

(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
1 octobre 2015 (01.10.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/145238 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 21/683 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2015/000382

(22) Date de dépôt international :
19 mars 2015 (19.03.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1400801 28 mars 2014 (28.03.2014) FR

(71) Déposant : SOITEC [FR/FR]; Chemin des Franques, Parc
Technologique des Fontaines, F-38190 Bernin (FR).

(72) Inventeurs : CAPELLO, Luciana; 2 Rue Madeleine, F-
38000 Grenoble (FR). BROEKAART, Marcel; Clos des
Gentons, F-38570 Theys (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17.ii))
- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii))

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR SEPARATING AND TRANSFERRING LAYERS

(54) Titre : PROCÉDÉ DE SÉPARATION ET DE TRANSFERT DE COUCHES

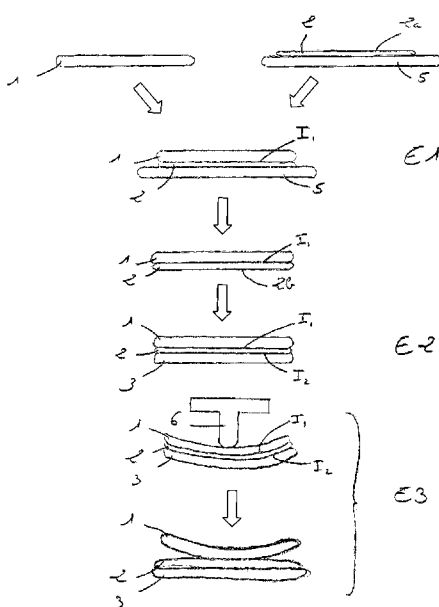


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a method for transferring an active layer (2) onto a final substrate (3) by means of a temporary substrate (1), said method including the following steps: a first step (E1) of mounting a first surface (2a) of the active layer (2) onto the temporary substrate (1), along a first bonding interface (I1) having a first bonding energy and an adhesive force (Fa1) between the temporary substrate (1) and the active layer (2); a second step (E2) of mounting a second surface (2b) of the active layer (2) onto the final substrate (3), along a second bonding interface (I2) having a second bonding energy; a third step (E3) of generating a shear force, said shear stress being exerted at the first bonding interface (I1) according to a first shear stress (Fc1) applied by the temporary substrate (1), and on the second bonding interface (I2) according to a second shear stress (Fc2) applied by the final substrate (3), characterized in that a separation wave is initiated between the active layer (2) and the temporary substrate (1) when the second bonding energy is greater than the first bonding energy, and the first shear stress (Fc1) is greater than the adhesive force (Fa1).

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de transfert d'une couche active (2) sur un substrat final

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/145238 A1



— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

(3) à l'aide d'un substrat temporaire (1), le procédé comprenant les étapes suivantes : - une première étape (E1) d'assemblage d'une première face (2a) de la couche active (2) sur le substrat temporaire (1), selon une première interface de collage (II) possédant une première énergie de collage et une force d'adhésion (Fa1) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2); - une deuxième étape (E2) d'assemblage d'une deuxième face (2b) de la couche active (2) sur le substrat final (3), selon une deuxième interface de collage (I2) possédant une deuxième énergie de collage; - une troisième étape (E3) consistant à générer une contrainte en cisaillement, la contrainte en cisaillement s'exerçant, d'une part, au niveau de la première interface de collage (II) selon une première force de cisaillement (Fc1) appliquée par le substrat temporaire (1), et d'autre part, au niveau de la deuxième interface de collage (I2) selon une deuxième force de cisaillement (Fc2) appliquée par le substrat final (3); caractérisé en ce qu'une onde de séparation est initiée entre la couche active (2) et le substrat temporaire (1) lorsque la deuxième énergie de collage est supérieure à la première énergie de collage, et la première force de cisaillement (Fc1) est supérieure à la force d'adhésion (Fa1).

PROCEDE DE SEPARATION ET DE TRANSFERT DE COUCHES

DOMAINE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne, d'une façon générale, une étape de la fabrication de substrats pour l'électronique, l'optoélectronique ou l'optique, et plus particulièrement, un procédé de transfert de couches.

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

10

La fabrication de tels substrats met en jeu de plus en plus fréquemment des techniques de reports de couches plus ou moins épaisses d'un support à l'autre.

15 Ainsi, dans de nombreuses applications du domaine de la micro-électronique, on peut souhaiter réaliser le transfert d'une couche dite active, intégrant par exemple des composants électriques sur un substrat, ou d'une couche semi-conductrice présente à la surface d'un premier substrat vers un second substrat.

20 La couche active, au sens de la présente invention ne peut pas, en raison de ses dimensions, notamment son épaisseur, et de sa fragilité, être considérée comme autoportée.

Aussi, pour transporter la couche, et en particulier la transférer d'un substrat initial vers un substrat final, il faut la rendre solidaire d'un substrat de transfert appelée poignée ou substrat temporaire. Un tel substrat permet alors de
25 manipuler une couche ayant besoin d'être déplacée et/ou transférée.

Par exemple, le substrat initial comprend une couche en nitrure de gallium GaN, et possède en son sein une interface fragilisée, définissant un plan de rupture privilégié. Le transfert s'effectue en mettant en contact la face exposée de la couche active, portée par le substrat initial, avec une face d'un substrat temporaire, en assurant une adhésion suffisante entre les deux faces mises en contact, pour ensuite effectuer le détachement de la couche au niveau de l'interface fragilisée. La zone de rupture, au niveau de l'interface fragilisée, est alors nettoyée, par exemple par TMAH, pour qu'ensuite la couche semi-conductrice puisse être transférée sur le substrat final, via le substrat temporaire.
30 Une fois le transfert réalisé, le substrat temporaire est détaché de la couche transférée.
35

Sur un plan général, on connaît déjà différentes façons de réaliser le détachement d'une couche d'un substrat.

Une première technique consiste à détruire le substrat temporaire par abrasion mécanique ou par attaque chimique. Il peut également être éliminé
5 par combinaison de ces deux moyens, comme décrit par exemple dans le document FR-A-2 715 503. Cependant, l'abrasion mécanique du substrat nécessite beaucoup de temps, et un tel traitement est susceptible d'endommager la couche et/ou les circuits qui y sont réalisés, et ne permet pas la réutilisation du substrat temporaire.

10 Il existe également une technique consistant à créer une zone de clivage sur le substrat temporaire, par exemple par implantation d'ions et idéalement du côté de l'interface de collage entre la couche et le substrat temporaire, et de procéder au retrait du substrat temporaire, par exemple par arrachement au niveau de la zone de clivage, comme décrit dans le document FR-
15 A-2 744 285.

Une autre technique permet de réaliser une couche d'oxyde enterrée dans le substrat temporaire, et à attaquer cette couche par gravure lors du retrait du substrat temporaire, comme décrit dans le document US-A-
6 027 958.

20 D'autres solutions connues consistent à obtenir une interface fragile par création d'une couche poreuse, comme décrit par exemple dans le document EP-A-0 849 788, et à éventuellement implanter des espèces gazeuses dans cette couche pour fragiliser jusqu'au degré souhaité. La rupture de ces interfaces fragiles est réalisée par application de contrainte et/ou de cisaillement et/ou en
25 flexion. Une étape de planarisation chimique ou mécanique est ensuite requise au niveau de l'interface de rupture.

Toutefois, ces différents procédés connus présentent tous des inconvénients. En premier lieu, il est difficile, voire impossible, de maîtriser les forces de liaison effectives entre une couche à transférer et le substrat temporaire,
30 et/ou au niveau d'une interface préalablement fragilisée.

En corollaire, les efforts mécaniques et/ou chimiques à appliquer pour réaliser le détachement ou la destruction du substrat temporaire peuvent être importants, avec un risque de détérioration ou de bris du substrat temporaire et/ou de la couche à transférer. Ce risque est encore plus élevé dans le cas où ces
35 efforts ou une partie de ces efforts sont appliqués manuellement, par exemple à l'aide d'un outil.

OBJET DE L'INVENTION ET BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

La présente invention vise à pallier ces limitations de l'état de la technique en proposant un procédé de transfert d'une couche active sur un substrat final à l'aide d'un substrat temporaire, le procédé comprenant les étapes
5 suivantes :

- une première étape d'assemblage d'une première face de la couche active sur le substrat temporaire, selon une première interface de collage (I1) possédant une première énergie de collage et une force d'adhésion (Fa1) entre le substrat temporaire et la couche active ;
- 10 - une deuxième étape d'assemblage d'une deuxième face de la couche active sur le substrat final, selon une deuxième interface de collage (I2) possédant une deuxième énergie de collage ;
- une troisième étape consistant à générer une contrainte en cisaillement, la contrainte en cisaillement s'exerçant au niveau de la première interface de collage
15 (I1) selon une première force de cisaillement (Fc1) appliquée par le substrat temporaire, et au niveau de la deuxième interface de collage (I2) selon une deuxième force de cisaillement (Fc2) appliquée par le substrat final.

Une onde de séparation est alors initiée entre la couche active et le substrat temporaire lorsque la deuxième énergie de collage est supérieure à la
20 première énergie de collage, et la première force de cisaillement (Fc1) est supérieure à la force d'adhésion (Fa1).

L'application de ces deux conditions (énergie I2 > énergie I1, Fc1 > Fa1), permet une délamination spontanée au niveau des bordures de la première interface de collage I1, ou au moins de considérablement fragiliser la première
25 interface de collage I1. Une séparation contrôlée et facilitée de la couche active et du substrat temporaire est ainsi obtenue, tout en évitant les contraintes des solutions connues de l'état de la technique. Le substrat temporaire peut, par ailleurs, être recyclé sans difficulté et sans être endommagé.

30

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit des modes de réalisation, particuliers et non limitatifs, de l'invention en référence aux figures ci-jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 est une représentation schématique du procédé de transfert selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 2 est une représentation schématique du procédé de transfert selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique partielle des forces s'exerçant sur la structure empilée lors de l'étape 3 de l'invention ;
- la figure 4a est une représentation graphique de l'évolution des énergies de collage des interfaces I1 et I2 en fonction de la température ;
- la figure 4b est une représentation graphique de l'évolution des forces Fa1 et Fc1 s'exerçant sur la structure empilée en fonction de la température ;
- la figure 5 est une représentation schématique d'un premier mode optionnel de réalisation du procédé de transfert selon l'invention ;
- la figure 6 est une représentation schématique d'un deuxième mode optionnel de réalisation du procédé de transfert selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION

D'une manière générale, la préhension d'une couche active à l'aide d'un substrat, dit temporaire, est possible par l'assemblage d'une face du substrat temporaire et d'une face de la couche active, par exemple, à l'aide d'un collage par adhésion moléculaire. Une fois que le substrat temporaire n'est plus utile et doit être retiré. Les solutions de l'art antérieur, permettant de séparer la face de la couche active de celle du substrat temporaire, génèrent des contaminations, déformations ou l'endommagement de la couche active et/ou du substrat temporaire. Par ailleurs, selon les modes de réalisation de l'art antérieur, le substrat temporaire ne peut pas être réutilisé.

Plusieurs modes de réalisation possibles du procédé de transfert conforme à l'invention, et permettant de palier aux problématiques précédemment énoncées, vont maintenant être décrits en faisant référence aux figures 1 à 6. Les éléments communs aux différents modes de réalisations conservent les mêmes références.

En référence aux figures 1, 2, 5 et 6, la première étape E1 du procédé consiste à assembler une face d'un substrat temporaire 1 et une première face 2a d'une couche active 2, selon une première interface de collage I1. De manière non limitative, l'assemblage peut être réalisé par un collage par adhésion moléculaire.

La première interface de collage I1, ainsi obtenue, possède une énergie de collage dépendant d'un ensemble de conditions au moment où le

substrat temporaire 1 et la couche active 2 ont été assemblés (matériaux, température de collage, pressions, traitement de surfaces, rugosité de surface, ...), et des traitements que l'interface de collage I1 pourrait subir avant et/ou après assemblage. Selon les besoins de l'invention, l'énergie de collage de cette interface I1 pourra être ajustée.

L'énergie de collage de la première interface I1 permet de déduire une force d'adhésion Fa1 entre le substrat temporaire 1 et la couche active 2. Cette première force d'adhésion Fa1 s'oppose à l'ouverture de la première interface de collage I1, et détermine à partir de quel niveau de force le substrat temporaire 1 et la couche active 2 pourraient être séparés.

Préalablement à cette première étape E1, et comme la couche active 2 n'est pas autoportée, la couche active 2 aura été formée ou assemblée sur un support manipulable 5, de manière à ce que la couche active 2 puisse être transportée et disposée sur le substrat temporaire 1 lors de l'étape E1. Le support manipulable 5 est ensuite séparé de la couche active 2, par toutes techniques connues de l'art antérieur. Selon le support manipulable utilisé, une face 2b de la couche active 2 peut alors subir un traitement de surface, par exemple, du type mécano-chimique avant de passer à une deuxième étape E2 de l'invention.

Lors de la deuxième étape E2 du procédé de transfert selon l'invention, une face 2b de la couche active 2 est assemblée à une face d'un substrat final 3 selon une deuxième interface de collage I2. De manière non limitative, l'assemblage peut être réalisé par un collage par adhésion moléculaire.

La deuxième interface de collage I2, ainsi obtenue, possède également une énergie de collage dépendant d'un ensemble de conditions au moment où le substrat final 3 et la couche active 2 ont été assemblés (matériaux, température de collage, pressions, traitement de surfaces, ...), et des traitements que l'interface de collage I2 pourrait subir avant et/ou après assemblage. Selon les besoins de l'invention, l'énergie de collage de cette interface I2 pourra être ajustée.

L'énergie de collage de la deuxième interface I2 permet de déduire une deuxième force d'adhésion Fa2 entre le substrat final 3 et la couche active 2. Cette force d'adhésion Fa2 s'oppose à l'ouverture de la deuxième interface de collage I2.

Une fois le substrat temporaire 1, la couche active 2 et le substrat final 3 assemblés, formant une structure empilée, une contrainte en cisaillement est générée, lors d'une troisième étape E3, entre le substrat temporaire 1 et le

substrat final 3. Cette contrainte en cisaillement s'exerce, d'une part, au niveau de la première interface de collage (I1) selon une première force de cisaillement (Fc1) appliquée par le substrat temporaire 1, et d'autre part, au niveau de la deuxième interface de collage (I2) selon une deuxième force de cisaillement (Fc2) appliquée par le substrat final 3, les première et deuxième forces étant directionnellement opposées, telles que représentées en figure 3.

Pour résoudre les problèmes de l'art antérieur précités, l'invention propose de séparer le substrat temporaire 1 sans dommage, l'objectif étant d'obtenir une délamination spontanée au niveau des bordures de la première interface de collage I1, ou au moins de considérablement fragiliser la première interface de collage I1, permettant ainsi d'initier une onde de séparation au niveau de la première interface de collage I1, et donc faciliter la séparation du substrat temporaire 1 lors d'une étape de séparation. Pour ce faire, et au terme des trois étapes du procédé selon l'invention, deux conditions doivent être respectées :

- condition 1 : l'énergie de collage de la deuxième interface de collage I2 est supérieure à l'énergie de collage de première interface de collage I1 ;
- condition 2 : la première force de cisaillement Fc1 est supérieure à la première force d'adhésion Fa1.

La première condition permet de choisir, ou de déterminer, l'interface de collage ayant la plus faible énergie de collage, et donc qui sera sujette à l'effet de délamination au niveau de ses bordures. Pour satisfaire la première condition, les énergies de collage des interfaces de collage I1 et I2 peuvent être ajustées par n'importe quel moyen connu de l'art antérieur dans l'objectif d'obtenir une énergie de collage de l'interface I2 supérieure à l'énergie de collage de l'interface I1 lors de la séparation du substrat temporaire 1. De manière non limitative, les traitements thermiques, les activations plasma, le nettoyage préalable de surface, les conditions de réalisation d'un collage par adhésion moléculaire, la rugosité d'une surface, l'utilisation de couches fines de matériaux autocollants, ... sont autant de paramètres modifiables permettant d'ajuster, de manière contrôlée, l'énergie de collage d'une interface en particulier.

A titre d'exemple, après la première étape E1 du procédé de transfert selon l'invention, l'énergie de collage de la première interface I1 doit être renforcée, par exemple à l'aide d'un traitement thermique dit de renforcement, et ce, dans l'objectif de réaliser un polissage, par exemple mécano-chimique, sur la deuxième face 2b de la couche active 2. Un tel polissage, non représenté, permet, lors de l'étape E2, d'obtenir une surface plane et exempte de particule. Ainsi,

l'interface de collage I2 possède une énergie de collage améliorée. Comme cela est illustrée en figure 4a et grâce au polissage de la surface 2b de la couche active 2, une montée en température provoque une augmentation plus rapide de l'énergie de collage de l'interface I2 que celle de l'énergie de collage de l'interface I1, à tel point qu'à un niveau de température donnée, l'énergie de collage de l'interface I2 est supérieure à l'énergie de collage de l'interface I1, ici à partir d'environ 60°C (point A de la figure 4a).

De manière alternative et dans le cas où l'énergie de collage de l'interface I2 serait toujours inférieure à l'énergie de collage de l'interface I1 au moment de l'initiation de l'onde de séparation entre le substrat temporaire 1 et la couche active 2, l'énergie de collage de l'interface I1 peut être dégradée, avant l'étape 3, par exemple, par le bombardement de radiations électromagnétiques sur toute la surface de l'interface I1, comme représenté en figure 6. Une telle solution sera envisageable en choisissant une typologie de laser avec une longueur d'onde adaptée au coefficient d'absorption et réfraction associés aux substrats et couches traités.

La première condition pour réaliser le procédé de transfert selon l'invention est donc remplie.

La deuxième condition nécessaire à la réalisation du procédé selon l'invention (la première force de cisaillement F_{c1} est supérieure à la première force d'adhésion F_{a1}) permet de créer, dans la structure empilée, un état de tension telle que l'effet de délamination est généré. Les caractéristiques physiques et théoriques de cet état de tension sont décrits dans l'article « The Bending of Bonded Layers Due to Thermal Stress », écrit par Ahmad T. Abawi et publié le 23 octobre 2004.

Cette deuxième condition peut être obtenue par différentes solutions.

Comme référencé en figure 1, une première solution consiste, une fois la deuxième étape E2 terminée, à appliquer une force sur l'une des faces libres du substrat temporaire 1 ou du substrat final 3, c'est-à-dire l'une des faces opposées à celle assemblées à la couche active 2, idéalement en son milieu à l'aide d'un moyen de pression 6, de manière à générer une courbure de la structure empilée. La courbure imposée génère la contrainte en cisaillement F_{c1} , F_{c2} , précédemment expliquée et illustrée en figure 3. Bien entendu, la force appliquée sera adaptée aux conditions rencontrées pour générer la contrainte en cisaillement suffisante pour que la première force de cisaillement F_{c1} soit

supérieure à la première force d'adhésion F_{a1} entre le substrat temporaire 1 et la couche active 2, et donc créer l'effet de délamination.

Par ailleurs et de manière connue, la contrainte en cisaillement générée est plus importante au niveau des bordures des interfaces de collage. En
5 conséquence, l'interface de collage ayant la plus faible énergie de collage, ici l'interface I1, est sujette à un effet de délamination spontané au niveau de ses bordures.

Une deuxième solution consiste à soumettre la structure empilée à un traitement thermique, dit de séparation, à une température cible
10 prédéterminée, le substrat final 3 et le substrat temporaire 1 possédant des caractéristiques de dilatation thermique différentes, de sorte que la structure se déforme sous l'effet de la différence des dilatations thermiques, générant ainsi la contrainte en cisaillement au niveau des interfaces I1 et I2.

A titre d'exemple, la figure 2 représente le procédé de transfert
15 selon l'invention dans lequel le substrat temporaire 1 est en saphir, et le substrat final 3 est en silicium. Lors de l'étape E2, le substrat temporaire 1, la couche active 2 et le substrat final 3 sont assemblés à température ambiante T_a . A cette température, le différentiel de dilatation thermique du substrat temporaire 1 et final 3 est nul, et donc les interfaces de collage I1 et I2 ne subissent pas de
20 contrainte en cisaillement. Lors de l'étape E3, la montée en température du traitement thermique de séparation provoque une différence de vitesse de dilatation du substrat temporaire 1 et du substrat final 3. Plus la différence de dilatation thermique des matériaux est grande, et plus la contrainte en cisaillement augmentera rapidement lors de la montée en température du traitement
25 thermique de séparation. Comme vu précédemment, cette contrainte en cisaillement s'exerce au niveau de la première interface de collage I1 selon la première force de cisaillement F_{c1} appliquée par le substrat temporaire 1, et au niveau de la deuxième interface de collage I2 selon la deuxième force de cisaillement F_{c2} appliquée par le substrat final 3, la première F_{c1} et la deuxième
30 F_{c2} forces étant sensiblement équivalentes (figure 3). Par ailleurs, la dilatation thermique d'un corps est principalement déterminée par son coefficient de dilatation thermique, son volume et la température à laquelle il est soumis.

Ainsi, la contrainte en cisaillement recherchée correspond au niveau de températures où la résistance au collage de la première l'interface I1 cède
35 devant la contrainte en cisaillement générée par le différentiel de dilatation thermique du substrat temporaire 1 et final 3, et plus précisément au niveau de

températures où la première force de cisaillement F_{c1} est supérieure à la première force d'adhésion F_{a1} . D'autres paramètres, connus de l'art antérieur, sont à prendre en considération pour déterminer ce niveau de températures, tels que les dimensions des substrats temporaire 1 et final 3, leur coefficient de dilatation thermique respectif, ainsi que le profil de températures, chacun de ces paramètres modifiant le niveau de dilatation d'un corps.

Dans une telle configuration et puisque l'énergie de collage de l'interface de collage I1 est proportionnelle à la force d'adhésion F_{a1} , l'énergie de collage de l'interface de collage I1 peut être ajustée, de manière à diminuer la force d'adhésion F_{a1} , et donc abaisser le niveau de la contrainte en cisaillement recherchée pour obtenir l'effet de délamination, permettant ainsi de réduire le niveau de la température cible du traitement thermique de séparation. Par exemple et de manière non exhaustive, l'interface I1 peut comporter une zone fragilisée localisée, pouvant être constituée de particules déposées, de défauts ponctuels, de couches minces ou traitement locaux inhibant localement l'énergie de collage, de formes géométriques avec une topologie spécifique fabriquées sur le substrat temporaire 1 ou la couche active 2, une rugosification locale de l'une des deux surfaces de l'interface I1.

La figure 4b illustre l'évolution des forces F_{a1} et F_{c1} s'exerçant sur la structure empilée en fonction de la température. Dans le cas où le substrat temporaire 1 est en saphire, dont le coefficient de dilation thermique est de $7.7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, et le substrat final 3 est en silicium, dont le coefficient de dilatation thermique est $2.6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, et où le substrat temporaire 1 et final 3 ont une épaisseur de 725 μm et un diamètre de 200 mm, la contrainte en cisaillement recherchée est obtenue lorsque la température cible du traitement thermique de séparation atteint 70°C , point B de la figure 4b.

Ainsi, le niveau du différentiel de dilatation thermique du substrat temporaire 1 et final 3 à partir du quel la contrainte en cisaillement recherchée est atteinte (le point B sur la figure 4b) dépendra de l'énergie de collage des interfaces I1 et I2, de la dilatation thermique des matériaux et de la température cible du traitement thermique de séparation. Le grand nombre de possibilités de modifications de ces paramètres, répondant à un mode de réalisation spécifique, suggèrent que le niveau du différentiel de dilatation thermique visé, permettant de déterminer la température cible du traitement thermique de séparation, soit redéfini en fonction des conditions de réalisation du procédé de transfert selon l'invention.

En conséquence et dans le mode de réalisation représenté en figure 2, pour que le niveau d'énergie de collage de l'interface I2 deviennent supérieur à celui de l'interface I1, $T^{\circ}\text{C} > 60^{\circ}\text{C}$ (zone hachurée de la figure 4a), et pour que la première force de cisaillement F_{c1} soit supérieure à la force d'adhésion F_{a1} entre le substrat temporaire 1 et la couche active 2, $T^{\circ}\text{C} > 70^{\circ}\text{C}$ (zone hachurée de la figure 4b), la température prédéterminée du traitement thermique de séparation sera alors l'intersection de ces deux intervalles de températures, c'est à dire $T^{\circ}\text{C} > 70^{\circ}\text{C}$. Selon les modes de réalisation, la couche active 2 peut comporter des microcomposants ne devant pas être soumis à des températures excédant 250°C . Ainsi, la température cible du traitement thermique de séparation, pour le présent mode de réalisation, se situe dans l'intervalle de températures cibles $70^{\circ}\text{C} < T^{\circ}\text{C} < 250^{\circ}\text{C}$.

Cette température cible est donnée à titre d'exemple est pourra être ajustée selon les paramètres et caractéristiques de l'invention à appliquer. Notamment et selon les cas rencontrés, l'intervalle de températures cible du traitement thermique de séparation selon l'invention pourra varier de 50°C à 450°C .

L'effet de délamination spontané permet d'initier l'onde de séparation se propageant sur toute la surface de l'interface I1. Si toute fois, la contrainte en cisaillement ne serait pas suffisante pour causer l'effet de délamination, et ce, en présence de zones fragilisées ou pas, l'étape de séparation du substrat temporaire 1 sera initiée par l'insertion d'un élément de séparation 4, par exemple, d'une lame 4, au niveau de l'interface de collage I1, comme illustré en figure 5. De manière non exhaustive, le même effet peut être obtenu à l'aide d'un jet d'eau ou d'air sous pression. L'énergie de collage de l'interface I2 étant supérieure à l'énergie de collage de l'interface I1, et la contrainte en cisaillement étant emmagasinée dans la structure empilée, l'onde de séparation initiée par l'élément de séparation 4 se propagera naturellement sur toute la surface de l'interface de collage I1, plutôt que sur l'interface de collage I2, lors de l'étape de séparation du substrat temporaire 1.

Ainsi, le procédé de transfert selon l'invention permet une séparation contrôlée et facilitée de la couche active 2 et du substrat temporaire 1, et d'éviter les contraintes des solutions connues de l'Etat de la technique. Par ailleurs, le substrat temporaire 1 n'est ni arraché, ni endommagé, il peut être recyclé sans difficulté lors d'un nouveau procédé de transfert d'une couche.

REVENDICATIONS

1. Procédé de transfert d'une couche active (2) sur un substrat final (3) à l'aide d'un substrat temporaire (1), le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - une première étape (E1) d'assemblage d'une première face (2a) de la couche active (2) sur le substrat temporaire (1), selon une première interface de collage (I1) possédant une première énergie de collage et une force d'adhésion (Fa1) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2) ;
 - une deuxième étape (E2) d'assemblage d'une deuxième face (2b) de la couche active (2) sur le substrat final (3), selon une deuxième interface de collage (I2) possédant une deuxième énergie de collage ;
 - une troisième étape (E3) consistant à générer une contrainte en cisaillement, la contrainte en cisaillement s'exerçant, d'une part, au niveau de la première interface de collage (I1) selon une première force de cisaillement (Fc1) appliquée par le substrat temporaire (1), et d'autre part, au niveau de la deuxième interface de collage (I2) selon une deuxième force de cisaillement (Fc2) appliquée par le substrat final (3) ;caractérisé en ce qu'une onde de séparation est initiée entre la couche active (2) et le substrat temporaire (1) lorsque la deuxième énergie de collage est supérieure à la première énergie de collage, et la première force de cisaillement (Fc1) est supérieure à la force d'adhésion (Fa1).
2. Procédé de transfert selon la revendication 1, dans lequel le substrat final (3) et le substrat temporaire (1) possèdent des caractéristiques de dilatation thermique différentes, et la contrainte en cisaillement (Fc1, Fc2) est générée par un traitement thermique, dit de séparation, du substrat temporaire (1), de la couche active (2) et du substrat final (3) ainsi assemblés à une température cible prédéterminée.
3. Procédé de transfert selon la revendication 2, dans lequel le substrat temporaire (1) est en saphire, et le substrat final (3) en silicium.

4. Procédé de transfert selon la revendication 2, dans lequel la température cible du traitement thermique de séparation correspondant à l'intervalle de températures où la deuxième énergie de collage est supérieure à la première énergie de collage, et la première force de cisaillement (F_{c1}) est supérieure à la force d'adhésion (F_{a1}) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2)
- 5
5. Procédé de transfert selon la revendication 2, dans lequel le traitement thermique de séparation est réalisé à une température comprise entre 50°C et 450°C.
- 10
6. Procédé de transfert selon la revendication 1, dans lequel la contrainte en cisaillement est générée par l'application, sur le substrat temporaire (1) ou final (3), d'un effort suffisant pour que la première force de cisaillement (F_{c1}) soit supérieure à la force d'adhésion (F_{a1}) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2).
- 15
7. Procédé de transfert selon la revendication 2 ou 6, dans lequel, avant la troisième étape (E3), l'énergie de collage de la première interface de collage (I1) et/ou l'énergie de collage de la deuxième interface de collage (I2) sont ajustées l'une par rapport à l'autre, de sorte que lors de la troisième étape (E3), la deuxième énergie de collage est supérieure à la première énergie de collage, et la première force de cisaillement (F_{c1}) est supérieure à la force d'adhésion (F_{a1}) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2).
- 20
8. Procédé de transfert selon la revendication 1, dans lequel, après la troisième étape E3, l'onde de séparation est déclenchée par l'introduction d'un élément séparateur (4) entre le substrat temporaire (1) et la couche active (2) au niveau de la bordure de la première interface (I1).
- 25
- 30

1/5

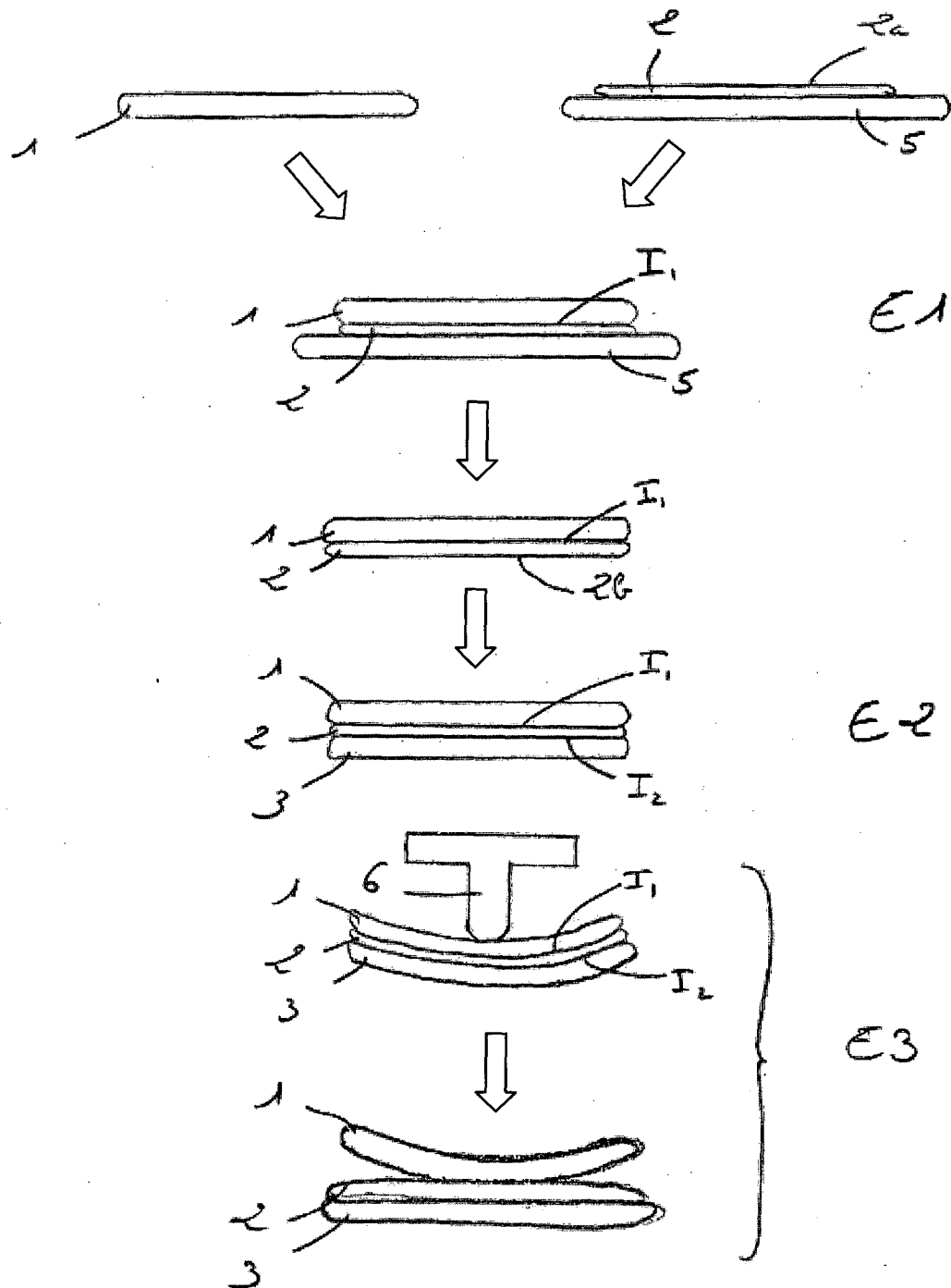


Fig. 1

2/5

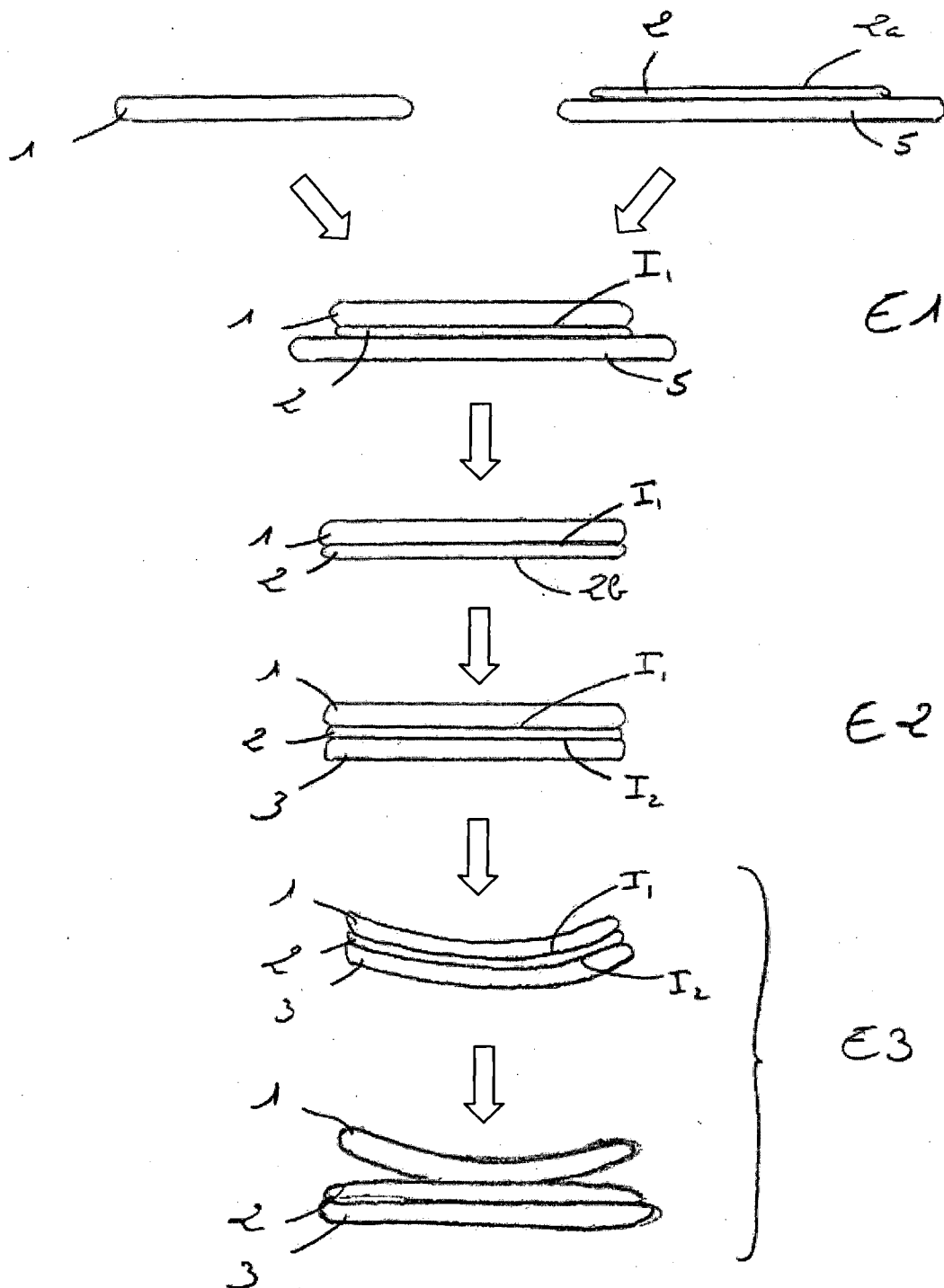


Fig. 2

3/5

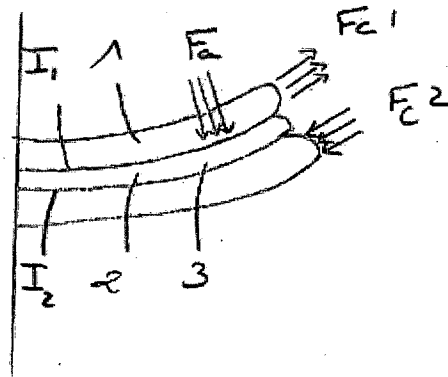


Fig. 3

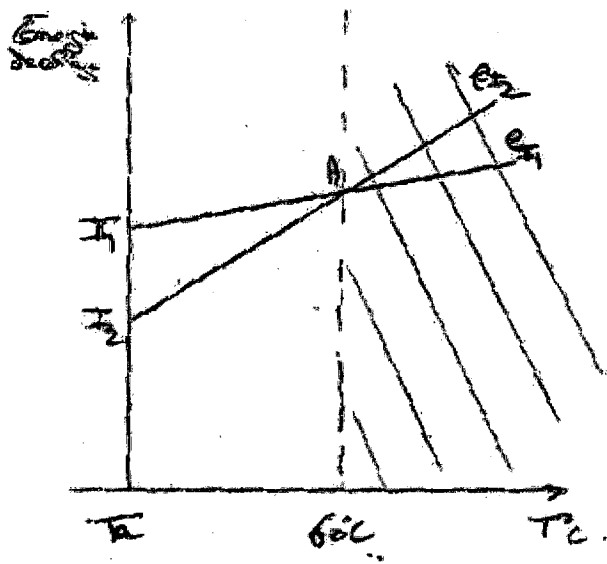


Fig. 4a

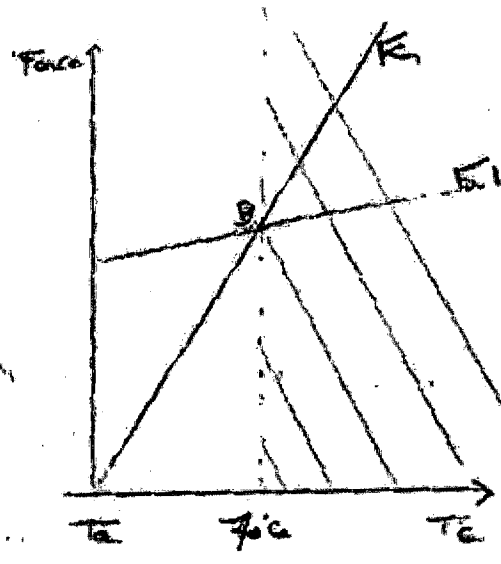


Fig. 4b

4/5

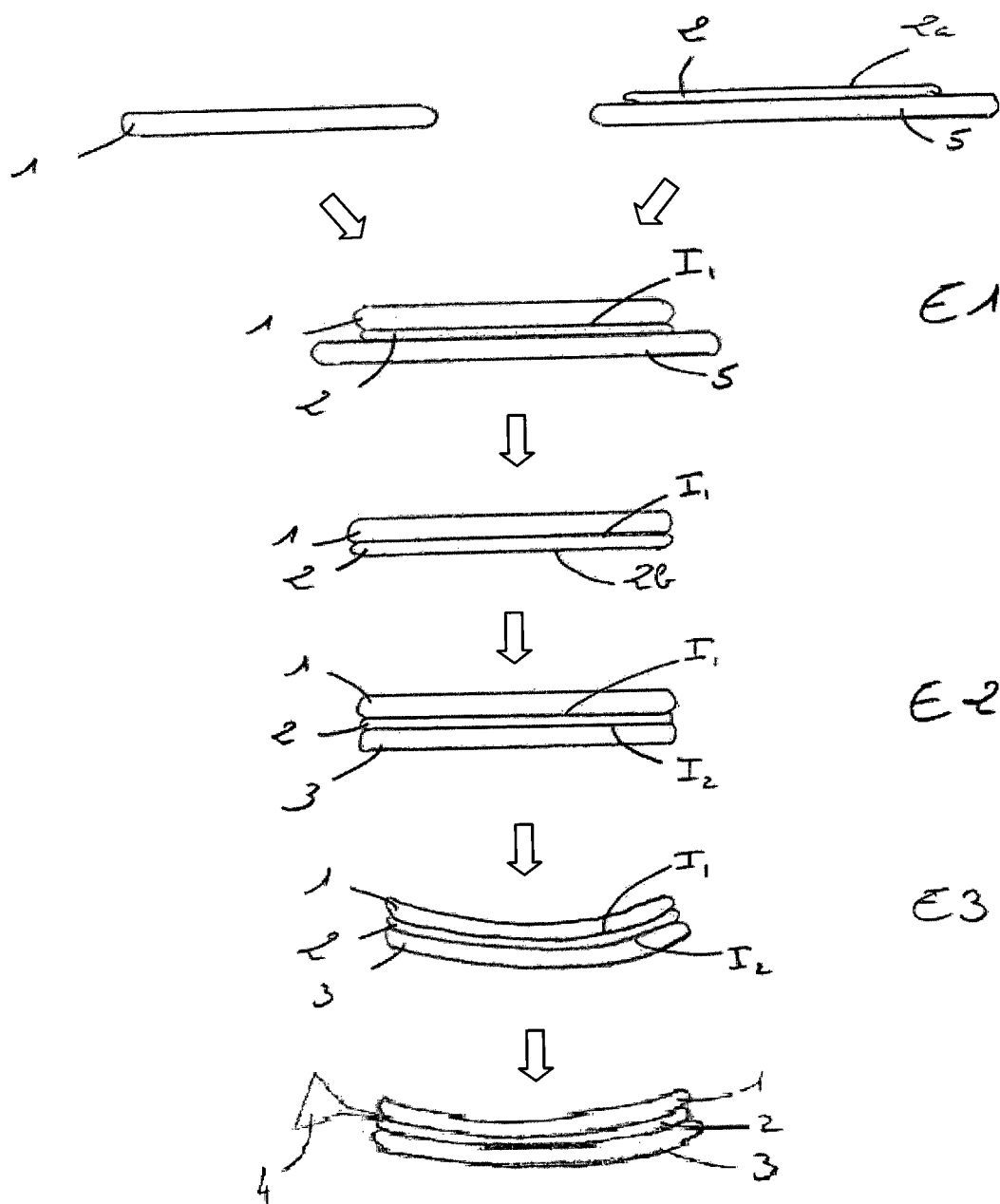


Fig. 5

5/5

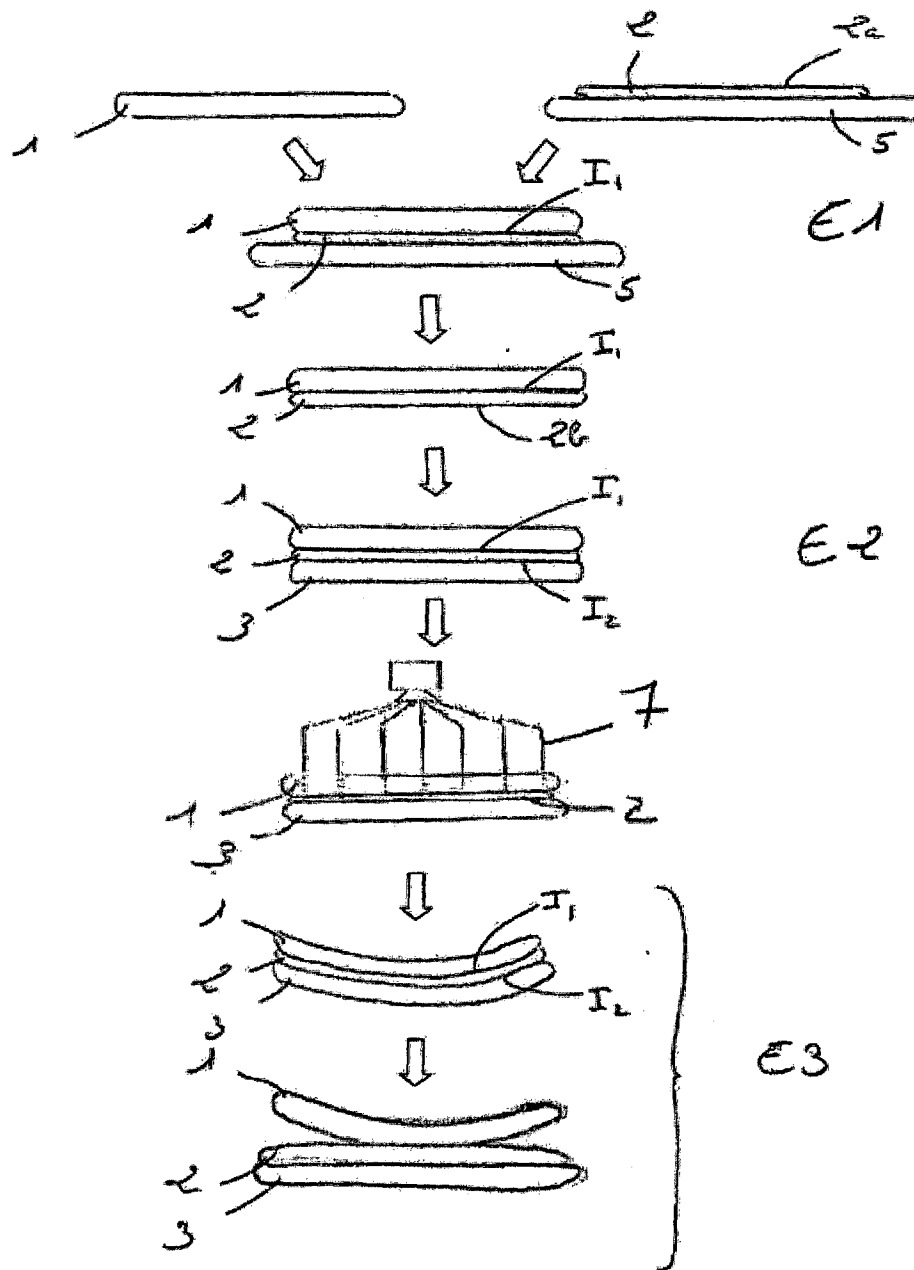


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2015/000382

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L21/683

ADD.

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)

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/029224 A1 (ASPAR BERNARD [FR] ET AL) 10 February 2005 (2005-02-10) figures 1-4, 19-22 paragraphs [0023] - [0067], [0121] - [0129], [0146] - [0151], [0166], [0167] -----	1,6-8
X	US 2012/115262 A1 (MENARD ETIENNE [US] ET AL) 10 May 2012 (2012-05-10) figure 9 paragraphs [0068], [0069] -----	1,6
X	US 2005/112885 A1 (RAYSSAC OLIVIER [FR] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26) figure 1 paragraphs [0014], [0017], [0028], [0030], [0032] - [0042], [0047], [0051], [0052] ----- -/-	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

1 June 2015

Date of mailing of the international search report

11/06/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Crampin, Nicola

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2015/000382

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 863 830 A (BRUEL MICHEL [FR] ET AL) 26 January 1999 (1999-01-26) figures 1-4 column 4, line 50 - column 5, line 67 -----	1,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2015/000382

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005029224 A1	10-02-2005	AU 2002304525 A1 CN 1528009 A EP 1378003 A2 FR 2823596 A1 JP 4540933 B2 JP 2004535664 A JP 2010114456 A KR 20040000425 A TW 577102 B US 2005029224 A1 WO 02084721 A2	28-10-2002 08-09-2004 07-01-2004 18-10-2002 08-09-2010 25-11-2004 20-05-2010 03-01-2004 21-02-2004 10-02-2005 24-10-2002
US 2012115262 A1	10-05-2012	TW 201350248 A US 2012115262 A1 WO 2013109593 A2	16-12-2013 10-05-2012 25-07-2013
US 2005112885 A1	26-05-2005	AU 2003232414 A1 EP 1502298 A1 FR 2839199 A1 JP 4854958 B2 JP 2005524241 A KR 20040102197 A US 2005112885 A1 WO 03094224 A1	17-11-2003 02-02-2005 31-10-2003 18-01-2012 11-08-2005 03-12-2004 26-05-2005 13-11-2003
US 5863830 A	26-01-1999	EP 0703609 A1 FR 2725074 A1 JP 3819954 B2 JP H0897389 A US 5863830 A	27-03-1996 29-03-1996 13-09-2006 12-04-1996 26-01-1999

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2015/000382

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L21/683 ADD.		
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) 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 cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2005/029224 A1 (ASPAR BERNARD [FR] ET AL) 10 février 2005 (2005-02-10) figures 1-4, 19-22 alinéas [0023] - [0067], [0121] - [0129], [0146] - [0151], [0166], [0167] -----	1,6-8
X	US 2012/115262 A1 (MENARD ETIENNE [US] ET AL) 10 mai 2012 (2012-05-10) figure 9 alinéas [0068], [0069] -----	1,6
X	US 2005/112885 A1 (RAYSSAC OLIVIER [FR] ET AL) 26 mai 2005 (2005-05-26) figure 1 alinéas [0014], [0017], [0028], [0030], [0032] - [0042], [0047], [0051], [0052] ----- -/-	1-7
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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 1 juin 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 11/06/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Crampin, Nicola

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 863 830 A (BRUEL MICHEL [FR] ET AL) 26 janvier 1999 (1999-01-26) figures 1-4 colonne 4, ligne 50 - colonne 5, ligne 67 -----	1,6

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2015/000382

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005029224 A1	10-02-2005	AU 2002304525 A1	28-10-2002
		CN 1528009 A	08-09-2004
		EP 1378003 A2	07-01-2004
		FR 2823596 A1	18-10-2002
		JP 4540933 B2	08-09-2010
		JP 2004535664 A	25-11-2004
		JP 2010114456 A	20-05-2010
		KR 20040000425 A	03-01-2004
		TW 577102 B	21-02-2004
		US 2005029224 A1	10-02-2005
		WO 02084721 A2	24-10-2002
US 2012115262 A1	10-05-2012	TW 201350248 A	16-12-2013
		US 2012115262 A1	10-05-2012
		WO 2013109593 A2	25-07-2013
US 2005112885 A1	26-05-2005	AU 2003232414 A1	17-11-2003
		EP 1502298 A1	02-02-2005
		FR 2839199 A1	31-10-2003
		JP 4854958 B2	18-01-2012
		JP 2005524241 A	11-08-2005
		KR 20040102197 A	03-12-2004
		US 2005112885 A1	26-05-2005
		WO 03094224 A1	13-11-2003
US 5863830 A	26-01-1999	EP 0703609 A1	27-03-1996
		FR 2725074 A1	29-03-1996
		JP 3819954 B2	13-09-2006
		JP H0897389 A	12-04-1996
		US 5863830 A	26-01-1999