



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **704 884 B1**

(51) Int. Cl.: **H05K** 1/11 (2006.01)  
**H05K** 3/42 (2006.01)

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

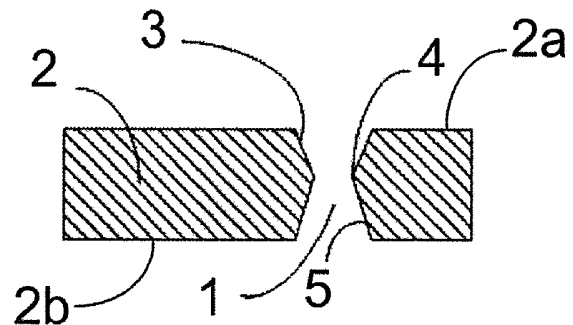
(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00738/11	(73) Titulaire(s): CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique S.A. - Recherche et Développement, Rue Jaquet-Droz 1 2002 Neuchâtel (CH)
(22) Date de dépôt: 29.04.2011	
(43) Demande publiée: 31.10.2012	(72) Inventeur(s): Francis Cardot, 2000 Neuchâtel (CH) Dominique Solignac, 1304 Penthalaz (CH) Sylvain Jeanneret, 2013 Colombier (CH)
(24) Brevet délivré: 30.04.2015	
(45) Fascicule du brevet publié: 30.04.2015	(74) Mandataire: GLN S.A., Avenue Edouard-Dubois 20 2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Substrat destiné à recevoir des contacts électriques.**

(57) L'invention concerne un substrat (2) comprenant une face avant (2a) et une face arrière (2b) et au moins un trou traversant (1) reliant ladite face avant (2a) à ladite face arrière (2b) et destiné à recevoir un contact électrique.

Selon l'invention, ledit trou traversant (1) présente au moins une partie convergente (3) et au moins une partie divergente (5) reliées par un col de jonction (4).



## Description

### Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un substrat comprenant une face avant et une face arrière et au moins un trou traversant reliant ladite face avant à ladite face arrière et destiné à recevoir un contact électrique. L'invention concerne également un tel substrat pourvu d'un contact électrique ainsi qu'un procédé de fabrication d'un tel substrat.

### Etat de la technique

[0002] Afin de répondre à l'augmentation de la densité d'intégration notamment pour la microélectronique avancée et les microsystèmes, une voie consiste à superposer les différents éléments, tels que les puces électroniques, au lieu de les juxtaposer, pour réaliser des structures en trois dimensions. Cette stratégie requiert l'utilisation d'interconnexions conductrices verticales entre les éléments. De ce fait, des substrats comprenant des contacts électriques traversant sont de plus en plus utilisés pour le packaging de microsystèmes.

[0003] Cette nouvelle technologie, appelée «intégration 3-D», repose en partie sur la possibilité de réaliser des vias traversant le substrat, appelés TSV pour Through-Silicon Vias lorsque le substrat est du silicium ou Through-Glass Vias TGV lorsque le substrat est du verre.

[0004] Grâce à ces contacts, des connexions électriques sont possibles sur les deux faces du substrat. Ainsi, dans le domaine de la microélectronique et des MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), ces contacts permettent la formation de systèmes complexes d'empilage et l'interconnexion des différentes puces. Ces contacts sont aussi très utiles pour l'encapsulation sous atmosphère contrôlée de MEMS.

[0005] La plupart du temps, ces contacts sont réalisés par perçage d'un trou au travers du substrat. Lorsque le substrat est du silicium par exemple, les parois du trou traversant sont alors recouvertes d'une couche isolante. Le trou traversant est ensuite rempli de métal, soit sous forme de pâte métallique, soit par un procédé galvanique faisant intervenir un dépôt à partir d'une base métallique assemblée sur le substrat ou via une première couche métallique déposée par évaporation.

[0006] Généralement, ces trous traversant ont un profil droit ou légèrement conique et il est nécessaire de prévoir une surcroissance ou une protubérance de métal afin d'assurer la stabilité mécanique du contact ainsi réalisé, à la manière d'un rivet, tel que cela est décrit dans la publication IMEC, Scientific Report 2008, 3D wafer level packaging (3D-WLP). De telles protubérances peuvent être prévues sur l'une ou l'autre des faces du substrat, voire sur les deux faces.

[0007] Un des problèmes rencontrés avec ce type de contact est que la forme de rivet induit des surépaisseurs à la surface du substrat, ce qui peut être pénalisant pour les étapes ultérieures de fabrication d'un système en surface. Cette augmentation de la topologie présente aussi des problèmes pour l'assemblage par empilement de différents substrats.

[0008] Un autre problème rencontré avec ce type de contact est la tenue en température. En effet, le matériau constituant le via a généralement un coefficient de dilatation plus élevé que celui du substrat. De ce fait, le chauffage du substrat provoque une concentration de contrainte sous les deux têtes du rivet, conduisant à des fissures dans le substrat, tel que cela est décrit dans la publication Failure Mechanisms and Optimum Design for Electroplated Copper Through-Silicon Vias, Xi Liu and col., 2009 Electronic Components and Technology Conférence.

[0009] Si les têtes du contact en rivet ne sont pas créées, la partie métallique du contact en rivet présente dans le substrat n'est plus mécaniquement stable. Ainsi le contact électrique peut se déplacer, ce qui n'autorise pas d'assemblage ultérieur par thermocompression. Il existe également un grand risque de fuite dans le cas d'encapsulation sous atmosphère contrôlée.

[0010] Un objet de la présente invention est de proposer un substrat comprenant des contacts électriques traversant qui sont peu sensibles aux effets thermiques et stables mécaniquement afin de permettre un assemblage par thermocompression.

[0011] Un autre objet de la présente invention est de proposer un substrat comprenant des contacts électriques traversant présentant une forme permettant un assemblage par empilement optimum de différents substrats.

### Divulcation de l'invention

[0012] A cet effet, et conformément à la présente invention, il est proposé un substrat comprenant une face avant et une face arrière et au moins un trou traversant reliant ladite face avant à ladite face arrière et destiné à recevoir un contact électrique. Selon l'invention, ledit trou traversant présente au moins une partie convergente et au moins une partie divergente reliées par un col de jonction.

[0013] Le contact électrique créé par remplissage d'un tel trou traversant est stable mécaniquement sans qu'il soit nécessaire de prévoir des protubérances à la surface du substrat. Le contact électrique ne présente ainsi pas de partie hors du plan des deux faces du substrat, permettant un empilage optimum de plusieurs substrats.

[0014] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un substrat tel que défini ci-dessus, ledit procédé comprenant une étape de formation dans le substrat d'un trou traversant reliant la face avant à la face arrière

et destiné à recevoir un contact électrique, ledit trou traversant présentant au moins une partie convergente et au moins une partie divergente reliées par un col de jonction.

**[0015]** La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un substrat tel que défini ci-dessus et comprenant, disposé dans son trou traversant, un contact électrique réalisé dans au moins une matière conductrice, ledit procédé comprenant une étape de formation dans le substrat d'un trou traversant reliant la face avant à la face arrière et destiné à recevoir un contact électrique, ledit trou traversant présentant au moins une partie convergente et au moins une partie divergente reliées par un col de jonction, et une étape de dépôt de ladite matière conductrice dans le trou traversant.

### Brève description des dessins

**[0016]** D'autres détails de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la fig. 1 est une vue en coupe d'un substrat présentant un trou traversant selon l'invention,
- la fig. 2 est une vue en coupe d'un substrat comprenant un contact électrique traversant selon l'invention, et
- la fig. 3 représente les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'un substrat comprenant un contact électrique traversant selon l'invention.

### Modes de réalisation de l'invention

**[0017]** En référence aux fig. 1 et 2, il est représenté un exemple de substrat comprenant respectivement un trou traversant et un contact électrique traversant selon l'invention.

**[0018]** Le substrat 2 comprend une face avant 2a et une face arrière 2b et au moins un trou traversant 1 reliant ladite face avant 2a à ladite face arrière 2b et destiné à recevoir un contact électrique 6.

**[0019]** Conformément à l'invention, ledit trou traversant 1 présente une partie convergente 3 et une partie divergente 5 reliées par un col de jonction 4.

**[0020]** D'une manière préférée, la partie convergente 3 converge depuis la face avant 2a du substrat 2 jusqu'àudit col de jonction 4 et la partie divergente 5 diverge depuis le col de jonction 4 jusqu'à la face arrière 2b du substrat 2.

**[0021]** Selon la variante de réalisation représentée ici, ledit trou traversant 1 comprend des parois convergentes ou divergentes qui, en section axiale, présentent une forme droite. Ainsi, le trou traversant 1 présente la forme de deux troncs de cône opposés par le sommet et reliés par le col de jonction 4.

**[0022]** Dans une autre variante de réalisation non représentée, le trou traversant peut comprendre des parois convergentes ou divergentes qui, en section axiale, présentent une forme courbe, de sorte que le trou traversant présente une forme de diabol.

**[0023]** La section transversale du trou traversant peut être de toute forme, telle que ronde, carrée, ou rectangulaire.

**[0024]** De préférence, le col de jonction 4 se situe, par rapport à chacune des faces avant 2a et arrière 2b du substrat 2, à une distance correspondant à au moins 10%, de préférence au moins 15%, de l'épaisseur du substrat 2.

**[0025]** Par ailleurs, la partie convergente 3, respectivement la partie divergente 5, est avantageusement réalisée de sorte que son angle d'ouverture a par rapport au plan de la face avant 2a, respectivement arrière 2b, du substrat 2 est compris entre 60° et 85°, et de préférence compris entre 68° et 78°.

**[0026]** Le substrat 2 peut être une plaque en verre, en céramique, en polymère (pur ou composite) ou en matériau semi-conducteur, tel que du silicium.

**[0027]** Le substrat 2 peut présenter une épaisseur comprise entre 50 µm et 2 mm, et de préférence comprise entre 150 µm et 1 mm.

**[0028]** De plus, les dimensions des parties convergente 3 et divergente 5 sont de préférence telles que les dimensions de l'ouverture du trou traversant pris à la surface du substrat 2 sont comprises entre 10 µm et 500 µm, et de préférence compris entre 100 µm et 300 µm.

**[0029]** De préférence, le col de jonction 4 présente une ouverture dont la dimension est inférieure à 80% de la dimension de la plus petite ouverture du trou traversant, prise à la surface de la face avant 2a ou de la face arrière 2b du substrat 2. La dimension de l'ouverture du col de jonction est toutefois suffisante pour permettre le remplissage du trou traversant par la matière conductrice pour former le contact électrique.

**[0030]** D'une manière avantageuse, le trou traversant 1 ne présente qu'un seul col de jonction 4 de sorte que tous les substrats présentant des trous traversant formés par recuit et présentant des rugosités ne font pas partie de l'invention.

## CH 704 884 B1

**[0031]** Le contact électrique 6 disposé dans le trou traversant 1 formé selon l'invention dans le substrat 2, est réalisé dans au moins une matière conductrice qui peut comprendre au moins un métal ou au moins un alliage métallique, tel que le cuivre, l'or ou tout autre métal ou alliage métallique approprié.

**[0032]** D'une manière avantageuse, la matière conductrice comprend un premier matériau conducteur constituant au moins partiellement ledit contact électrique 6.

**[0033]** D'une manière préférée, ledit premier matériau conducteur a un coefficient d'expansion thermique présentant une différence d'au plus 3 ppm par rapport à celui du substrat 2.

**[0034]** D'une manière avantageuse, ledit premier matériau conducteur est un alliage de fer et de nickel, dans lequel la teneur massique en nickel est comprise entre 20% et 80%, de préférence entre 25% et 50%, et plus préférentiellement entre 32% et 40% de l'alliage.

**[0035]** En outre, dans le cas où le premier matériau conducteur ne constitue qu'une partie du contact électrique, la matière conductrice dudit contact électrique peut comprendre au moins un deuxième matériau conducteur. Ledit au moins deuxième matériau conducteur peut être présent sous la forme de couches, par exemple alternées avec des couches du premier matériau conducteur, ou peut former avec ledit premier matériau conducteur un ensemble hétérogène. Le deuxième matériau peut par exemple être prévu sous la forme d'une couche à la surface du contact électrique. Le deuxième matériau conducteur peut être de l'or ou tout autre métal ou alliage métallique approprié.

**[0036]** Grâce à la forme spécifique du trou traversant réalisé dans le substrat, le contact électrique 6, créé par remplissage dudit trou traversant 1, est stable mécaniquement. Il est de ce fait insensible aux poussées verticales que l'on pourrait lui appliquer. En conséquence, le contact électrique 6 ne nécessite pas de parties débordant sur les faces du substrat 2. Ainsi, le contact électrique 6 présente des surfaces libres qui arrivent à fleur respectivement de la face avant 2a et de la face arrière 2b du substrat 2. L'empilement des substrats est donc optimum et n'est pas gêné par d'éventuelles surépaisseurs à la surface du substrat.

**[0037]** D'autre part la tenue en température du contact électrique 6 selon l'invention est bien meilleure que les contacts à parois droite et en forme de rivet. En effet, lors d'une dilatation plus importante du métal constituant le contact électrique que du matériau du substrat, les forces exercées latéralement sont beaucoup plus faibles car l'inclinaison des parois du trou décompose cette force d'appui en une composante latérale et une composante verticale.

**[0038]** La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un substrat tel que décrit ci-dessus, comprenant une étape de formation dans le substrat 2 d'un trou traversant 1 reliant la face avant 2a à la face arrière 2b du substrat 2, ledit trou traversant 1 présentant au moins une partie convergente 3 et au moins une partie divergente 5 reliées par un col de jonction 4.

**[0039]** D'une manière avantageuse, le trou traversant est formé par un procédé de gravure au travers d'un masque. Plus particulièrement, la forme du trou traversant selon l'invention peut être obtenue en utilisant depuis chaque face du substrat un procédé de gravure, par exemple anisotrope, au travers d'un masque, tel qu'une attaque humide, une gravure par plasma ou une gravure par sablage.

**[0040]** En outre, le procédé selon l'invention comprend une étape de dépôt, dans le trou traversant, de la matière conductrice dans laquelle est réalisé le contact électrique. De préférence, la matière conductrice remplit entièrement le trou traversant de sorte que les surfaces libres du contact électrique arrivent à fleur respectivement de la face avant 2a et de la face arrière 2b du substrat 2.

**[0041]** Selon les modes de réalisation, la matière conductrice peut être déposée par voie galvanique ou sous la forme d'une pâte stabilisée par chauffage après sa mise en place dans le trou traversant.

**[0042]** Dans le cas où le substrat est réalisé dans un matériau conducteur, les parois du trou doivent être recouvertes d'un isolant électrique, par exemple par formation d'un oxyde thermique dans le cas du silicium.

**[0043]** Le procédé selon l'invention peut comprendre, entre l'étape de formation du trou traversant et l'étape de dépôt de la matière conductrice, une étape de positionnement d'une feuille conductrice sur l'une des faces avant et arrière du substrat. Le procédé selon l'invention peut comprendre, préalablement à l'étape de positionnement de ladite feuille conductrice, une étape de dépôt, sur l'une des faces avant et arrière du substrat, d'un matériau adhésif présentant une viscosité contrôlée de manière à ne pas pénétrer dans le trou traversant.

**[0044]** Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une étape de finition comprenant un traitement mécanique de la surface du substrat, permettant d'obtenir un substrat comprenant des contacts électriques traversant plan et poli.

**[0045]** En référence à la fig. 3, il est décrit un mode de réalisation préféré du procédé selon l'invention.

**[0046]** A l'étape a), le substrat 2, ici choisi isolant au départ, est percé d'un trou traversant 1 présentant le profil selon l'invention, au moyen d'une attaque sur chaque face du substrat 2 par sablage au travers de masques de résine.

**[0047]** A l'étape b), après retrait des masques, une couche de matériau adhésif 8, par exemple une colle, est appliquée au moyen d'un système de dispense identique à ceux des systèmes d'encre utilisés en imprimerie. De cette manière, une

## CH 704 884 B1

couche de colle d'épaisseur contrôlée 9 est déposée uniquement sur la face arrière 2b du substrat 2 qui a été en contact avec le rouleau applicateur 7. La viscosité de la colle est choisie de façon à ce qu'elle ne coule pas dans le trou traversant 1.

**[0048]** A l'étape c), une feuille de métal 11, par exemple en laiton, est alors appliquée sur la face arrière 2b du substrat 2 par pression sur la couche de colle 9 au moyen de rouleaux de laminage 10. La face non collée de la feuille de métal 11 peut être recouverte d'un isolant électrique (non représenté).

**[0049]** A l'étape d), le fond du trou traversant 1 est alors constitué de la surface conductrice de la feuille métallique 11 à partir de laquelle une déposition galvanique d'un métal ou d'un alliage métallique permet de réaliser un contact électrique 12 au travers du substrat 2.

**[0050]** A l'étape e), un rodage et un polissage sur les deux faces avant 2a et arrière 2b du substrat 2 permettent alors d'obtenir un substrat plan et poli, avec un contact électrique 6 traversant et étanche. La feuille métallique 11 peut toutefois être conservée au moins partiellement pour permettre de graver des pistes pour réaliser des interconnexions.

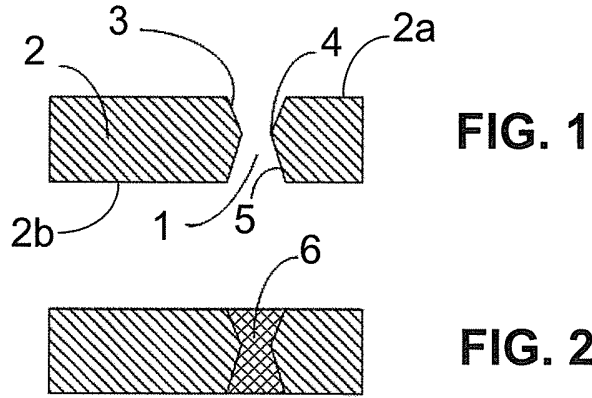
**[0051]** La présente invention concerne également un substrat comprenant une face avant et une face arrière, au moins un trou traversant reliant ladite face avant à ladite face arrière, et un contact électrique disposé dans ledit trou traversant et réalisé dans une matière conductrice constituée au moins partiellement d'un matériau conducteur. Ledit matériau conducteur est un alliage de fer et de nickel, dans lequel la teneur massique en nickel est comprise entre 20% et 80%, de préférence entre 25% et 50%, et plus préférentiellement entre 32% et 40% de l'alliage. Un tel alliage permet de régler le coefficient d'expansion thermique du matériau constituant le contact pour qu'il présente une différence d'au plus 3 ppm par rapport à celui du substrat. L'alliage fer/nickel pour remplir tout ou partie du trou traversant pour former tout ou partie du contact électrique. Le trou traversant peut être de toute forme.

### Revendications

1. Substrat (2) comprenant une face avant (2a) et une face arrière (2b) et au moins un trou traversant (1) reliant ladite face avant (2a) à ladite face arrière (2b) et destiné à recevoir un contact électrique (6), caractérisé en ce que ledit trou traversant (1) présente au moins une partie convergente (3) et au moins une partie divergente (5) reliées par un col de jonction (4).
2. Substrat selon la revendication 1, caractérisé en ce que la partie convergente (3) converge depuis la face avant (2a) du substrat (2) jusqu'audit col de jonction (4).
3. Substrat selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la partie divergente (5) diverge depuis le col de jonction (4) jusqu'à la face arrière (2b) du substrat (2).
4. Substrat selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit trou traversant (1) comprend des parois qui, en section axiale, présentent une forme droite de sorte que le trou traversant (1) présente la forme de deux troncs de cône opposés par le sommet et reliés par le col de jonction (4).
5. Substrat selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit trou traversant (1) comprend des parois qui, en section axiale, présentent une forme courbe.
6. Substrat selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le col de jonction (4) se situe, par rapport à chacune des faces avant (2a) et arrière (2b) du substrat (2), à une distance correspondant à au moins 10% de l'épaisseur du substrat (2).
7. Substrat selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'angle d'ouverture (a) de la partie convergente (3), respectivement divergente (5), par rapport au plan de la face avant (2a), respectivement arrière (2b), du substrat (2) est compris entre 60° et 85°.
8. Substrat selon l'une des revendications précédentes, comprenant, disposé dans ledit trou traversant (1), un contact électrique (6) réalisé dans au moins une matière conductrice comprenant au moins un métal ou au moins un alliage métallique.
9. Substrat selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière conductrice comprend un premier matériau conducteur constituant au moins partiellement ledit contact électrique.
10. Substrat selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit premier matériau conducteur a un coefficient d'expansion thermique présentant une différence d'au plus 3 ppm par rapport à celui du substrat (2).
11. Substrat selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit premier matériau conducteur est un alliage de fer et de nickel, dans lequel la teneur massique en nickel est comprise entre 20% et 80%, de préférence entre 25% et 50%, et plus préférentiellement entre 32% et 40% de l'alliage.
12. Procédé de fabrication d'un substrat selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de formation dans le substrat (2) d'un trou traversant (1) reliant la face avant (2a) à la face arrière (2b) et destiné à recevoir un contact électrique (6), ledit trou traversant (1) présentant au moins une partie convergente (3) et au moins une partie divergente (5) reliées par un col de jonction (4).

## CH 704 884 B1

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le trou traversant (1) est formé par un procédé de gravure au travers d'un masque.
14. Procédé de fabrication d'un substrat selon l'une des revendications 8 à 11, ledit substrat (2) comprenant, disposé dans ledit trou traversant (1), un contact électrique (6) réalisé dans au moins une matière conductrice, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de formation dans le substrat (2) d'un trou traversant (1) reliant la face avant (2a) à la face arrière (2b) et destiné à recevoir un contact électrique (6), ledit trou traversant (1) présentant au moins une partie convergente (3) et au moins une partie divergente (5) reliées par un col de jonction (4), et une étape de dépôt de ladite matière conductrice dans le trou traversant (1).
15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que la matière conductrice est déposée par voie galvanique.
16. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que la matière conductrice est déposée sous la forme d'une pâte stabilisée par chauffage après sa mise en place dans le trou traversant (1).
17. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comprend, entre l'étape de formation du trou traversant (1) et l'étape de dépôt de la matière conductrice, une étape de positionnement d'une feuille conductrice (11) sur l'une des faces avant (2a) et arrière (2b) du substrat (2).
18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'il comprend, préalablement à l'étape de positionnement de ladite feuille conductrice (11), une étape de dépôt, sur l'une des faces avant (2a) et arrière (2b) du substrat (2), d'un matériau adhésif (8) présentant une viscosité contrôlée de manière à ne pas pénétrer dans le trou traversant (1).
19. Procédé selon l'une des revendications 14 à 18, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de finition comprenant un traitement mécanique de la surface du substrat (2).



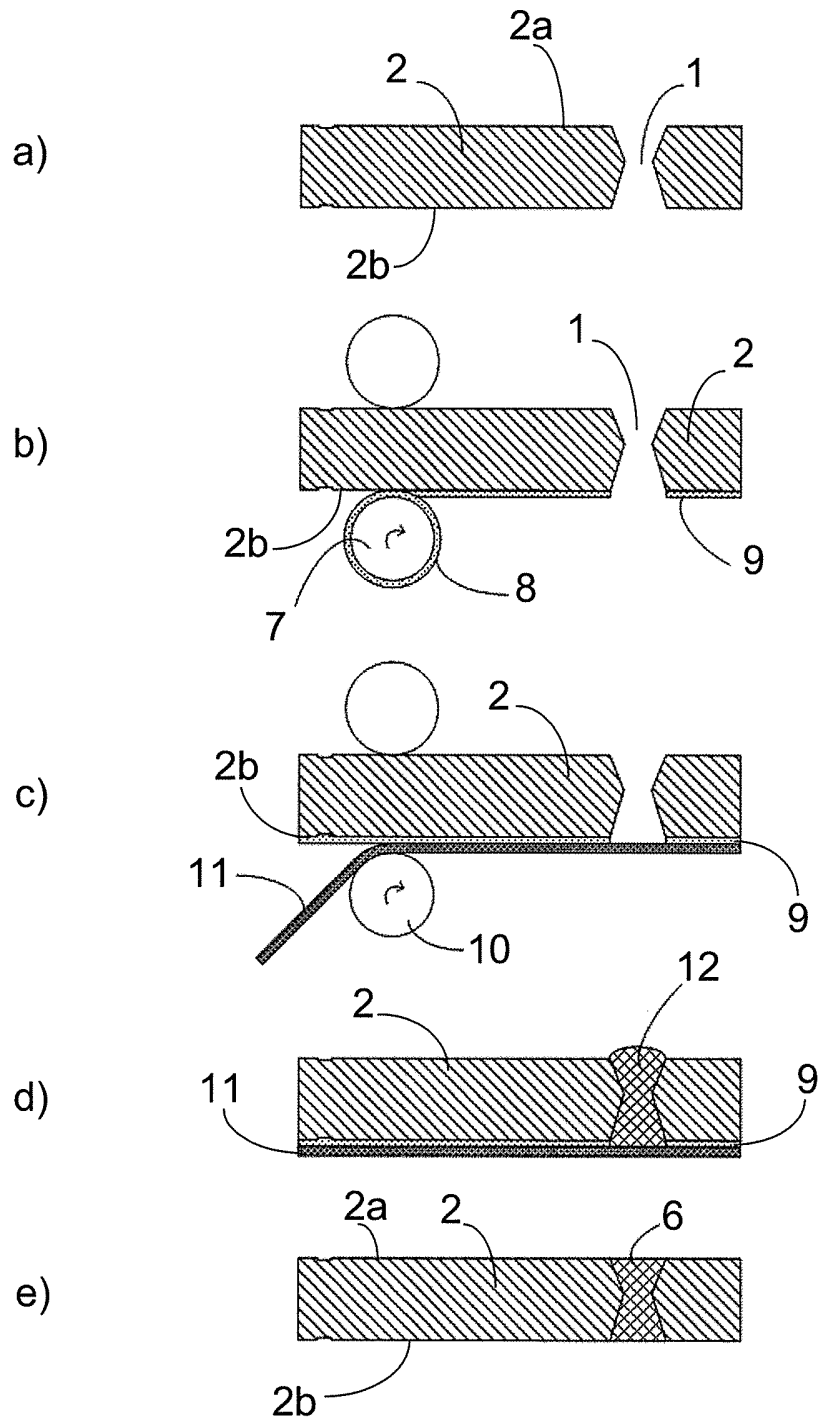


FIG. 3