

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication :

2 897 051

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national :

07 53097

51) Int Cl<sup>8</sup> : B 81 B 3/00 (2006.01), A 61 B 8/12

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 06.02.07.

30) Priorité : 09.02.06 US 11350424.

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 10.08.07 Bulletin 07/32.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY — US.

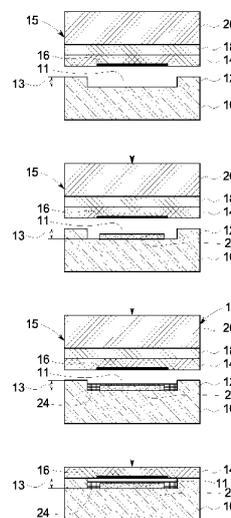
72) Inventeur(s) : TIAN WEI CHENG, SMITH LOWELL SCOTT, WEI CHING YEU, WODNICKI ROBERT GIDEON, FISHER RAYETTE ANN, MILLS DAVID M, CHU STANLEY CHIENWU et KWON HYON JIN.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CASALONGA ET JOSSE.

54) TRANSDUCTEUR A ULTRASONS MICRO-USINE CAPACITIF ET PROCEDE POUR SA FABRICATION.

57) Il est proposé un procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif. Le procédé comprend la fourniture d'un substrat porteur (10), où le substrat porteur (10) comprend du verre. L'étape de fourniture du substrat en verre peut comprendre la formation de traversées dans le substrat en verre. En outre, le procédé comprend la fourniture d'une membrane (14) de telle manière qu'au moins un du substrat porteur (10) et de la membrane (14) comprend des montants de support (12), les montants de support (12) étant configurés pour définir une profondeur de cavité (13). Le procédé comprend en outre l'assemblage de la membrane au substrat porteur par utilisation des montants de support, où le substrat porteur, la membrane et les montants de support (12) forment une cavité acoustique.



FR 2 897 051 - A1



**B 07-0112 FR**

**Société dite : GENERAL ELECTRIC COMPANY**

**Transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif et procédés pour sa fabrication**

**Invention de : TIAN Wei-Cheng  
SMITH Lowell Scott  
WEI Ching-Yeu  
WODNICKI Robert Gideon  
FISHER Rayette Ann  
MILLS David Martin  
CHU Stanley Chienwu  
KWON Hyon-Jin**

**Priorité d'une demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le 9 février 2006 sous le n° 11/350.424.**

## TRANSDUCTEUR A ULTRASONS MICRO-USINE CAPACITIF ET PROCEDES POUR SA FABRICATION

L'invention porte globalement sur le domaine de l'imagerie diagnostique, et en particulier sur des transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs (cMUT) et des procédés pour leur fabrication.

Les transducteurs sont des dispositifs qui transforment des signaux d'entrée d'un certain type en signaux de sortie d'un type différent. Des transducteurs couramment utilisés comprennent des capteurs optiques, des capteurs thermiques et des capteurs acoustiques. Un transducteur à ultrasons est un exemple de capteur acoustique qui peut être mis en œuvre en imagerie médicale, en examen non destructif et dans d'autres applications.

Un transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif (cMUT) est un type actuel de transducteur à ultrasons. Une cellule cMUT comprend généralement un substrat, une électrode inférieure qui peut être couplée au substrat, une membrane suspendue au-dessus du substrat par des montants de support, et une couche de métallisation qui sert d'électrode supérieure. L'électrode inférieure, la membrane et l'électrode supérieure délimitent l'étendue verticale de la cavité, tandis que les montants de support délimitent l'étendue latérale de la cavité. Le substrat typiquement employé dans une cellule cMUT contient un matériau fortement conducteur, tel que du silicium fortement dopé. Cela fait augmenter les valeurs de capacité parasite et de courant de fuite dans une cellule cMUT. De plus, les substrats actuels, tels que du silicium, nécessitent un traitement à haute température, ce qui augmente le nombre d'étapes de traitement. Par exemple, bien qu'on emploie un substrat en silicium dans une cellule cMUT, la membrane et les montants de support, qui sont typiquement des oxydes développés sur le substrat, sont couplés l'un à l'autre en employant un soudage par fusion qui s'effectue à des températures supérieures à 900°C. S'il existe des différences entre les coefficients de dilatation thermique des diverses couches de la cellule cMUT, un traitement à des températures aussi élevées aura alors tendance à provoquer une déformation du substrat et un décollement des couches, qui peuvent réduire le rendement du dispositif. En plus du faible rendement du dispositif, la contrainte thermique engendrée à l'interface de chaque couche modifiera

les conditions aux limites de la membrane et rendra donc imprédictible le modèle de la membrane (par exemple, fréquence de résonance et tension d'effondrement). Certains procédés, tels qu'un recuit à haute température, devront être utilisés pour atténuer les effets mentionnés plus haut induits par les hautes températures, mais ces traitements imposent des étapes supplémentaires. En conséquence, pour avoir de la flexibilité de conception en vue d'une intégration des traitements, et aussi pour réduire le coût du procédé de fabrication, il peut être souhaitable de pouvoir fabriquer une cellule cMUT à des températures plus basses et en un plus petit nombre d'étapes.

En outre, il peut être souhaitable d'améliorer la sensibilité et les performances du cMUT en réduisant la capacité parasite et en réduisant le courant de fuite pendant un fonctionnement en émetteur et récepteur.

Selon un premier aspect de la présente technique, il est proposé un procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif (cMUT). Le procédé comprend la fourniture d'un substrat porteur, où le substrat porteur comprend du verre. En outre, le procédé comprend la fourniture d'une membrane de telle manière qu'au moins un du substrat porteur et de la membrane comprend des montants de support, où les montants de support sont configurés pour définir une profondeur de cavité. Le procédé comprend en outre l'assemblage de la membrane au substrat porteur par utilisation des montants de support, où le substrat porteur, la membrane et les montants de support forment une cavité acoustique.

De préférence, le verre peut comprendre un verre riche en sodium, qui peut être un verre borosilicaté; l'étape de fourniture du substrat porteur peut comprendre en outre la fourniture d'une électrode inférieure sur le substrat porteur de telle manière que la cavité acoustique est délimitée par l'électrode inférieure et la membrane; l'étape d'assemblage peut comprendre un soudage anodique, un brasage tendre, un assemblage chimique ou des combinaisons de ces techniques; et/ou l'étape de fourniture du substrat porteur peut comprendre en outre la formation d'une traversée dans le substrat.

Selon un autre aspect de la présente technique, un procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif comprend la fourniture d'un substrat porteur présentant une première surface et une deuxième surface, où le substrat

porteur comprend du verre. Le procédé comprend en outre la formation d'une traversée dans le substrat porteur, où la traversée s'étend de la première surface à la deuxième surface du substrat porteur. En outre, le procédé comprend le couplage d'une membrane au substrat porteur afin de former une cavité acoustique, où la profondeur de la cavité acoustique est définie par des montants de support, et où l'un du substrat porteur et de la membrane comprend les montants de support.

Selon encore un autre aspect de la présente technique, un procédé de fabrication d'un groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs comprend la fourniture d'un substrat en verre présentant une première surface et une deuxième surface, la première surface étant divisée en une pluralité de portions. Le procédé comprend en outre la formation de traversées dans le substrat en verre, où les traversées s'étendent de la première surface du substrat en verre à la deuxième surface du substrat en verre. En outre, le procédé comprend le dépôts d'électrodes inférieures sur chacune des portions de la première surface du substrat en verre, et le couplage d'une pluralité de membranes au substrat en verre de telle manière que chaque membrane est couplée à une portion du substrat en verre pour former une cavité acoustique, et où la profondeur de la cavité acoustique est définie par des montants de support placés à l'intérieur de l'un du substrat en verre et de la membrane. En outre, le procédé comprend le dépôt de plages de contact sur la première surface du substrat en verre de telle manière que les plages de contact sont formées sur les portions du substrat en verre que n'emploie pas la cavité acoustique, et où chaque plage de contact est en communication électrique avec une traversée correspondante.

Le couplage peut comprendre un soudage anodique, un brasage tendre, un assemblage chimique ou des combinaisons de ces techniques.

Selon un autre aspect de l'invention, une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif comprend un substrat en verre présentant une première surface et une deuxième surface, et une membrane assemblée à la première surface du substrat en verre, où l'une de la première surface du substrat en verre et de la membrane délimite une cavité.

Selon un autre aspect de l'invention, un système comporte une rangée de transducteurs comprenant une pluralité de cellules de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif, dans lequel chaque cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif comprend un substrat en verre présentant une première surface et une deuxième surface, une membrane assemblée à la première surface du substrat en verre, où l'une de la première surface du substrat en verre et de la membrane comporte des montants de support, et où le substrat en verre, la membrane et les montants de support forment une cavité, une couche électriquement isolante placée dans la cavité et couplée à la première surface du substrat en verre, et une électrode inférieure disposée dans la cavité.

Les précédents et autres caractéristiques, aspects et avantages de l'invention ressortiront à l'étude de la description détaillée suivante de quelques formes de réalisation préférées, illustrée par les dessins annexés sur lesquels les mêmes numéros repèrent partout des composants correspondants et dans lesquels:

la figure 1 est un organigramme schématique représentant les étapes exécutées dans un exemple de procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

la figure 2 est une vue de dessus d'un exemple de groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs montrant l'emplacement de plages de contact et de trous d'aspiration selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

la figure 3 est une vue de côté en coupe du groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs de la figure 2 suivant la ligne 3-3;

la figure 4 est une vue de côté en coupe représentant le groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs de la figure 3 sur lequel sont placées des électrodes supérieures et une couche de métal ou de diélectrique pour obturer les trous d'aspiration;

les figures 5-9 sont des organigrammes schématiques représentant les étapes exécutées dans la fabrication de la cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

les figures 10-12 sont des organigrammes schématiques représentant les étapes exécutées dans des exemples de procédés pour former des traversées dans le substrat porteur destiné à la cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

5 la figure 13 est une vue de dessus d'un exemple de groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs employant un substrat porteur comportant des électrodes inférieures et des traversées, où les traversées sont couplées à des plages de contact placées sur une surface du substrat porteur selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

10 la figure 14 est une vue de dessus représentant un exemple de groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs après attaque chimique pour l'isolement électrique selon certaines formes de réalisation de la présente technique;

la figure 15 est une vue de côté en coupe du groupement de la figure 14; et

15 la figure 16 est une vue de côté en coupe du groupement de la figure 15 employant en outre des électrodes supérieures selon certaines formes de réalisation de la présente technique.

Dans de nombreux domaines, tels que l'imagerie médicale et l'examen non destructif, il peut être souhaitable d'utiliser des transducteurs à ultrasons qui permettent de produire des images diagnostiques de haute qualité. On peut obtenir des images diagnostiques de haute qualité en améliorant la sensibilité et les performances des transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs (cMUT) par réduction de la capacité parasite et réduction du courant de fuite pendant un fonctionnement comme émetteur et récepteur.

20 On se rapportera maintenant à la figure 1 qui est un organigramme schématique représentant les étapes exécutées dans un procédé de fabrication d'une cellule cMUT. Comme le comprendront les personnes ayant des compétences dans l'art, les figures sont fournies à titre d'illustration et ne sont pas tracées à l'échelle. Dans la forme de réalisation représentée, le procédé commence par la fourniture d'un substrat porteur 10. Comme décrit en détail plus bas, dans certaines formes de réalisation le substrat 10 peut  
30 comporter des traversées (non représentées) pour permettre une communication

électrique entre les deux côtés du substrat 10. Le substrat porteur 10 peut comprendre du verre. Dans certaines formes de réalisation, le verre peut comprendre un verre riche en sodium. Dans un exemple de réalisation, le matériau riche en sodium peut comprendre un verre borosilicaté. Le verre riche en sodium peut être déposé sur un substrat différent, qui peut être riche en sodium ou non. Le verre riche en sodium peut être formé par pulvérisation cathodique ou filage du verre riche en sodium sur un substrat, tel qu'un substrat en verre, un substrat en céramique, un substrat en plastique, un substrat en polymère, ou un substrat en semi-conducteur tel qu'un substrat en silicium. Le substrat en verre peut être riche en sodium ou non. Le substrat en semi-conducteur peut être soit intrinsèque soit à haute résistivité.

Comme on le comprendra, un substrat en verre possède une plus faible conductivité électrique que des substrats en semi-conducteur, tels que du silicium, qui sont généralement employés comme substrats porteurs dans des cellules cMUT. En conséquence, le substrat en verre crée une capacité parasite relativement inférieure à celle de ses équivalents en semi-conducteur. Pour des cMUT conventionnels utilisant un substrat en semi-conducteur, une partie de l'énergie électrostatique ou acoustique pour le fonctionnement cMUT peut être perdue dans la capacité parasite et peut ne pas être utilisée efficacement par les cMUT. Au contraire, quand on utilise un substrat en verre, les valeurs de capacité parasite obtenues sont faibles et peuvent améliorer les performances et la robustesse du dispositif en éliminant tous les trajets de fuite possibles.

Le substrat porteur 10 peut comprendre des montants de support 12. En outre, une membrane ou diaphragme 14 peut être placée sur et couplée aux montants de support 12. Selon une autre possibilité, la membrane 14 peut comprendre des montants de support 12, comme représenté dans la forme de réalisation de la figure 5. Les montants de support 12 peuvent être configurés pour délimiter une cavité 11 ayant une profondeur de cavité 13. Les montants de support 12 délimitent aussi l'étendue latérale de la cavité 11. Généralement, la hauteur des montants de support 12 est de l'ordre de quelques dixièmes à quelques dizaines de micromètres. Les montants de support 12 peuvent être faits, par exemple, en éliminant à l'acide une portion du substrat porteur 10.

Selon une autre possibilité, les montants de support 12 peuvent être faits en déposant et/ou formant les motifs d'une couche (non représentée) sur la membrane 14. Comme décrit en détail plus bas, les montants de support 12 peuvent comprendre un matériau qui peut faciliter l'assemblage entre la membrane 14 et le substrat porteur 10. Dans  
5 certaines formes de réalisation, les montants de support 12 peuvent comprendre le matériau du substrat porteur 10 ou de la membrane 14. Dans d'autres formes de réalisation, les montants de support 12 peuvent être faits d'un matériau tel que, mais non limité à, un métal, un alliage métallique, un verre, un plastique, un polymère ou un semi-conducteur. Des matériaux semi-conducteurs peuvent comprendre du nitrure de  
10 silicium, de l'oxyde de silicium, du silicium monocristallin, du silicium épitaxial ou du silicium polycristallin.

En outre, dans des formes de réalisation dans lesquelles les montants de support 12 sont faits dans le substrat porteur 10, une couche d'oxyde peut être déposée sur la surface supérieure des montants de support 12 pour que la membrane soit couplée à  
15 l'oxyde et ne soit pas en contact direct avec le substrat porteur 10. Au contraire, comme décrit en détail plus bas à propos de la figure 5, dans des formes de réalisation dans lesquelles la membrane 14 comprend les montants de support 12, la membrane peut être couplée directement au substrat porteur 10. Dans les deux formes de réalisation, le substrat porteur 10, les montants de support 12 et la membrane 14 forment une cavité  
20 acoustique 11. De plus, selon le procédé de micro-usinage employé pour fabriquer la cellule cMUT, la membrane 14 peut être fabriquée en employant des matériaux tels que, mais non limités à, du nitrure de silicium, de l'oxyde de silicium, du silicium monocristallin, du silicium épitaxial, du silicium polycristallin et autres matériaux semi-conducteurs. L'épaisseur de la membrane 14 peut par exemple être incluse dans  
25 l'intervalle allant de 0,1 à 10 micromètres. La membrane 14 peut comprendre un matériau semi-conducteur tel que du silicium. Dans certaines formes de réalisation, la membrane 14 peut comprendre du silicium monocristallin, polycristallin ou épitaxial fortement dopé. Dans ces formes de réalisation, la membrane 14 peut être déposée sur une plaquette de silicium.

En outre, l'étape de fourniture de la membrane 14 peut aussi comprendre la croissance ou le dépôt d'une couche électriquement isolante 16 sur la membrane 14. Comme représenté, la couche électriquement isolante 16 est placée à l'intérieur de la cavité acoustique 11 quand la membrane 14 est couplée au substrat porteur 10. Dans ces formes de réalisation, la profondeur de la cavité acoustique 11 est définie entre la surface de la couche électriquement isolante 16 et la surface de l'électrode inférieure 22 placée à l'intérieur de la cavité 11. La couche électriquement isolante 16 peut être obtenue par croissance et/ou formation de motifs sur la membrane 14 en vue d'un isolement électrique entre l'électrode inférieure 22 et la membrane 14. Dans ces formes de réalisation, la couche électriquement isolante 16 peut comprendre un matériau non électriquement conducteur, tel que du nitrure de silicium, ou un oxyde tel qu'un oxyde déposé à haute température, un oxyde obtenu par dépôt chimique en phase vapeur sous pression réduite, un oxyde obtenu par dépôt chimique en phase vapeur par plasma, ou un oxyde obtenu par croissance thermique. La couche de diélectrique peut être déposée sur la membrane 14, après quoi on effectue polissage et/ou lithographie.

Comme le comprendront les personnes ayant des compétences dans l'art, dans la fabrication de la cellule cMUT, la membrane 14 peut être intégrée à une plaquette de silicium sur isolant (SOI) 15 préfabriquée, incluant un substrat en silicium (membrane 14), une couche d'oxyde enterrée 18 et une plaquette de manipulation en silicium 20. Dans la forme de réalisation représentée, la membrane 14 peut être couplée à une couche d'oxyde enterrée 18 avant d'être assemblée au substrat en verre 10. La couche d'oxyde enterrée 18 peut elle-même être couplée à une plaquette de manipulation 20 pour former une plaquette de silicium sur isolant (SOI) 15. Comme on le comprendra, au lieu de la plaquette SOI 15, une plaquette de silicium fortement dopé (non représentée) peut être intégrée à la membrane 14. De manière similaire, dans les formes de réalisation représentées sur les figures 1, 5, 6, 7, 8 et 9, les plaquettes SOI et les plaquettes de silicium fortement dopé peuvent être employées de manière interchangeable.

En outre, comme représenté, une électrode inférieure 22 peut être placée sur le substrat porteur 10 de telle manière que l'électrode inférieure 22 est placée à l'intérieur

de la cavité 11. Dans cette forme de réalisation, l'électrode inférieure 22 et la membrane 14 délimitent la cavité acoustique 11. L'électrode inférieure 22 peut comprendre un matériau électriquement conducteur, tel que de l'aluminium, ou un polymère électriquement conducteur. En outre, l'épaisseur de l'électrode inférieure 22 peut par exemple être incluse dans un intervalle allant de quelques dixièmes de micromètres à quelques micromètres.

De plus, une couche de diélectrique 24 peut entourer l'électrode inférieure 22, pour que l'électrode inférieure 22 ne puisse pas entrer en contact avec les montants de support 12 avoisinants, ni avec la couche électriquement isolante 16. Bien que cela ne soit pas représenté, dans une autre forme de réalisation, la couche de diélectrique, telle que la couche de diélectrique 24, peut être placée seulement sur la partie supérieure de l'électrode inférieure 22 qui fait face à la membrane et ne pas couvrir les parties latérales de l'électrode inférieure 22. La couche de diélectrique 24 peut comprendre, par exemple, de l'oxyde de silicium ou du nitrure de silicium. Dans certaines formes de réalisation, la métallisation pour déposer l'électrode inférieure 22 peut être effectuée avant le dépôt de la couche de diélectrique 24. Bien que les formes de réalisation représentées sur les figures 1, 5, 6, 7 et 8 représentent des cellules cMUT employant à la fois la couche isolante, telle que les couches isolantes 16, 42, 58, 70, 84, et la couche de diélectrique, telle que les couches de diélectrique 24, 50, 64, 76, 92, on notera que dans certaines formes de réalisation, une seule de ces couches peut être employée pour assurer l'isolement électrique entre l'électrode inférieure et la membrane.

Subséquemment, on couple au substrat porteur 10 la plaquette SOI 15 comprenant la membrane 14, la couche d'oxyde enterrée 18 et la plaquette de manipulation 20. On peut coupler la membrane 14 au substrat porteur 10 ou aux montants de support 12 en employant des techniques d'assemblage à basse température, telles que soudage anodique, brasage tendre, assemblage chimique tel que gravure très légère (VSE : en anglais : « very slight etch »), ou des combinaisons de ces techniques. La température d'assemblage pour ces techniques d'assemblage à basse température peut être incluse dans un intervalle allant d'environ 25°C à environ 600°C. Comme on le comprendra, à ces basses températures, les contraintes résiduelles dans le système sont

réduites, qui pourraient autrement apparaître à des températures élevées en raison de différences entre les coefficients de dilatation thermique des divers composants du système, tels que la membrane 14, le substrat porteur 10 et les montants de support 12. Le coefficient de dilatation thermique du verre vaut environ 3,9 ppm/°C et le coefficient de dilatation thermique du silicium, qui est généralement le matériau employé dans la membrane 14, vaut environ 3,3 ppm/°C. Les coefficients de dilatation thermique des deux composants sont donc compatibles aux basses températures, par exemple inférieures à environ 600°C. Un traitement à basse température permet donc l'intégration de capteurs comprenant des cellules cMUT avec d'autres circuits électroniques métal-oxyde-semiconducteur complémentaire (CMOS).

De plus, aux basses températures, l'assemblage ne pose aucune limitation en termes d'étapes de métallisation. Cela est contraire au soudage par fusion, dans lequel les étapes de métallisation de la cellule cMUT, pour déposer par exemple des électrodes, ne peuvent pas être exécutées avant le soudage par fusion du substrat porteur 10 et de la plaquette SOI 15. Tandis que dans l'assemblage à basse température, les deux étapes peuvent être indépendantes l'une de l'autre. En conséquence, les électrodes peuvent être formées soit avant soit après la formation de la cavité acoustique 11 par assemblage du substrat porteur 10 et de la plaquette SOI 15.

Comme indiqué plus haut, le substrat porteur 10 peut comprendre un verre riche en sodium. Dans des techniques d'assemblage à basse température, telles que le soudage anodique, on applique typiquement une différence de potentiel aux bornes du composite substrat en verre – plaquette SOI afin de créer un champ électrique qui repousse les ions sodium présents dans le verre à distance de l'interface substrat en verre – plaquette SOI, en formant de ce fait une zone appauvrie en sodium à l'interface entre le substrat en verre 10 et la plaquette SOI 15. En conséquence de la migration des ions sodium vers le substrat en verre 10, la zone d'appauvrissement s'enrichit en molécules d'oxygène qui sont abandonnées par des ions sodium migrants. Ces molécules d'oxygène du verre se diffusent dans le silicium de la plaquette SOI 15 et forment une liaison covalente permanente avec le silicium de la plaquette SOI 15, en formant donc une couche de silice amorphe. Comme on le sait, les liaisons covalentes sont extrêmement fortes. Pour

un soudage anodique, l'un ou l'autre du substrat porteur 10 et de la plaquette SOI 15 peut être porté à la polarité positive et l'autre composant du composite substrat en verre – plaquette SOI peut être porté à la polarité négative. Dans un exemple de réalisation dans lequel la polarité négative est appliquée au substrat en verre 10, on peut appliquer  
5 une tension incluse dans un intervalle allant d'environ 500 volts à environ 1500 volts, à pression atmosphérique, pour réaliser un soudage anodique à une température de soudage allant d'environ 300°C à environ 450°C. Dans une autre forme de réalisation, le soudage anodique peut être effectué à 400°C en appliquant une tension d'environ 1000 volts. La force d'adhérence ou résistance à l'arrachage peut varier selon les paramètres  
10 de soudage, tels que les polarités des composants à assembler, la pression d'assemblage, la température d'assemblage, le temps d'assemblage et analogues.

Avantageusement, pour un soudage anodique et d'autres assemblages à basse température indiqués plus haut, la tolérance de planéité des surfaces est supérieure à celle du soudage par fusion. En conséquence, ces assemblages à basse température  
15 peuvent ne pas imposer un lissage ou polissage de la surface avant l'assemblage, ce qui réduit le nombre d'étapes et le coût du procédé de fabrication. La tolérance de planéité des surfaces pour les assemblages à basse température peut être de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de nanomètres.

Dans certaines formes de réalisation, la formation d'une liaison anodique peut  
20 être confirmée par le changement de couleur de la région soudée. Par exemple, l'apparition d'une couleur noire dans les régions soudées peut indiquer la formation d'une liaison anodique.

D'autres techniques d'assemblage à basse température, par exemple une ou plusieurs techniques parmi brasage tendre, assemblage chimique, soudage eutectique  
25 (par diffusion), soudage par thermocompression, soudage à la fritte de verre et assemblage par polymère, peuvent être employées pour assembler le substrat porteur 10 à la plaquette SOI 15. Selon une autre possibilité, on peut assembler le substrat porteur 10 et la plaquette SOI 15 en utilisant une couche intermédiaire, telle qu'une couche de métal, une couche d'alliage ou une couche de polymère. Ces couches intermédiaires  
30 peuvent former une liaison aussi bien avec le substrat porteur 10 qu'avec la plaquette

SOI 15 à des températures incluses dans un intervalle allant d'environ 25°C à environ 600°C. Dans une forme de réalisation, la couche intermédiaire peut former une liaison avec le substrat porteur 10 et la plaquette SOI 15 à une température inférieure à environ 550°C. Comme décrit plus en détail plus bas, dans un exemple de réalisation, le matériau de la couche intermédiaire peut être employé dans les montants de support 12. Dans cette forme de réalisation, les montants de support 12 peuvent être déposés sur l'un du substrat porteur 10 et de la membrane 14 et peuvent, à l'assemblage, former une liaison avec l'autre composant pour coupler les deux composants afin de former une cavité acoustique 11.

Comme on le sait, le soudage par thermocompression consiste à réunir deux surfaces par soudage d'une couche de métal sur chaque surface. Le soudage par thermocompression peut employer de l'or comme métal. En outre, une couche d'adhésif appropriée peut aussi être employée avec la couche du métal. Le soudage par thermocompression requiert l'application d'une pression sur une surface à une température incluse dans un intervalle allant d'environ 300°C à environ 400°C. En raison des basses températures (~300°C) et des pressions modérées ( $10^6$ Pa), l'opération est facilement compatible avec d'autres étapes de traitement, telles qu'une métallisation. Avantagement, le soudage par thermocompression offre relativement peu de dégazage pour l'obturation des cavités 11 vidées.

Dans une autre forme de réalisation, on peut employer un soudage à la fritte de verre à une température incluse dans un intervalle allant d'environ 400°C à environ 650°C et une pression d'environ  $10^5$ Pa. Typiquement, on applique une couche de verre entre les composants à assembler. Par exemple, on peut employer la couche de verre entre les montants de support et l'un de la membrane 14 et du substrat porteur 10. La couche de verre peut être appliquée sous la forme d'une préforme, par dépôt par rotation, par sérigraphie, par pulvérisation cathodique ou analogue. En outre, on peut former des motifs dans la couche de verre pour définir les zones d'assemblage. Le soudage à la fritte de verre peut être réalisé sous vide, par exemple, pour créer des cavités fermées sous vide. Comme décrit en détail plus bas, l'étape supplémentaire consistant à vider la cavité après assemblage du substrat porteur 10 et de la membrane

14 peut être supprimée en exécutant l'opération d'assemblage sous vide, afin de réduire le nombre d'étapes exécutées dans le procédé.

Selon une autre possibilité, on peut employer un brasage tendre pour former la cavité 11. L'opération de brasage tendre consiste à refondre des métaux à bas point de fusion afin de former une soudure ou joint. Le brasage tendre peut employer un ou plusieurs métaux, tels que l'or, l'étain, le cuivre, le plomb ou l'indium. Les métaux ou alliages métalliques peuvent être appliqués par diverses techniques de dépôt en couche mince. La technique diffère du soudage par thermocompression en ce qu'il est nécessaire de fondre la couche métallique intermédiaire pour un brasage tendre. Avantageusement, le brasage tendre est tolérant aux particules et à la rugosité des surfaces.

Dans d'autres formes de réalisation, la cavité 11 peut être formée en assemblant les surfaces respectives par assemblage chimique ou par adhésif. Comme on le sait, divers adhésifs tels que époxy, silicones, photorésists ou polyimides peuvent être utilisés pour former les joints collés. On peut utiliser un alignement in situ avec cette technique d'assemblage. L'adhésif peut être appliqué par des techniques d'enduction, telles que par centrifugation ou pulvérisation. En outre, l'assemblage par adhésif peut être réalisé entre la température ambiante et environ 400°C, selon l'adhésif employé et la pression exercée. L'assemblage par adhésif est tolérant aux particules et à la rugosité des surfaces.

En outre, on peut employer un soudage par diffusion pour former la cavité 11 en assemblant les montants de support 12 au substrat porteur 10 ou à la membrane 14. Comme on le sait, la température eutectique d'un système à deux composants correspond au point de fusion le plus bas de la composition des deux matériaux. En soudage par diffusion, les deux matériaux du système eutectique sont séparément couchés sur les deux pièces qui doivent être assemblées pour former la cavité acoustique 11. Après le couchage, les pièces sont chauffées et mises en contact, une diffusion se produit à l'interface et des alliages se forment pour créer une liaison. Comme on le sait, l'alliage à composition eutectique à l'interface a un point de fusion plus bas que les matériaux situés de chaque côté de lui, ce qui réduit la fusion à une

couche mince. Dans certaines formes de réalisation, les matériaux eutectiques peuvent comprendre une composition eutectique or-étain ayant un point de fusion d'environ 363°C, ou une composition eutectique plomb-étain ayant un point de fusion d'environ 183°C.

5           En outre, on peut exercer une force pour un assemblage hermétique ou fermé sous vide. Dans certaines formes de réalisation, la force peut être exercée pour compenser la rugosité de surface ou défaut de planéité de la membrane 14, du substrat porteur 10 ou des montants de support 12. La cavité fermée sous vide, comme décrit plus bas à propos de la figure 2, peut être formée par obturation in situ de la cavité au  
10 cours du dépôt chimique d'une couche de diélectrique en phase vapeur, ou d'une couche de métal sous vide. Dans certaines formes de réalisation, l'étape d'obturation des trous d'aspiration peut être optionnelle car une obturation sous vide in situ peut être réalisée quand on emploie un assemblage à basse température sous vide.

          De plus, pour augmenter la force d'adhérence ou résistance à l'arrachement, on  
15 peut soumettre un ou plusieurs du substrat porteur 10, des montants de support 12 ou de la membrane 14 à des traitements de surface avant l'étape d'assemblage pour retirer des impuretés de la surface afin d'améliorer l'assemblage entre les composants. Dans une forme de réalisation, le traitement de surface peut comprendre une pulvérisation, ou une attaque chimique. Par exemple, avant assemblage, les surfaces des montants de support  
20 12 peuvent être traitées par attaque au plasma.

          Bien que cela ne soit pas représenté, après l'assemblage à basse température pour assembler la plaquette SOI 15 au substrat porteur 10, on peut éliminer la plaquette de manipulation 20 et la couche d'oxyde enterrée 18. On peut éliminer la plaquette de manipulation en employant des procédés tels qu'un polissage ou meulage mécanique  
25 suivi d'une attaque à l'acide (gravure humide) par des réactifs tels que, mais non limités à, l'hydroxyde de tétraméthyl ammonium (TMAH), l'hydroxyde de potassium (KOH) ou l'éthylène diamine pyrocatechol (EDP). Après élimination de la plaquette de manipulation 20, on peut éliminer la couche d'oxyde enterrée 18 à l'acide fluorhydrique tamponné. On peut faire suivre cela par une obturation de la cavité sous vide, et un  
30 dépôt de l'électrode supérieure.

Dans un groupement de cellules cMUT telles que la cellule cMUT représentée sur la figure 1, après élimination de la plaquette de manipulation 20 et de la couche d'oxyde enterrée 18, on forme les motifs de la membrane 14 afin d'isoler électriquement les cellules cMUT l'une de l'autre et de former des trous d'aspiration 30. La figure 3 est une coupe suivant la ligne 3-3 du groupement de cMUT de la figure 2, employant une pluralité de cellules cMUT. Dans la forme de réalisation représentée, les positions des électrodes inférieures 22 et des trous d'aspiration 30 sont représentées par rapport aux cellules cMUT. Les motifs des électrodes inférieures 22 sont généralement formés comme représenté sur la figure 13. Bien que cela ne soit pas représenté, les électrodes inférieures 22 ont une configuration qui sera décrite plus en détail à propos de la figure 13.

Subséquent, comme représenté sur la figure 4, on peut déposer la couche de diélectrique 32 dans les trous d'aspiration 30 pour obturer les trous. La couche de diélectrique 32 peut être déposée sous la forme d'une couche dont on peut former les motifs pour couvrir les trous d'aspiration 30. Dans une forme de réalisation, on peut employer la photogravure pour former les motifs de la couche de diélectrique 32. On effectue ensuite une métallisation pour déposer une électrode supérieure 34. L'électrode supérieure 34 peut être formée par dépôt d'une couche de métal, puis formation des motifs de la couche afin de retenir le métal aux endroits indiqués. Selon une autre possibilité, dans une forme de réalisation, les trous d'aspiration 30 peuvent être obturés en employant le même matériau que celui utilisé pour la couche d'électrode supérieure 34. Dans cette forme de réalisation, l'obturation des trous d'aspiration 30 et le dépôt et la formation des motifs de la couche d'électrode supérieure 34 peuvent être exécutés simultanément pour encore simplifier le traitement.

La figure 5 représente une autre forme de réalisation du procédé de fabrication d'un cMUT représenté sur la figure 1. Dans la forme de réalisation représentée, un substrat porteur 36 et une membrane 38 sont fournis. Dans cette forme de réalisation, les montants de support 40 ne sont pas initialement couplés au substrat porteur 36 mais sont intégrés à la membrane 38. Une couche électriquement isolante 42 est aussi couplée à la membrane 38. En outre, une couche d'oxyde enterrée 44 et une plaquette de

manipulation 46 peuvent être couplées à la membrane 38 de la plaquette SOI. Une électrode inférieure 48 peut être déposée sur le substrat porteur 36 par métallisation et formation des motifs. Subséquemment, une couche isolante 50 peut être déposée sur l'électrode inférieure 48. La couche isolante peut être une couche électriquement non conductrice et peut comprendre un diélectrique ou un oxyde.

La figure 6 représente encore une autre forme de réalisation dans laquelle le substrat porteur 52 fourni comprend des montants de support 54. Dans la forme de réalisation représentée, la membrane 56 est couplée à une couche électriquement isolante 58 d'un côté et à une plaquette de manipulation 60 de l'autre côté. Comme la plaquette SOI coûte généralement cher, la présente forme de réalisation est relativement économique par rapport aux formes de réalisation représentées sur les figures 1 et 5. En outre, dans la forme de réalisation représentée, une électrode inférieure 62 est déposée sur le substrat porteur 52.

La figure 7 représente une autre forme de réalisation du procédé représenté sur la figure 6. Dans la forme de réalisation représentée, un substrat porteur 66 est fourni. En outre, dans cette forme de réalisation, la membrane 68 comprend les montants de support 71 et est munie de la couche électriquement isolante 70. Comme sur la figure 6, dans la forme de réalisation représentée, la membrane 68 est directement couplée à la plaquette de manipulation 72 sans avoir de couche d'oxyde enterrée entre elles. En outre, une électrode inférieure 74 et une couche isolante, telle qu'une couche de diélectrique 76, sont placées sur le substrat porteur 66.

Les figures 8 et 9 représentent des formes de réalisation dans lesquelles les montants de support peuvent être formés par les matériaux d'assemblage. Dans ces formes de réalisation, les montants de support peuvent être utilisés pour former la liaison entre le substrat porteur et la membrane. Par exemple, on peut employer un assemblage par compression, un brasage tendre ou une attaque chimique très légère (VSE) pour assembler les deux composants de la cellule cMUT. Comme dans les formes de réalisation des figures 1-7, dans ces formes de réalisation, la profondeur de la cavité peut être définie par la hauteur des montants de support. En outre, ces montants

de support peuvent être traités en surface, par exemple par attaque au plasma, avant d'assembler le substrat porteur et la membrane.

Dans certaines formes de réalisation, les deux surfaces des montants de support et de la membrane sont mises en contact l'une de l'autre, par exemple par du matériel de collage de plaquettes, pour amorcer l'interface de collage. Dans ces formes de réalisation, une liaison spontanée peut typiquement apparaître à un certain endroit dans l'interface de collage et peut se propager dans l'interface. Dans certaines formes de réalisation, à mesure que la liaison initiale commence à se propager, une réaction chimique, telle qu'une polymérisation qui forme des liaisons chimiques, peut se dérouler entre les matériaux des montants de support et ceux de la membrane et du substrat porteur.

Dans la forme de réalisation représentée sur la figure 8, le substrat porteur 78 comprend des montants de support 80. Les montants de support 80 peuvent comprendre un ou plusieurs matériaux parmi un métal, un alliage métallique ou de la fritte de verre. En outre, une plaquette SOI 81 comprenant une membrane 82, une couche d'oxyde enterrée 86 et une plaquette de manipulation 88 peut être fournie. La membrane 82 peut être couplée à une couche électriquement isolante 84. En outre, une électrode inférieure 90 sur laquelle est placée une couche de diélectrique 92 peut être couplée au substrat porteur 78.

La figure 9 représente une autre forme de réalisation du procédé représenté sur la figure 8. Dans la forme de réalisation représentée, le substrat porteur 94 comprend des montants de support 96. Les montants de support 96 peuvent être similaires aux montants de support 80 (figure 8). En outre, une plaquette SOI 97 comprenant une membrane 98, une couche d'oxyde enterrée 102 et une plaquette de manipulation 104 peut être couplée aux montants de support. La membrane 98 comprend en outre une couche électriquement isolante 100. La cellule cMUT comprend en outre une électrode inférieure 106 placée sur le substrat porteur 94.

Comme indiqué plus haut, dans certaines formes de réalisation, le substrat porteur peut comporter une ou plusieurs traversées pour connecter électriquement les composants placés sur les côtés opposés du substrat porteur. Les traversées peuvent

s'étendre sur toute l'épaisseur du substrat en verre. Comme le savent les personnes ayant des compétences ordinaires dans l'art, les traversées sont des structures électriquement conductrices qui interconnectent différentes couches conductrices ou métallisées, qui sont sinon séparées par une ou plusieurs couches isolantes. De cette manière, des signaux électriques peuvent être conduits entre différentes couches ou conducteurs dans une structure multicouche. Dans certaines formes de réalisation, les traversées peuvent être configurées pour assurer une communication électrique entre la membrane et un circuit électrique placé sur et couplé à la surface du substrat qui est opposée à la surface formant la cavité acoustique. A savoir, les traversées peuvent être utilisées pour connecter électriquement la cellule cMUT au côté opposé du substrat porteur. Le côté opposé du substrat porteur peut lui-même être assemblé à un circuit électronique en utilisant des techniques d'encapsulation, par exemple par bosses de soudure. Dans certaines formes de réalisation, les traversées peuvent être formées sur le substrat avant la fabrication du cMUT sur le substrat. L'utilisation de traversées dans un substrat en verre permet d'éliminer plusieurs étapes de lithographie, de gravure ionique réactive profonde ou autres traitements à haute température, qui peuvent sinon être employés pour la fabrication de cMUT comprenant un substrat à base de silicium, ce qui rend le procédé économique.

Les figures 10-12 représentent diverses formes de réalisation du procédé de formation de traversées dans le substrat porteur, tel que le substrat porteur 10, 36, 52, 66, 78 ou 94. Les traversées peuvent avoir des sections droites diverses, par exemple les traversées peuvent avoir une section droite circulaire, une section droite elliptique ou de n'importe quelle autre forme géométrique. En outre, les traversées peuvent avoir des profils divers. Par exemple, les traversées peuvent être cylindriques ou coniques. L'orientation des traversées par rapport à la surface du substrat porteur peut aussi varier. Par exemple, les traversées peuvent être perpendiculaires à la surface du substrat porteur. Selon une autre possibilité, les traversées peuvent être obliques par rapport à la surface du substrat porteur. Par exemple, les traversées peuvent converger sur une surface et diverger sur l'autre, c'est-à-dire que les traversées peuvent être orientées de manière à pouvoir faciliter un agencement pyramidal de dispositifs.

Dans la forme de réalisation représentée sur la figure 10, un substrat porteur 108 est fourni pour former des traversées. Le substrat porteur 108 peut être une plaquette de silicium intrinsèque ou à faible résistivité. On effectue une lithographie pour former le masque de gravure 110 et pour définir le diamètre des traversées. Le masque de gravure 110 peut comprendre un ou plusieurs matériaux parmi un diélectrique, tel qu'un oxyde ou un nitrure, un matériau élastique tel qu'un photorésist, ou un métal. Subséquemment, des traversées 112 peuvent être micro-usinées en employant des procédés tels que sablage, alésage par ultrasons, perçage laser ou autre micro-usinage. Dans certaines formes de réalisation, le micro-usinage peut être effectué en employant une attaque à l'acide, une attaque électrochimique ou une attaque à sec (gravure sèche). Dans certaines formes de réalisation, l'attaque à l'acide peut employer un ou plusieurs réactifs parmi KOH, EDP et TMAH.

Après la formation des traversées 112, on retire le masque de gravure 110. Ensuite, on peut former un isolement électrique en effectuant une oxydation thermique sur les traversées 112 afin de former une couche d'oxyde 109. On couple ensuite une plaquette de manipulation 114 au substrat porteur 108. La plaquette de manipulation 114 peut porter sur elle une structure multicouche 115. La structure multicouche 115 peut comprendre une couche de métal 118 placée entre deux couches de photorésist 116. La structure 118 peut servir de couche d'ensemencement en vue du dépôt électrolytique d'un métal dans la traversée 112. Ensuite, le substrat porteur 108 à motifs formés est utilisé comme masque photographique pour exposer la structure multicouche 115 à un rayonnement ultraviolet (UV). Après exposition, la couche exposée du photorésist est éliminée de la structure 115 par lavage. Subséquemment, un dépôt électrolytique de métal est effectué pour déposer une couche de métal conducteur 120 dans la traversée 112. La couche de métal conducteur 120 peut comprendre du cuivre, du nickel ou autre métal pouvant être déposé électrolytiquement. Selon une autre possibilité, on peut aussi utiliser comme interconnexion dans la traversée 108 de la brasure fondue, telle que de l'antimoine, ou n'importe quel autre matériau conducteur.

On élimine la plaquette de manipulation en utilisant des solvants ou révélateurs, et on effectue un polissage mécano-chimique (CMP) sur les deux côtés du substrat

porteur 108 en utilisant des réactifs d'attaque ou des solvants. Subséquemment, on effectue une attaque acide de métal et une lithographie pour former les interconnexions 122 et 124 pour les circuits électroniques situés de part et d'autre de la traversée 108. On peut ensuite fabriquer un cMUT sur un côté du substrat porteur 108 en utilisant les procédés décrits plus haut. Et on peut coupler une encapsulation électronique, telle qu'une puce retournée ou une puce sur carte, à l'autre côté du substrat porteur 108.

La figure 11 représente une autre forme de réalisation d'un procédé de formation de traversées 132 dans le substrat porteur 126. Le substrat porteur 126 peut être une plaquette de verre. Le procédé comprend la fourniture d'un substrat porteur 126 et d'un masque de gravure 128. Les motifs du masque de gravure 128 sont formés en utilisant la photogravure. Subséquemment, la traversée 132 est formée dans le substrat porteur 126 en utilisant les procédures décrites à propos de la figure 10. On notera que le masque 128 peut être placé soit des deux côtés du substrat 126 soit d'un seul côté du substrat 126, comme représenté. On retire ensuite le masque photographique 128 à motifs. Puis on dépose une couche d'ensemencement 130 sur les parois intérieures de la traversée 132 et sur la surface du substrat porteur 126. La couche d'ensemencement 130 peut comprendre du chrome, de l'or, du nickel, du cuivre ou autres matériaux conducteurs. La couche d'ensemencement 130 peut être déposée par pulvérisation cathodique.

Après le dépôt de la couche d'ensemencement 130, on place le substrat porteur 126 sur une plaquette 142 de manipulation de substrat. La plaquette de manipulation 142 peut comprendre une structure multicouche 143. La structure multicouche 143 comprend une couche de métal d'ensemencement 146 placée entre deux couches de photorésist 144. On élimine ensuite l'une des couches de photorésist 144 par photogravure comme décrit plus haut. Puis on effectue un dépôt électrolytique d'une couche de métal conducteur 134 pour remplir la traversée 132.

Une fois que la traversée 132 est remplie de la couche de métal conducteur 134, on élimine la plaquette de manipulation 142 et on traite les deux surfaces du substrat porteur 126 par polissage mécano-chimique pour corriger la rugosité de surface. Subséquemment, on effectue une lithographie et une attaque à l'acide pour former les

interconnexions sur les deux côtés. Bien que cela ne soit pas représenté, on peut employer un deuxième masque pour former les interconnexions 138 et 140.

La figure 12 représente encore une autre forme de réalisation du procédé de formation de traversées dans un substrat porteur en verre, tel qu'un substrat porteur 148. Comme dans les formes de réalisation des figures 10 et 11, sur la figure 12 une traversée 156 est formée dans le substrat porteur 148 en utilisant un masque de gravure 150. Subséquemment, on couple au substrat porteur 148 à motifs formés une plaquette de manipulation 152 portant une couche de photorésist 154. On dépose ensuite une couche de matériau conducteur 158 sur les parois de la traversée 156, par exemple par pulvérisation cathodique, pour l'interconnexion. La couche de matériau conducteur 158 peut comprendre du chrome, de l'aluminium, de l'or, du nickel, du cuivre ou des combinaisons de ces matières. Subséquemment, on peut effectuer un dépôt électrolytique pour augmenter l'épaisseur de la couche 158 et remplir la traversée 156 par le matériau non conducteur 160, tel que du polyimide. Les métaux utilisés dans le dépôt électrolytique peuvent comprendre un ou plusieurs métaux parmi le tungstène, le molybdène, l'aluminium, le chrome, le nickel et le cuivre.

Selon une autre possibilité, on peut utiliser des polymères non conducteurs tels que des polyimides, du parylène, pour remplir la traversée 156. Les polymères non conducteurs peuvent être déposés dans la traversée en employant des techniques de dépôt, telles que application centrifuge ou dépôt chimique en phase vapeur. De plus, les polymères non conducteurs peuvent être durcis une fois qu'il remplissent la traversée 156.

Subséquemment, on peut attaquer chimiquement ou polir le matériau non conducteur 160 afin d'exposer la couche 158. En outre, on peut effectuer une métallisation pour couvrir la portion exposée 159 de la couche de matériau conducteur 158 et on peut éliminer la plaquette de manipulation 152, puis fabriquer un cMUT sur le même côté du substrat porteur 148.

Les figures 13-16 représentent un procédé de formation d'une cellule cMUT sur un substrat porteur formé par l'un des procédés représentés sur les figures 10-12. Le substrat porteur comprend des traversées et des interconnexions. La figure 13 est une

vue de dessus d'un substrat porteur 170 sur lequel sont placées une pluralité d'électrodes inférieures 172 et une pluralité d'interconnexions 174. Dans la forme de réalisation représentée, l'électrode inférieure peut être formée par métallisation puis lithographie. Les interconnexions 174 peuvent être similaires aux interconnexions 122 ou 124 de la figure 10, 138 ou 140 de la figure 11, ou 162 de la figure 12. Subséquemment, on peut fabriquer une cellule cMUT sur le substrat porteur 170 en utilisant les techniques décrites plus haut à propos des figures 1-9. Dans certaines formes de réalisation, on peut supprimer l'étape d'obturation sous vide qui utilise le procédé de dépôt chimique en phase vapeur. Au contraire, le vide à l'intérieur de la cavité acoustique peut être obtenu en assemblant la cavité dans un environnement sous vide.

En outre, on peut ensuite déposer une couche de verre sur le substrat porteur 170. La couche de verre peut être formée par pulvérisation ou dépôt par rotation sur le substrat porteur 170 et peut être utilisée pour définir la profondeur de la cavité acoustique. La couche de verre peut aussi être utilisée pour assembler le substrat porteur à la membrane. Selon une autre possibilité, on peut attaquer chimiquement la membrane pour définir les montants de support et la profondeur de cavité. Comme représenté sur les figures 14 et 15, après avoir défini la profondeur de la cavité, on assemble le substrat porteur 170 et la membrane 176 en utilisant des techniques d'assemblage décrites plus haut à propos des figures 1-9. L'assemblage peut être effectué sous vide. Le substrat 170 comprend des traversées 171, qui sont remplies de matériaux conducteurs 173 et forment des interconnexions 175 au niveau des deux surfaces du substrat porteur 170.

On peut ensuite former les motifs de la membrane 176 pour ouvrir l'électrode supérieure au niveau de portions telles que 180 afin d'exposer des plages de contact 178 sur le substrat porteur 170. On peut aussi former un isolement électrique 182 entre les éléments du groupement de cMUT placés sur le substrat porteur 170. L'isolement électrique peut être formé en éliminant une portion de la membrane 176.

En outre, dans la forme de réalisation représentée, les cellules cMUT comprennent une couche électriquement isolante 184, qui peut être formée sur la membrane 176. Bien que cela ne soit pas représenté, un matériau conducteur peut être déposé sur la membrane 176 pour former l'électrode supérieure. La métallisation pour

l'électrode supérieure peut aussi se déposer au niveau des portions desquelles la membrane 176 a été éliminée. A savoir, la métallisation peut aussi apparaître au niveau des ouvertures 180, pour former ainsi des connexions électriques entre l'électrode supérieure et les interconnexions 178. On peut ensuite effectuer une lithographie pour former les motifs de l'électrode supérieure.

La figure 16 représente une autre forme de réalisation du groupement de cMUT représenté sur la figure 15. Dans la forme de réalisation représentée, le substrat porteur 188 comprend des montants de support 190. Le substrat porteur 188 comprend aussi des traversées 192 qui sont remplies de matériaux conducteurs comme indiqué plus haut à propos des figures 10-12. Les traversées 192 comprennent en outre des interconnexions 196 et 198 formées au niveau des deux surfaces opposées du substrat porteur 188. Les interconnexions 198 peuvent être configurées pour être utilisées comme électrodes inférieures du cMUT. Des électrodes inférieures supplémentaires 200 peuvent être formées sur le substrat porteur 188, par exemple par métallisation puis lithographie. De plus, le cMUT peut comprendre une membrane 202 portant une couche électriquement isolante 204, chaque couche électriquement isolante 204 correspondant à une électrode inférieure 198 ou 200. Le cMUT peut en outre comprendre des électrodes supérieures 206. Les électrodes supérieures 206 peuvent être formées en utilisant les procédés décrits plus haut à propos de la figure 15. Comme indiqué plus haut, des connexions électriques 208 peuvent être formées au cours de l'opération de dépôt des électrodes supérieures 206. En outre, le cMUT peut comprendre un isolement électrique 210 qui est formé en éliminant une portion de la membrane 202 proche des montants de support et éloignée des électrodes supérieure et inférieure 206 et 198.

Bien que la présente technique soit décrite à propos de dispositifs cMUT, on notera que des techniques similaires peuvent être utilisées pour d'autres dispositifs à semi-conducteurs, tels que des dispositifs à membrane. Par exemple, les traversées de la présente technique peuvent aussi être employées dans des microsystèmes électromécaniques. De plus, des microsystèmes électromécaniques ou des cMUT peuvent être fabriqués sur les interconnexions et un circuit électronique peut être attaché

au dessous de ce substrat en utilisant une puce retournée ou autres techniques d'encapsulation.

**LISTE DES COMPOSANTS**

	10	Substrat porteur
	11	Cavité
5	12	Montants de support
	13	Hauteur des montants de support
	14	Membrane
	15	Plaquette SOI
	16	Couche isolante
10	18	Couche d'oxyde enterrée
	20	Plaquette de manipulation
	22	Electrode inférieure
	24	Couche de diélectrique
	28	Plages de contact
15	30	Trous d'aspiration
	32	Couche de diélectrique
	34	Electrode supérieure
	36	Substrat porteur
	38	Membrane
20	40	Montants de support
	42	Couche isolante
	44	Couche d'oxyde enterrée
	46	Plaquette de manipulation
	48	Electrode inférieure
25	50	Couche de diélectrique
	52	Substrat porteur
	54	Montants de support
	56	Membrane
	58	Couche isolante
30	60	Plaquette de manipulation

	62	Electrode inférieure
	64	Couche de diélectrique
	64	Substrat porteur
	68	Membrane
5	70	Couche isolante
	71	Montants de support
	72	Plaquette de manipulation
	74	Electrode inférieure
	76	Couche de diélectrique
10	78	Substrat porteur
	80	Montants de support
	81	Plaquette SOI
	82	Membrane
	84	Couche isolante
15	86	Couche d'oxyde enterrée
	88	Plaquette de manipulation
	90	Electrode inférieure
	92	Couche de diélectrique
	94	Substrat porteur
20	96	Montants de support
	97	Plaquette SOI
	98	Membrane
	100	Couche isolante
	102	Couche d'oxyde enterrée
25	104	Plaquette de manipulation
	106	Electrode inférieure
	108	Substrat porteur
	110	Masque
	112	Traversée
30	114	Plaquette de manipulation

	116	Couches de photorésist
	118	Couche d'ensemencement
	120	Matériau conducteur dans la traversée
	122	Interconnexion électrique pour la cellule
5	124	Interconnexion électrique pour le circuit électronique
	126	Substrat porteur
	128	Masque
	130	Couche d'ensemencement
	132	Traversée
10	134	Matériau conducteur dans la traversée
	136	Surface de la portion métallisée
	138	Interconnexion électrique pour la cellule
	140	Interconnexion électrique pour le circuit électronique
	142	Plaquette de manipulation
15	143	Structure multicouche
	144	Couches de photorésist
	146	Couche de nickel-chrome
	148	Substrat porteur
	150	Masque
20	152	Plaquette de manipulation
	154	Couche de photorésist
	156	Traversée
	158	Couche d'ensemencement
	160	Matériau non conducteur
25	162	Interconnexion électrique pour le circuit électronique
	164	Substrat porteur comprenant la traversée
	166	Interconnexion électrique pour la cellule
	168	Membrane
	170	Circuit électronique
30	171	Traversée

	172	Interconnexion électrique pour le circuit électronique ou la cellule
	173	Matériau conducteur
	174	Plages de contact
	175	Interconnexions
5	176	Montants de support
	178	Matériau conducteur
	180	Plages de contact
	182	Isolement électrique
	184	Membrane
10	188	Substrat porteur
	190	Montants de support
	192	Traversée
	194	Matériau conducteur dans la traversée
	196	Interconnexions
15	198	Electrode inférieure
	200	Electrode inférieure
	202	Membrane
	204	Couche d'oxyde
	206	Electrode supérieure
20	208	Connexions électriques
	210	Isolement électrique

## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif, comprenant les étapes de:

5           fourniture d'un substrat porteur (10), où le substrat porteur (10) comprend du verre;

          fourniture d'une membrane (14) de telle manière qu'au moins un du substrat porteur (10) et de la membrane (14) comprend des montants de support (12), où les montants de support (12) sont configurés pour définir une profondeur de cavité; et

10           assemblage de la membrane (14) au substrat porteur (10) par utilisation des montants de support (12), où le substrat porteur (10), la membrane (14) et les montants de support (12) forment une cavité acoustique.

          2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le verre comprend un verre riche en sodium.

15           3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le verre comprend un verre borosilicaté.

          4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de fourniture du substrat porteur (10) comprend en outre la fourniture d'une électrode inférieure (22) sur le substrat porteur (10) de telle manière que la cavité acoustique est délimitée par  
20 l'électrode inférieure (22) et la membrane (14).

          5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'assemblage comprend une technique parmi soudage anodique, brasage tendre, assemblage chimique ou des combinaisons de ces techniques.

          6. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de fourniture du substrat porteur (10) comprend en outre la formation d'une traversée (171) dans le substrat (10).  
25

          7. Procédé de fabrication d'une cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif, comprenant les étapes de:

          fourniture d'un substrat porteur (108) présentant une première surface et une deuxième surface, où le substrat porteur comprend du verre;

formation d'une traversée (112) dans le substrat porteur (108), où la traversée (112) s'étend de la première surface à la deuxième surface du substrat porteur (108); et

couplage d'une membrane (184) au substrat porteur (108) afin de former une cavité acoustique, où la profondeur de la cavité acoustique est définie par des montants de support (176), et où l'un du substrat porteur (108) et de la membrane (184) comprend les montants de support (176).

8. Procédé de fabrication d'un groupement de transducteurs à ultrasons micro-usinés capacitifs, comprenant les étapes de:

fourniture d'un substrat en verre présentant une première surface et une deuxième surface, où la première surface est divisée en une pluralité de portions;

formation de traversées (192) dans le substrat en verre, où les traversées s'étendent de la première surface du substrat en verre à la deuxième surface du substrat en verre;

dépôt d'électrodes inférieures (198) sur chacune des portions de la première surface du substrat en verre;

couplage d'une pluralité de membranes (202) au substrat en verre de telle manière que chaque membrane (202) est couplée à une portion du substrat en verre afin de former une cavité acoustique, et où la profondeur de la cavité acoustique est définie par des montants de support (190) placés à l'intérieur de l'un du substrat en verre et de la membrane (202); et

dépôt de plages de contact (28) sur la première surface du substrat en verre de telle manière que les plages de contact (28) sont formées sur les portions du substrat en verre que n'emploie pas la cavité acoustique, et où chaque plage de contact (28) est en communication électrique avec une traversée correspondante.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel le couplage comprend un soudage anodique, un brasage tendre, un assemblage chimique ou des combinaisons de ces techniques.

10. Cellule de transducteur à ultrasons micro-usiné capacitif, comprenant:

un substrat en verre présentant une première surface et une deuxième surface; et

une membrane assemblée à la première surface du substrat en verre, dans laquelle l'une de la première surface du substrat en verre et de la membrane délimite une cavité.

1/14

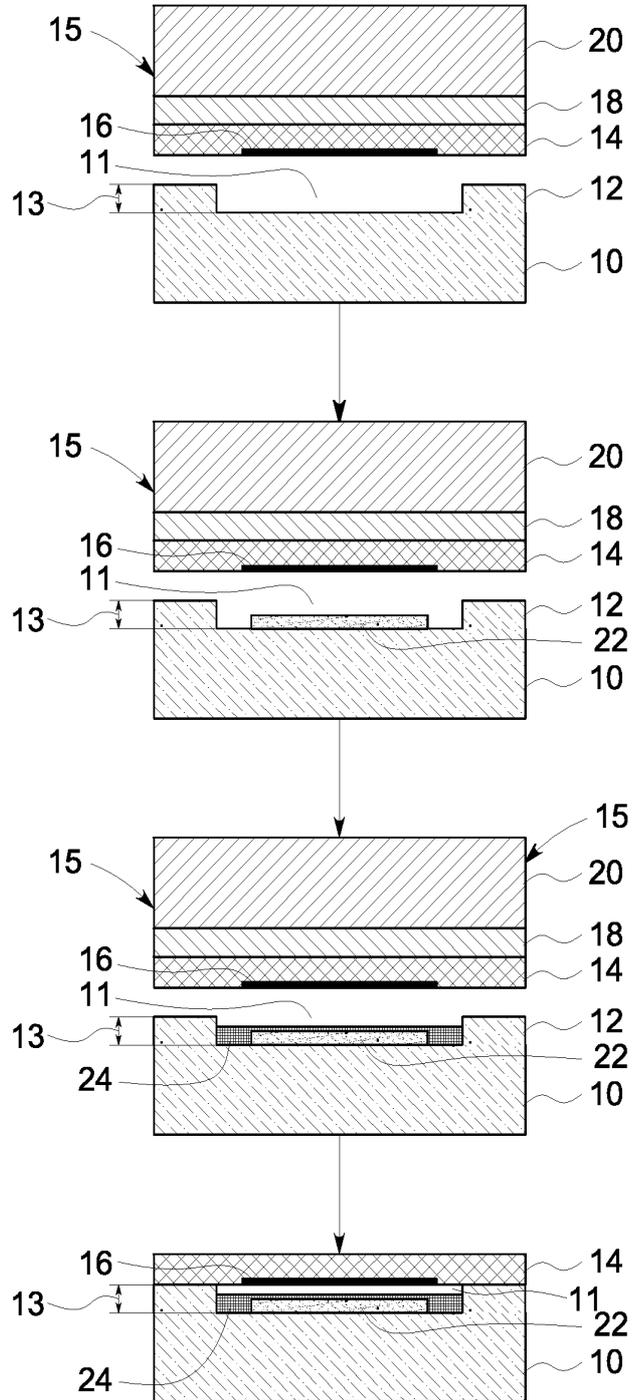


FIG. 1

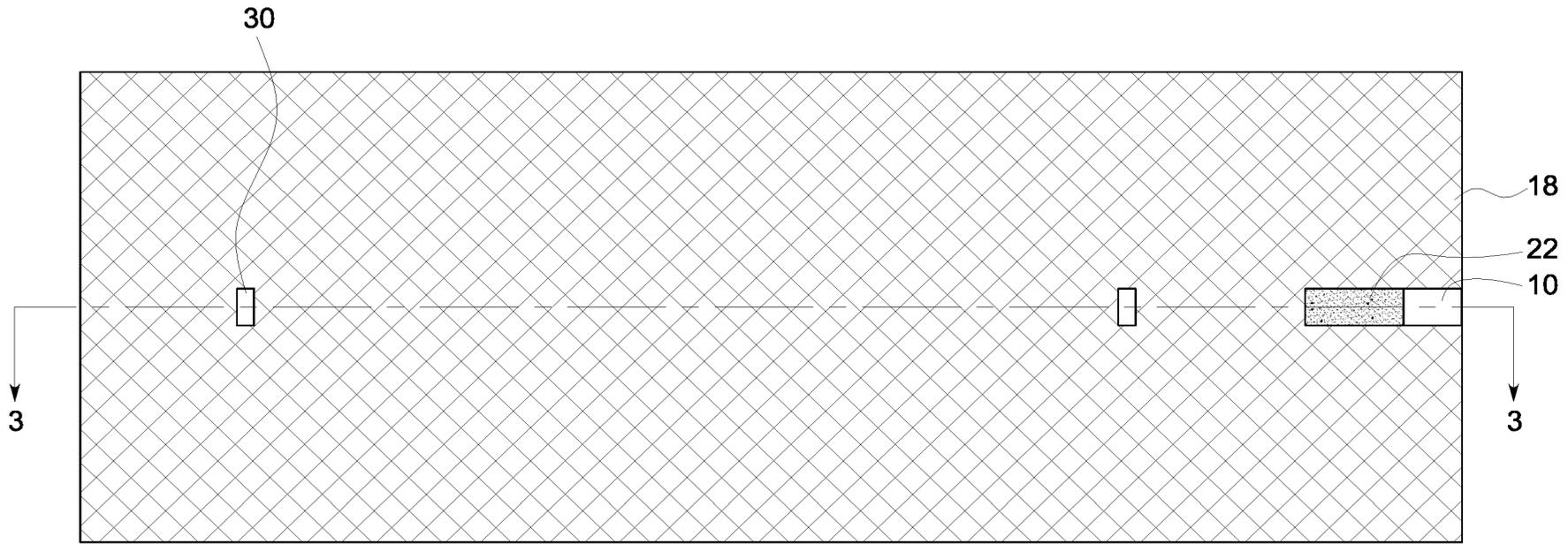


FIG. 2

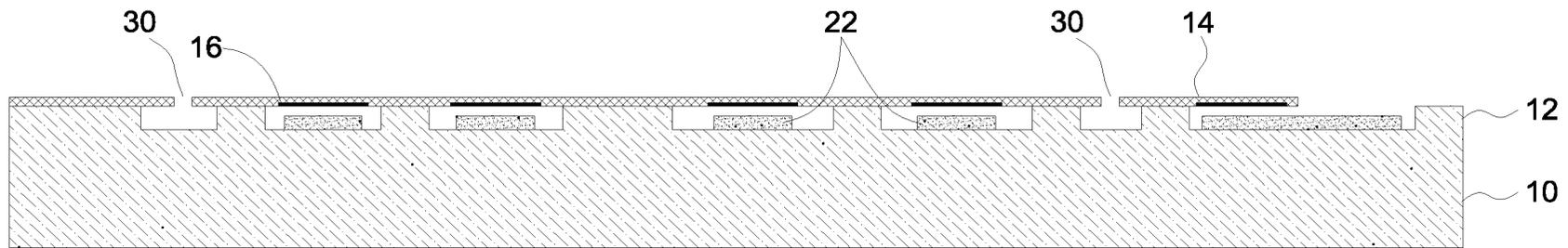


FIG. 3

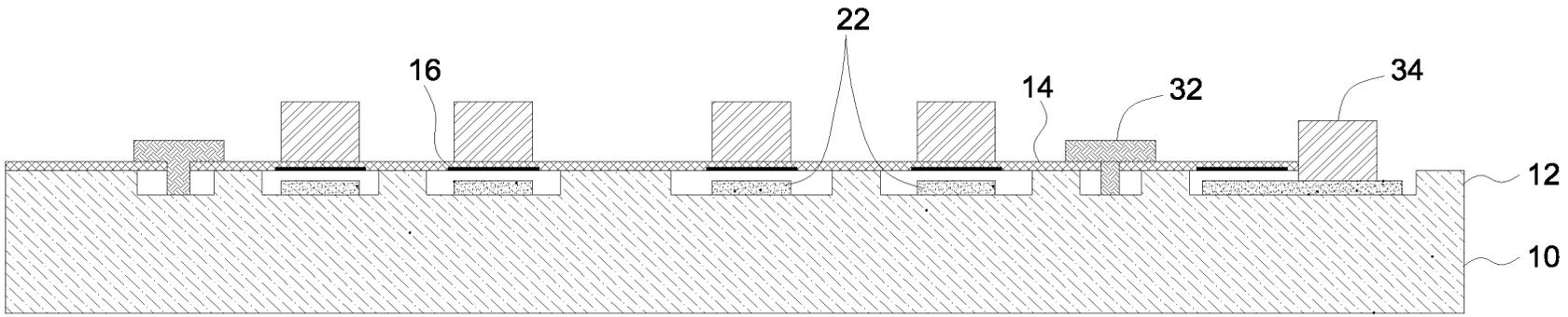


FIG. 4

3/14

4/14

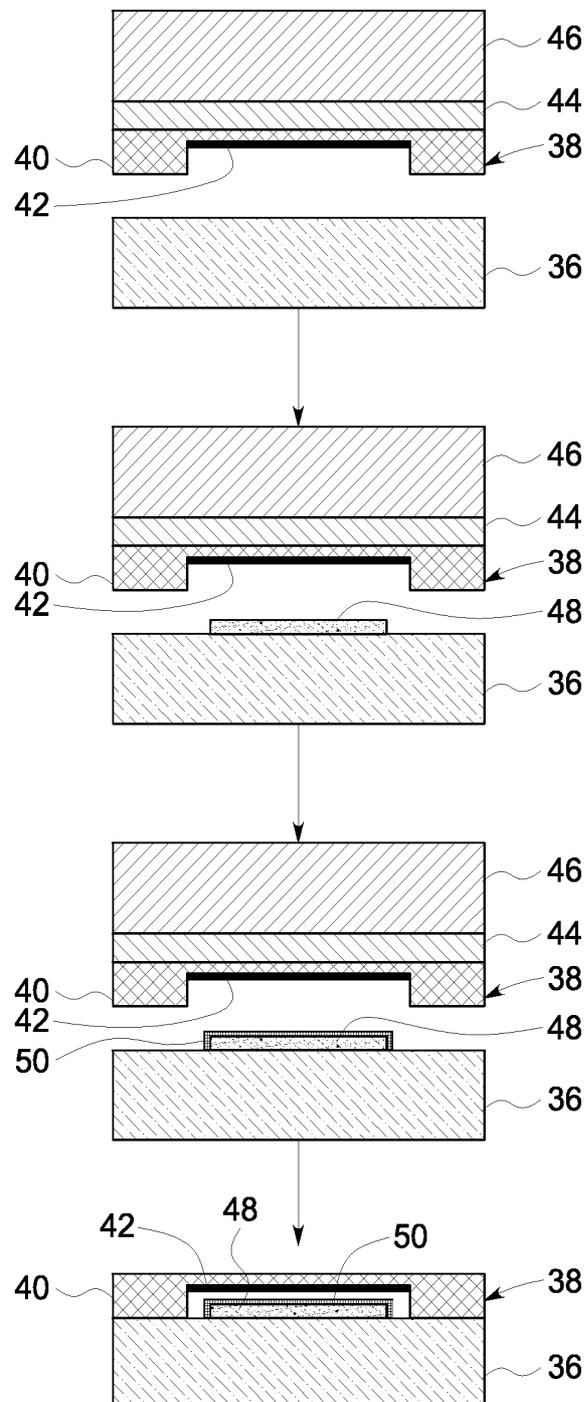


FIG. 5

5/14

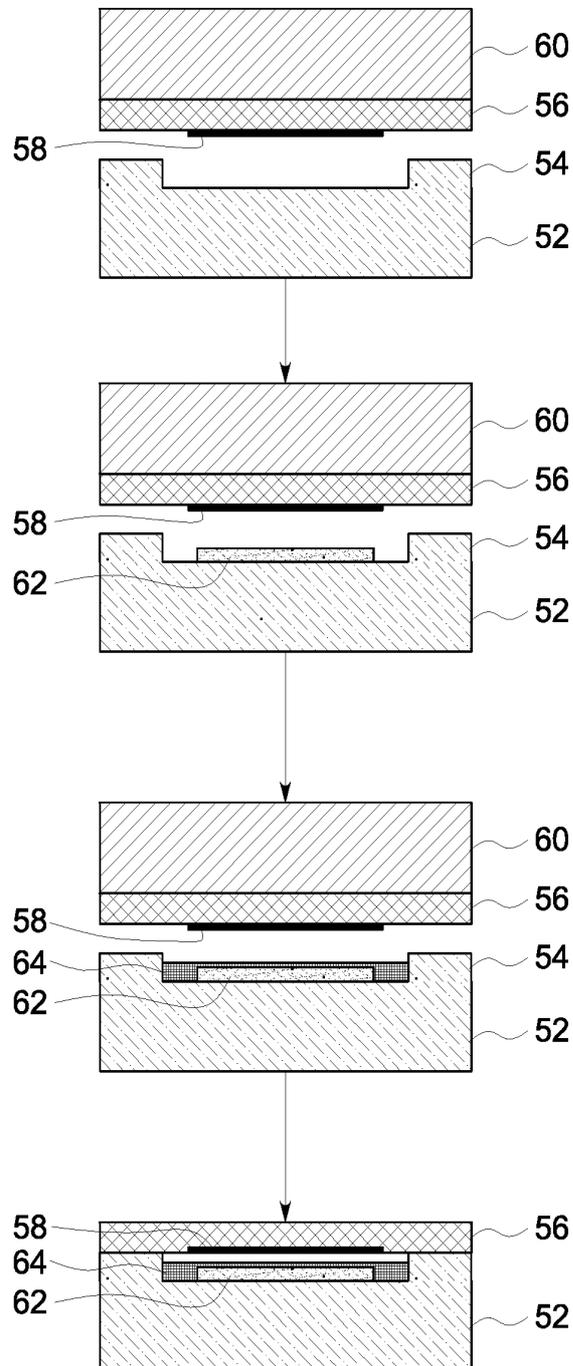


FIG. 6

6/14

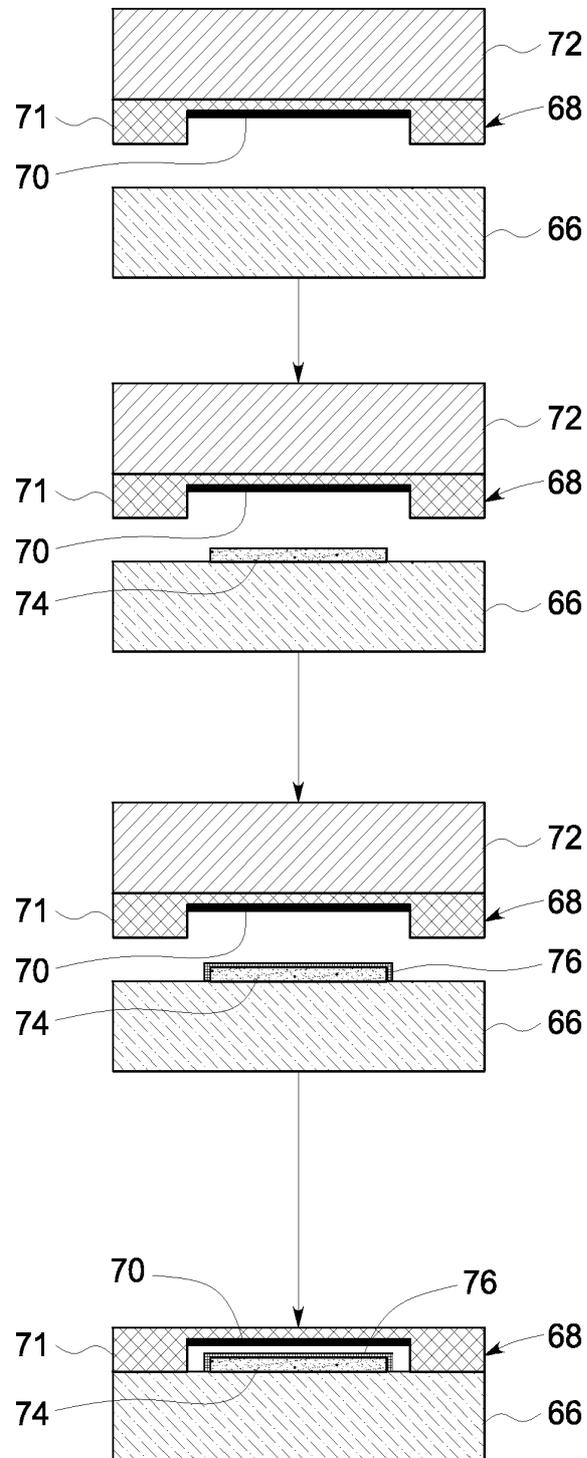


FIG. 7

7/14

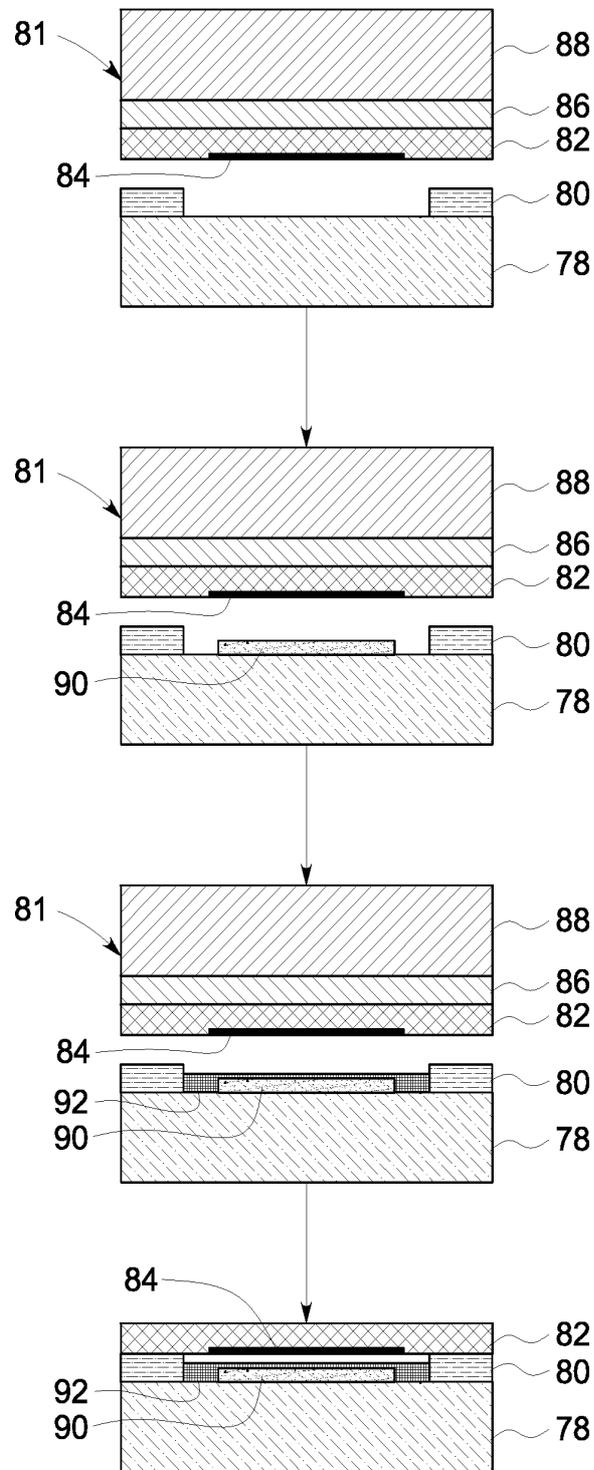


FIG. 8

8/14

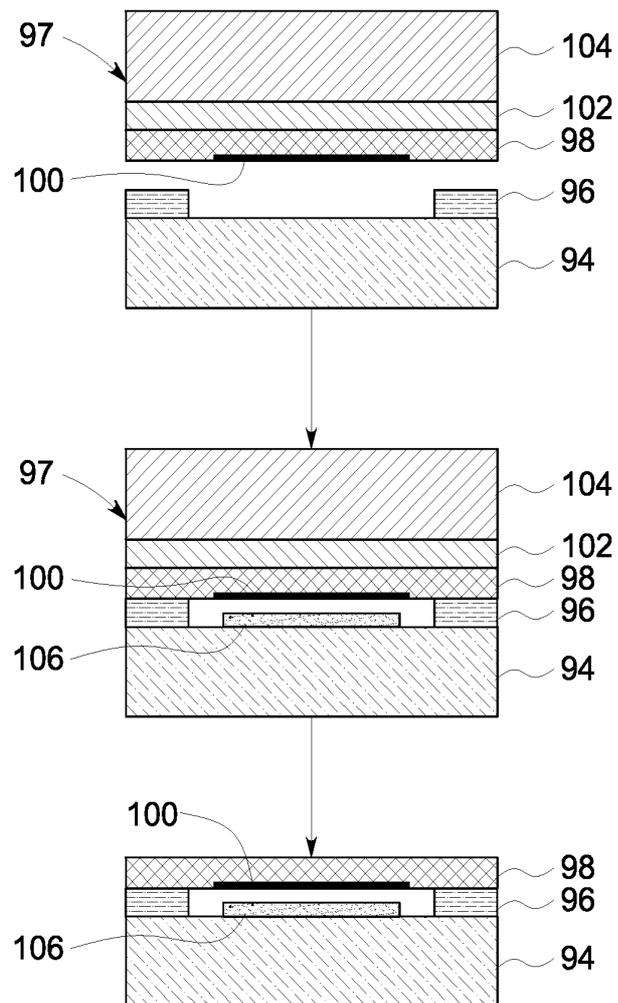
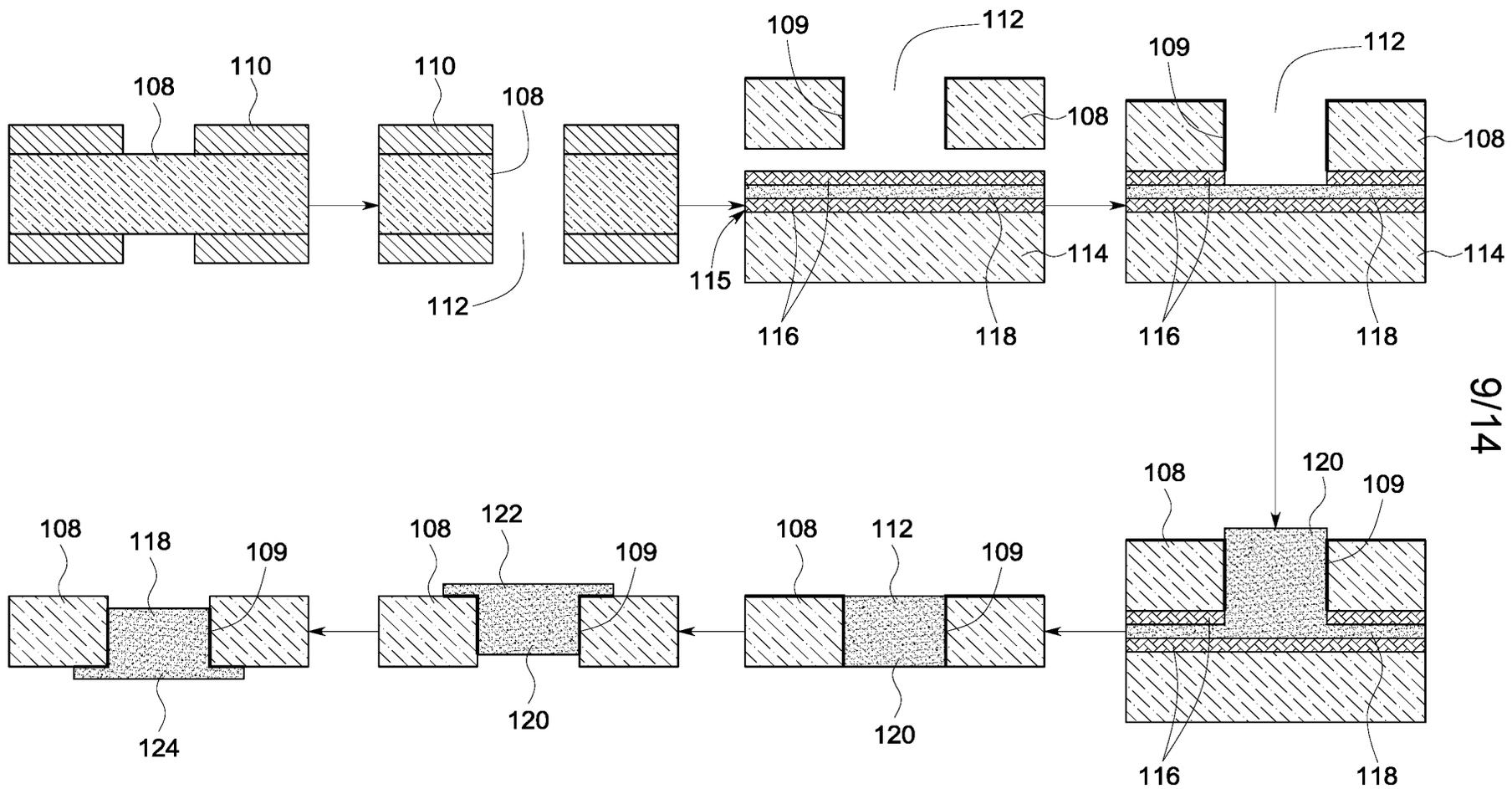


FIG. 9



9/14

FIG. 10

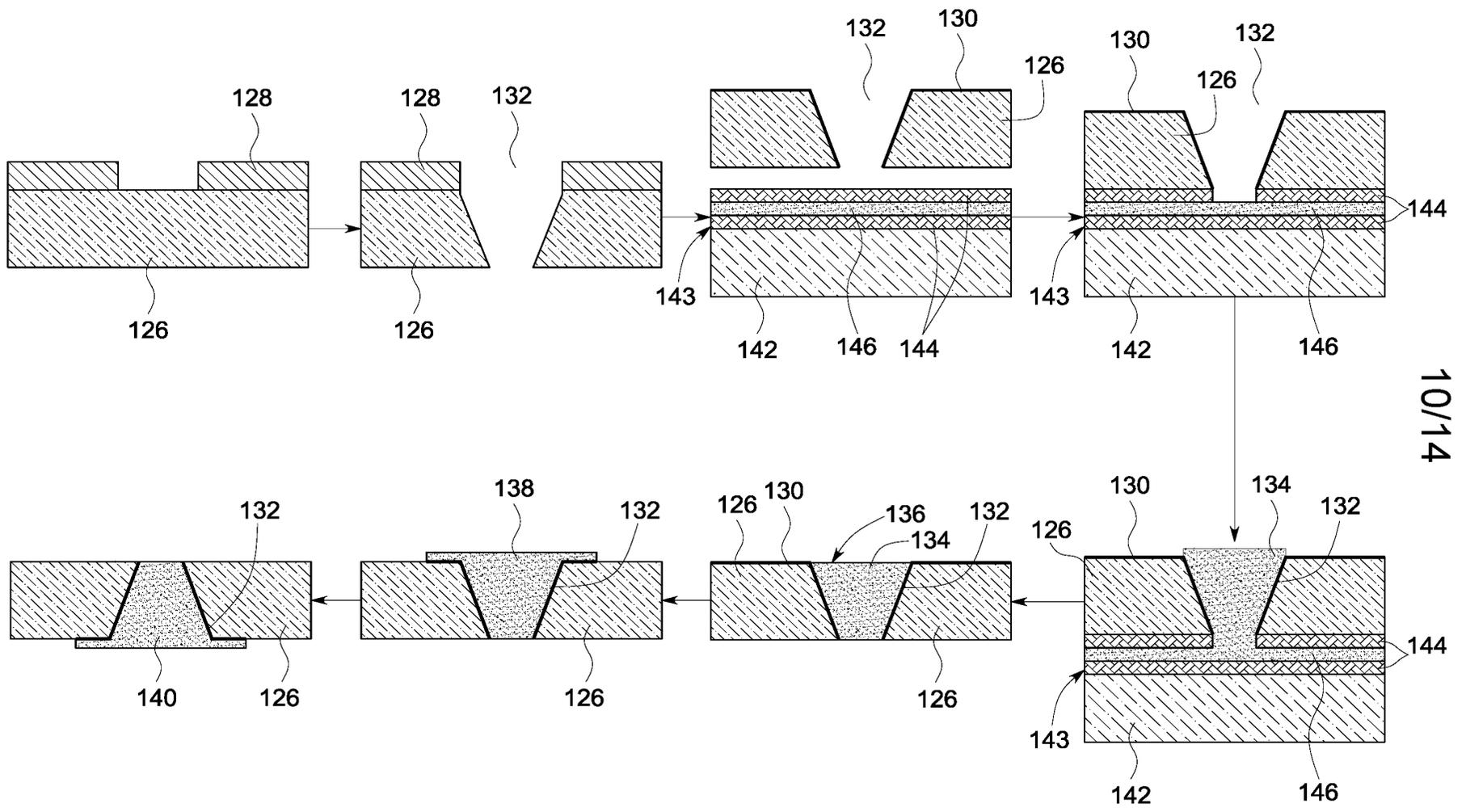


FIG. 11

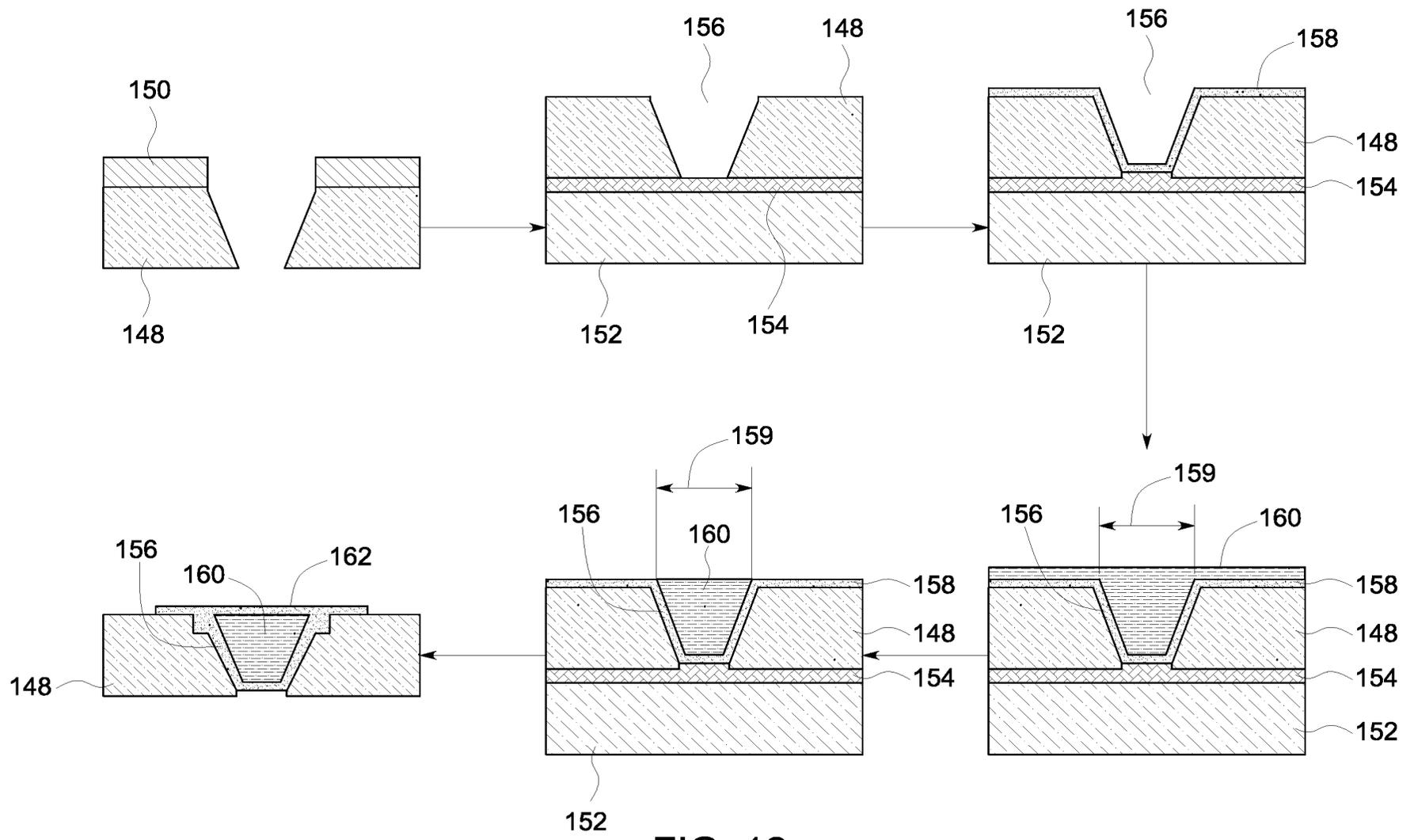


FIG. 12

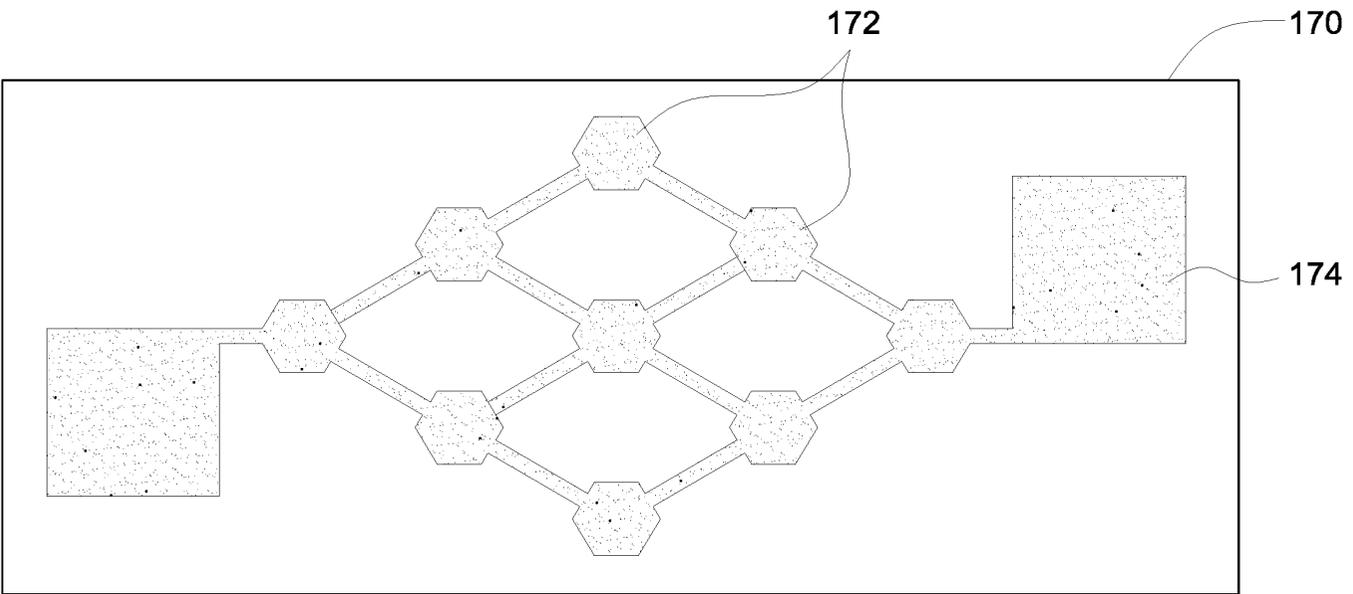


FIG. 13

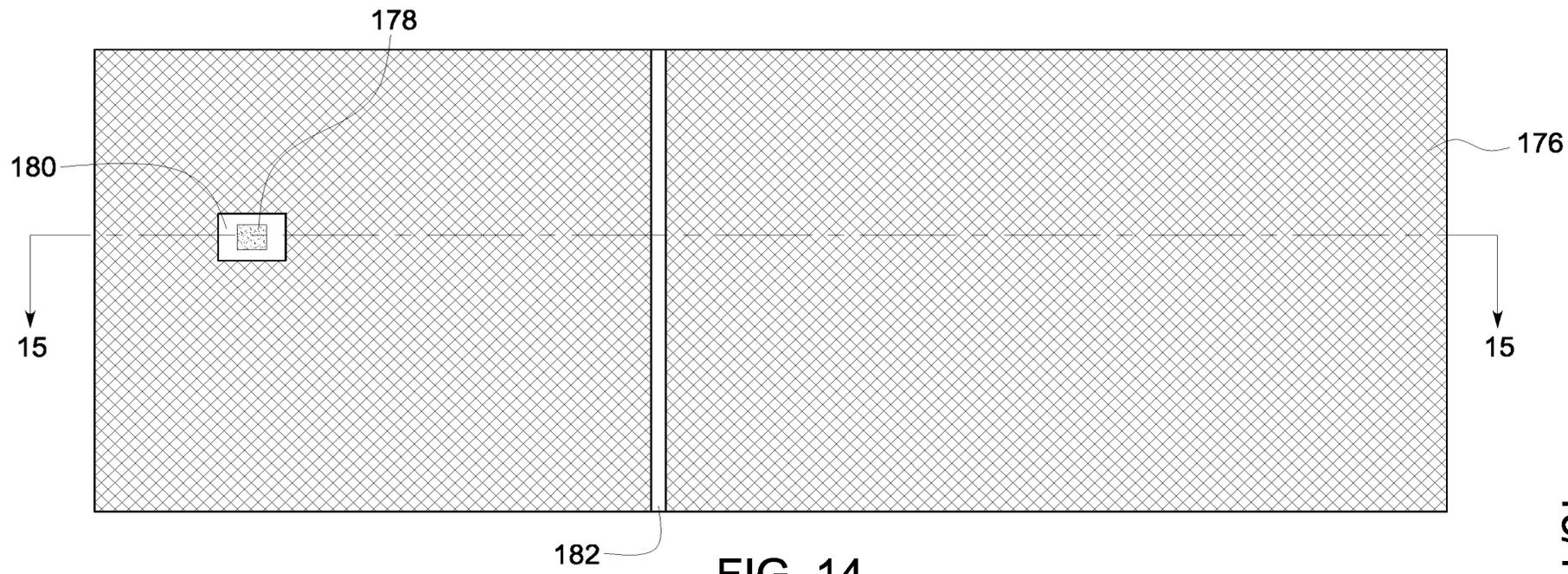


FIG. 14

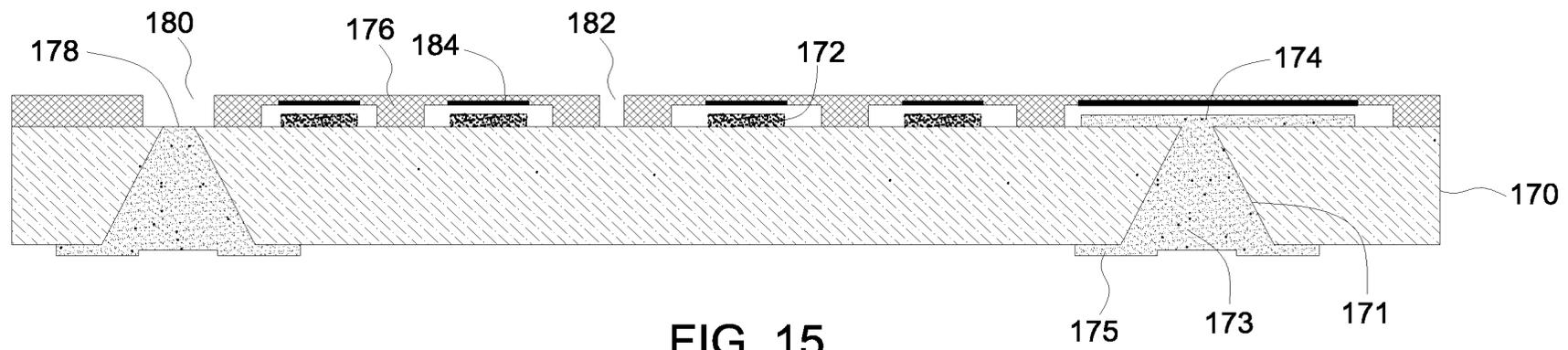


FIG. 15

13/14

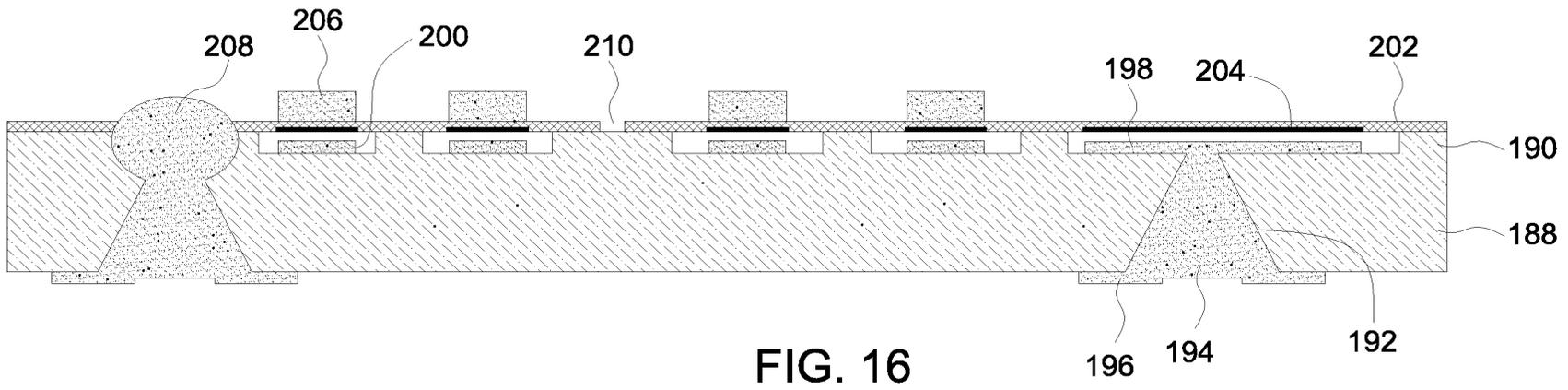


FIG. 16