couche de SiO_2 thermique en surface (par exemple 145nm) peut être implanté dans un premier temps avec des atomes d'hélium dans les conditions d'implantation 70keV - 10^{16}He/cm², puis implanté avec des atomes d'hydrogène dans les conditions d'implantation 30keV-4,25.10^{16}H/cm². On réalise ainsi l'implantation du profil le plus profond en

premier. Ce substrat source peut ensuite être solidarisé sur un substrat cible de Si(-700µm) par collage moléculaire. Un traitement thermique autour de 350°C pendant un certain temps (2h par exemple) est ensuite appliqué à la structure. Si le traitement thermique est adapté, comme par exemple divulgué dans la demande de brevet européen 02-293049, la fenêtre d'obtention du phénomène de fracture auto-entretenu est de l'ordre de quelques heures (soit un recuit de fragilisation compris entre 2 et 6 heures). Ensuite, avec à peine un début d'insertion d'une lame entre les interfaces de collage sous la forme d'un choc, le détachement auto-entretenu au niveau du maximum de concentration d'hydrogène mène au report de la couche mince de Si sur le substrat cible. C'est ainsi que ces essais avec une co-implantation d'hydrogène et d'hélium dans le substrat-source dans les conditions de l'invention ont conduit à un détachement auto-entretenu, c'est-à-dire un détachement complet et quasi-instantané, avec une propagation continue et plane de l'onde de fracture, auto-entretenue, initiée à l'aide d'un apport d'énergie impulsionnel, ce qui a eu notamment pour avantage d'éviter les ondulations en surface, c'est-à-dire d'éviter les variations importantes de rugosité de surface après fracture, par comparaison avec un détachement progressif. De ce fait, ce détachement impulsionnel implique ensuite un moindre polissage.

La rugosité de la surface transférée mesurée à haute fréquence (en microscopie à force atomique), de l'ordre de 45 à 50 Angströms RMS, et à basse fréquence (par profilométrie mécanique), de l'ordre de 10 Angströms RMS, de cette surface transférée sont bien inférieures à celles qui peuvent être obtenues dans le cas de H-implanté seul (32keV-5,5.10^{16}H/cm²) suivi d'un traitement thermique à 500° C (rugosité à haute fréquence de l'ordre de 75 Angströms RMS et rugosité à basse fréquence de l'ordre de 26 Angströms RMS).

Selon un autre exemple de réalisation de l'invention, un substrat de Si (environ 700µm) comportant une couche de SiO_2 thermique en surface (par exemple 200nm) est implanté dans un premier temps avec des atomes d'hélium dans les conditions d'implantation 70keV-2.10^{16}He/cm², puis implanté avec des

atomes d'hydrogène dans les conditions 30keV-3.10^{16}H/cm². On commence ainsi par l'implantation du profil le plus profond. Ce substrat source est ensuite solidarisé à un substrat cible de silice fondue (environ 1000µm) par collage direct. Un traitement thermique autour de 300° C pendant un certain temps (3h par exemple ou plus si la traitement de fragilisation est adapté) est ensuite appliqué à la structure. Ensuite, après avoir remis la structure à température ambiante au moyen d'une lame à peine insérée entre les interfaces de collage et animée d'une impulsion de mouvement (donc un choc), le détachement auto-entretenu au niveau du maximum du profil d'hydrogène mène au report de la couche mince de Si sur le substrat de silice fondue, sans casse ni dégradation de l'un ou l'autre des substrats issus de l'hétérostructure après détachement (le substrat de silice fondue comportant la couche mince de Si d'une part et le substrat de Si initial pelé de la couche mince superficielle d'autre part). La rugosité de la surface transférée, mesurée à basse fréquence par la profilométrie (de l'ordre de 14 Angströms RMS à basse fréquence) et en microscopie à force atomique ((de l'ordre de 75 Angströms en haute fréquence) de cette surface transférée sont bien inférieures à celles qui peuvent être obtenues dans le cas de H-implanté seul (32keV-5,5.10^{16}H/cm²) recuit à 400°°C pendant 2h et suivant le mode de détachement mécanique progressif à température ambiante (rugosité en haute fréquence de l'ordre de 90 Angströms RMS et de l'ordre de 40 Angströms à basse fréquence RMS).

Germanium sur isolant

Les informations précédentes peuvent être généralisées au cas d'un substrat source qui est en Germanium massif, avec les paramètres de fragilisation suivants : dose 7. 10^{16} H/cm^2 avec une énergie comprise entre 30 et 200 keV suivant l'épaisseur à transférer, et recuit de 300°C – pendant un certain temps (typiquement de 30min à 1h soit une fenêtre opératoire de 30min).

Après ce traitement thermique spécifique à ces conditions d'implantation, la densité des micro-fissures présentes au niveau de la zone implantée est estimé entre 0,03 et 0, 035 par micron carré, leurs tailles sont de

l'ordre de 7 à 8 microns carrés, et la surface ouverte par ces défauts par rapport à la surface totale de la plaque est comprise entre 25 et 32%. Les caractéristiques de la zone fragilisée peuvent paraître similaires à des caractéristiques constatées lorsque la fracture est obtenue thermiquement, mais diffèrent de celles obtenue après un traitement de fragilisation de 280°C-15min qui implique une fracture mécanique assistée auquel cas, ces valeurs sont plus faibles : par exemple, la surface ouverte par les microfissures représente moins de 10% de la surface totale de la plaque.

Silicium sur isolant

Afin d'ouvrir la fenêtre du procédé on peut par exemple préférer implanter une dose plus importante, par exemple à 30 keV – 1.10^{17} H/cm² et appliquer ensuite un traitement thermique à 350°C pendant 30min. On peut obtenir ainsi une fenêtre de 1 à 2 min d'apparition du phénomène de fracture auto entretenue, sans toutefois conduire à la fracture thermique.

AsGa sur isolant

On applique les conditions suivantes :

- Implantation 5. 10^{16} at/cm² ; à 100 keV environ,
- Recuit à 250°C entre 3 et 30 minutes.

Le phénomène de fracture auto entretenue peut s'observer lorsque le recuit de fragilisation est conduit dans une fenêtre de 3 à 30 minutes

Références

[1] K. Henttinen et al., Applied Physics Letters, Volume 16, Number 17, 24 April 2000 ; pp. 2370-2372

[2] A. Argawal et al. Applied Physics Letters, volume 72, Number 9, 2 March 1998 ; pp. 1086-1088

[3] G. F. Cerofolini et al., Materials Science and Engineering B71 - 2000, pp. 196-202

REVENDICATIONS

1. Procédé de transfert auto-entretenu d'une couche fine selon lequel:

- on prépare un substrat source,
- on implante dans ce substrat-source au moins une première espèce d'ions ou de gaz dans une première dose à une profondeur donnée par rapport à une face de ce substrat-source, cette première espèce étant apte à générer des défauts,
- on applique un raidisseur en contact intime avec le substrat-source,
- on applique un traitement thermique à ce substrat-source, à une température donnée pendant un temps donné, en sorte de créer, sensiblement à la profondeur donnée, une zone enterrée fragilisée, sans initier le détachement thermique de la couche fine,
- on applique une impulsion d'énergie à ce substrat-source en sorte de provoquer le détachement auto-entretenu d'une couche fine délimitée entre la face et la couche enterrée fragilisée, vis-à-vis du reste du substrat-source,

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on applique l'impulsion d'énergie à une petite partie seulement de la couche enterrée fragilisée.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on applique l'impulsion d'énergie sous la forme d'un apport thermique localisé.

4. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on applique l'impulsion d'énergie sous la forme d'un apport d'un unique mouvement bref et de faible amplitude appliqué au moyen d'un outil.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on applique l'apport localisé d'énergie sous la forme d'un choc en une zone périphérique de la couche enterrée fragilisée.

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'impulsion contrôlée d'énergie est appliquée globalement au substrat.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'impulsion est appliquée à une température au plus égale à environ 300 °C.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'impulsion est appliquée à la température ambiante.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le traitement thermique est conduit de telle sorte que la surface ouverte par les défauts est comprise entre 25 % et 32 % de la surface totale de la zone fragilisée dans le substrat.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le traitement thermique est conduit de telle sorte qu'en outre la densité des défauts est comprise entre 0,03 et 0,035 par micron carré.

11. Procédé selon la revendication 9 ou la revendication 10, caractérisé en ce que le traitement thermique est conduite de telle sorte qu'en outre la taille des défauts est de l'ordre de 7 à 8 microns carrés.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le raidisseur avec lequel le substrat-source est mis en contact intime, au plus tard au moment du traitement thermique, est un substrat cible, le traitement thermique contribuant à améliorer l'énergie de collage entre ces substrats.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le substrat cible est en un matériau amorphe.

14. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le substrat source est en silicium et le substrat cible est en silice fondue.

15. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le substrat cible est un matériau monocristallin ou polycristallin.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le substrat cible est en silicium.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la première espèce est de l'hydrogène.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que la première espèce est de l'hydrogène de type H+.

19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que la première espèce est implantée à une dose de l'ordre de quelques10^{16} H/cm^2.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisé en ce qu'on implante en outre une seconde espèce, en une seconde dose, cette seconde espèce étant apte à occuper les défauts générés par la première espèce.

21. Procédé selon la revendication 20, caractérisé, dans le cas d'une implantation de deux espèces, en ce qu'on réalise l'implantation du profil le plus profond en premier.

22. Procédé selon la revendication 20 ou la revendication 21, caractérisé en ce que la seconde espèce est de l'hélium.

23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que la seconde espèce est implantée à une dose de l'ordre de quelques 10^{16} He/cm^2, inférieure à la dose de la première espèce.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau choisi parmi les semi-conducteurs et les isolants, monocristallins, polycristallins ou amorphes.

25. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau choisi parmi les semi-conducteurs IV.

26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce qu'on réalise le substrat source en silicium.

27. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce qu'on réalise le substrat en germanium.

28. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce qu'on réalise le substrat en AsGa.

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 28, caractérisé en ce que le traitement thermique est réalisé à une température choisie dans la gamme 200°C-400°C.

30. Procédé selon la revendication 29, caractérisé en ce que le traitement thermique est réalisé à une température choisie dans la gamme 300°C-350°C.

31. Procédé selon la revendication 29 ou la revendication 30, caractérisé en ce que le traitement thermique est conduit pendant environ 2 h à 5h.

32. Procédé selon la revendication , caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau semi-conducteur de type III-V.

33. Procédé selon la revendication 32, caractérisé en ce qu'on prépare le substrat source en un matériau isolant choisi dans le groupe constitué par LiNbO3 et LiTaO3.

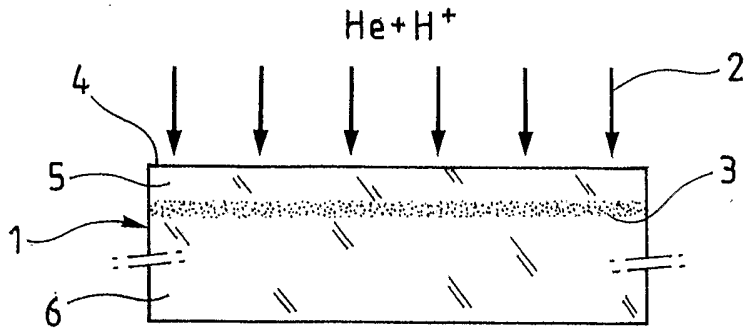


Fig. 1

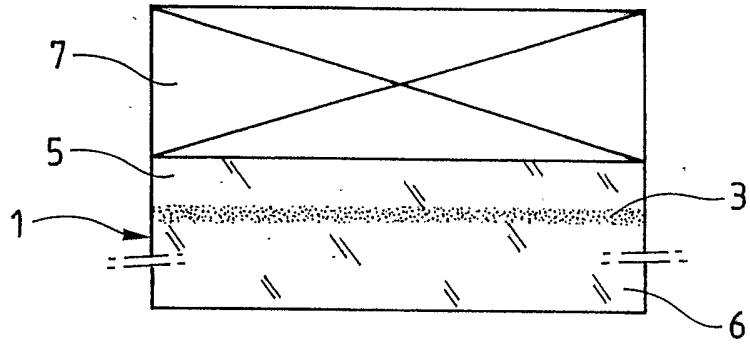


Fig. 2

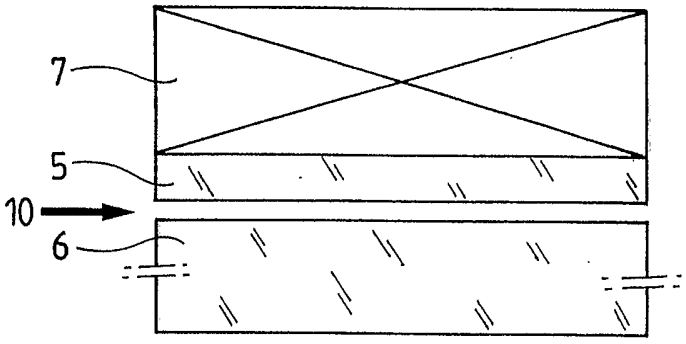


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No
PCT/FR2004/002779

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L21/762

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 00/63965 A (SILICON GENESIS CORPORATION; KANG, SIEN, G; MALIK, IGOR, J) 26 October 2000 (2000-10-26) the whole document	1-19, 24-33 20-23
X A A	US 2003/077885 A1 (ASPAR BERNARD ET AL) 24 April 2003 (2003-04-24) page 4, paragraph 46 - page 4, paragraph 55 page 6, paragraph 81 - page 6, paragraph 83	1-8, 16-19, 24-33 20-23 9-15

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 March 2005	05/04/2005

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Hedouin, M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/002779

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	AGARWAL A ET AL: "EFFICIENT PRODUCTION OF SILICON-ON-INSULATOR FILMS BY CO-IMPLANTATION OF HE+ WITH H+" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 72, no. 9, 2 March 1998 (1998-03-02), pages 1086-1088, XP000742819 ISSN: 0003-6951 the whole document	20-23
A	US 2002/025604 A1 (TIWARI SANDIP) 28 February 2002 (2002-02-28) page 1, paragraph 12 - page 2, paragraph 15; figures 1-6	1-12,15, 17,20-24
A	US 6 593 212 B1 (HOBART KARL D ET AL) 15 July 2003 (2003-07-15) column 4, line 65 - column 5, line 44; figures 1a-1c,10-11b	1-24
A	EP 0 994 503 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 19 April 2000 (2000-04-19) column 9, paragraph 42 - column 9, paragraph 43	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/FR2004/002779

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0063965 A	26-10-2000	US 6171965 B1	09-01-2001
		US 6204151 B1	20-03-2001
		US 6391219 B1	21-05-2002
		AU 4481100 A	02-11-2000
		WO 0063965 A1	26-10-2000
		US 2003008477 A1	09-01-2003
		US 2001016402 A1	23-08-2001
US 2003077885 A1	24-04-2003	FR 2809867 A1	07-12-2001
		EP 1285461 A1	26-02-2003
		WO 0193325 A1	06-12-2001
		JP 2003535472 T	25-11-2003
US 2002025604 A1	28-02-2002	NONE	
US 6593212 B1	15-07-2003	NONE	
EP 0994503 A	19-04-2000	FR 2784795 A1	21-04-2000
		EP 0994503 A1	19-04-2000
		US 2002094668 A1	18-07-2002
		US 6362077 B1	26-03-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR2004/002779

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01L21/762

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 00/63965 A (SILICON GENESIS CORPORATION; KANG, SIEN, G; MALIK, IGOR, J) 26 octobre 2000 (2000-10-26)	1-19, 24-33
Y	le document en entier	20-23
X	US 2003/077885 A1 (ASPAR BERNARD ET AL) 24 avril 2003 (2003-04-24)	1-8, 16-19, 24-33
A	page 4, alinéa 46 - page 4, alinéa 55	20-23
A	page 6, alinéa 81 - page 6, alinéa 83	9-15

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
23 mars 2005	05/04/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Hedouin, M

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (Janvier 2004)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR2004/002779

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	AGARWAL A ET AL: "EFFICIENT PRODUCTION OF SILICON-ON-INSULATOR FILMS BY CO-IMPLANTATION OF HE+ WITH H+" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 72, no. 9, 2 mars 1998 (1998-03-02), pages 1086-1088, XP000742819 ISSN: 0003-6951 le document en entier	20-23
A	US 2002/025604 A1 (TIWARI SANDIP) 28 février 2002 (2002-02-28) page 1, alinéa 12 - page 2, alinéa 15; figures 1-6	1-12,15, 17,20-24
A	US 6 593 212 B1 (HOBART KARL D ET AL) 15 juillet 2003 (2003-07-15) colonne 4, ligne 65 - colonne 5, ligne 44; figures 1a-1c,10-11b	1-24
A	EP 0 994 503 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 19 avril 2000 (2000-04-19) colonne 9, alinéa 42 - colonne 9, alinéa 43	1-5

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No
PCT/FR2004/002779

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0063965 A	26-10-2000	US 6171965 B1	09-01-2001
		US 6204151 B1	20-03-2001
		US 6391219 B1	21-05-2002
		AU 4481100 A	02-11-2000
		WO 0063965 A1	26-10-2000
		US 2003008477 A1	09-01-2003
		US 2001016402 A1	23-08-2001
US 2003077885 A1	24-04-2003	FR 2809867 A1	07-12-2001
		EP 1285461 A1	26-02-2003
		WO 0193325 A1	06-12-2001
		JP 2003535472 T	25-11-2003
US 2002025604 A1	28-02-2002	AUCUN	
US 6593212 B1	15-07-2003	AUCUN	
EP 0994503 A	19-04-2000	FR 2784795 A1	21-04-2000
		EP 0994503 A1	19-04-2000
		US 2002094668 A1	18-07-2002
		US 6362077 B1	26-03-2002