

(19)



(11)

**EP 4 157 553 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

**10.07.2024 Bulletin 2024/28**

(21) Numéro de dépôt: **21725780.7**

(22) Date de dépôt: **19.05.2021**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**B06B 1/06 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**B06B 1/0629**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/EP2021/063218**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2021/239525 (02.12.2021 Gazette 2021/48)**

(54) **DISPOSITIF D'IMAGERIE ULTRASONORE A ADRESSAGE LIGNE-COLONNE**

ULTRASCHALL-BILDGERÄT MIT ZEILEN- UND SPALTENADRESSIERUNG

ULTRASONIC IMAGING DEVICE WITH LINE AND COLUMN ADDRESSING

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **28.05.2020 FR 2005636**

(43) Date de publication de la demande:  
**05.04.2023 Bulletin 2023/14**

(73) Titulaire: **Moduleus**  
**37100 Tours (FR)**

(72) Inventeurs:

- **BOULME, Audren**  
**37100 TOURS (FR)**
- **JEANNE, Edgard**  
**37100 TOURS (FR)**

(74) Mandataire: **Cabinet Beaumont**  
**4, Place Robert Schuman**  
**B.P. 1529**  
**38025 Grenoble Cedex 1 (FR)**

(56) Documents cités:  
**WO-A1-2017/076843**

**EP 4 157 553 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

### Domaine technique

**[0001]** La présente description concerne le domaine de l'imagerie ultrasonore, et vise plus particulièrement un dispositif comportant une matrice de transducteurs ultrasonores à adressage ligne-colonne.

### Technique antérieure

**[0002]** Un dispositif d'imagerie ultrasonore comprend classiquement une pluralité de transducteurs ultrasonores, et un circuit électronique de commande connecté aux transducteurs. En fonctionnement, l'ensemble des transducteurs est disposé face à un corps dont on souhaite acquérir une image. Le circuit électronique de commande est configuré pour appliquer des signaux électriques d'excitation aux transducteurs, de façon à provoquer l'émission d'ondes ultrasonores par les transducteurs, en direction du corps ou objet à analyser. Les ondes ultrasonores émises par les transducteurs sont réfléchies par le corps à analyser (par sa structure interne et/ou superficielle), puis reviennent vers les transducteurs qui les convertissent à nouveau en signaux électriques. Ces signaux électriques de réponse sont lus par le circuit électronique de commande, et peuvent être mémorisés et analysés pour en déduire des informations sur le corps étudié.

**[0003]** Les transducteurs ultrasonores peuvent être disposés en barrette dans le cas de dispositifs d'acquisition d'images bidimensionnelles, ou en matrice dans le cas de dispositifs d'acquisition d'images tridimensionnelles. Dans le cas d'un dispositif d'acquisition d'images bidimensionnelles, l'image acquise est représentative d'une coupe du corps étudié dans un plan défini par l'axe d'alignement des transducteurs de la barrette d'une part, et par la direction d'émission des transducteurs d'autre part. Dans le cas d'un dispositif d'acquisition d'images tridimensionnelles, l'image acquise est représentative d'un volume défini par les deux directions d'alignement des transducteurs de la matrice et par la direction d'émission des transducteurs.

**[0004]** Parmi les dispositifs d'acquisition d'images tridimensionnelles, on peut distinguer les dispositifs dits entièrement peuplés ("fully populated" en langue anglaise), dans lesquels chaque transducteur de la matrice est adressable individuellement, et les dispositifs dits à adressage ligne-colonne ou RCA (de l'anglais "Row-Column Addressing"), dans lesquels les transducteurs de la matrice sont adressables par ligne et par colonne.

**[0005]** Les dispositifs entièrement peuplés offrent une plus grande flexibilité dans la mise en forme des faisceaux ultrasonores en émission et en réception. L'électronique de commande de la matrice est toutefois complexe, le nombre de canaux d'émission/réception requis étant égal à  $M \times N$  dans le cas d'une matrice de M lignes par N colonnes. De plus, le rapport signal sur bruit est

généralement relativement faible dans la mesure où chaque transducteur présente une faible surface d'exposition aux ondes ultrasonores.

**[0006]** Les dispositifs de type RCA utilisent des algorithmes de mise en forme des faisceaux ultrasonores différents. Les possibilités de mise en forme des faisceaux peuvent être réduites par rapport aux dispositifs entièrement peuplés. Toutefois, l'électronique de commande de la matrice est considérablement simplifiée, le nombre de canaux d'émission/réception requis étant réduit à  $M+N$  dans le cas d'une matrice de M lignes par N colonnes. De plus, le rapport signal sur bruit est amélioré du fait de l'interconnexion des transducteurs en ligne ou en colonne lors des phases d'émission et de réception. Un dispositif de l'état de l'art est divulgué dans le document WO 2017/076843 A1. Ce document décrit un dispositif d'imagerie ultrasonore comportant une pluralité de transducteurs ultrasonores agencés selon des lignes et des colonnes. Dans chaque ligne, deux transducteurs voisins ont leurs électrodes inférieures connectées l'une à l'autre, et dans chaque colonne, deux transducteurs voisins ont leurs électrodes supérieures connectées l'une à l'autre.

**[0007]** On s'intéresse ici plus particulièrement aux dispositifs d'acquisition d'images tridimensionnelles à adressage ligne-colonne (RCA).

### Résumé de l'invention

**[0008]** Un objet d'un mode de réalisation est de prévoir un dispositif d'acquisition d'images ultrasonores tridimensionnelles à adressage ligne-colonne, palliant tout ou partie des inconvénients des dispositifs connus.

**[0009]** Pour cela, un mode de réalisation prévoit un dispositif d'imagerie ultrasonore comportant une pluralité de transducteurs ultrasonores agencés selon des lignes et des colonnes, chaque transducteur comportant une électrode inférieure et une électrode supérieure, dans lequel :

- dans chaque ligne, deux transducteurs voisins quelconques de la ligne ont respectivement leur électrode inférieure et leur électrode supérieure connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure et leur électrode inférieure connectées l'une à l'autre ; et
- dans chaque colonne, deux transducteurs voisins quelconques de la colonne ont respectivement leur électrode inférieure et leur électrode supérieure connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure et leur électrode inférieure connectées l'une à l'autre.

**[0010]** Selon un mode de réalisation :

- dans chaque ligne, deux transducteurs voisins quelconques de la ligne ont leurs électrodes inférieures respectives isolées électriquement l'une de l'autre et leurs électrodes supérieures respectives isolées

- électriquement l'une de l'autre ; et
- dans chaque colonne, deux transducteurs voisins quelconques de la colonne ont leurs électrodes inférieures respectives isolées électriquement l'une de l'autre et leurs électrodes supérieures respectives isolées électriquement l'une de l'autre.

**[0011]** Selon un mode de réalisation, chaque transducteur ultrasonore est un transducteur CMUT comportant une membrane flexible suspendue au-dessus d'une cavité, l'électrode inférieure du transducteur étant disposée du côté de la cavité opposé à la membrane flexible, et l'électrode supérieure du transducteur étant disposée du côté de la membrane flexible opposé à la cavité.

**[0012]** Selon un mode de réalisation, les cavités des transducteurs sont formées dans une couche support rigide, et chaque transducteur a son électrode supérieure connectée électriquement à une électrode inférieure d'un transducteur voisin par l'intermédiaire d'un élément conducteur traversant la couche support rigide.

**[0013]** Selon un mode de réalisation, l'électrode inférieure de chaque transducteur est en un matériau semi-conducteur dopé.

**[0014]** Selon un mode de réalisation, une portion de couche métallique s'étend sous l'électrode inférieure de chaque transducteur, en contact avec la face inférieure de l'électrode inférieure du transducteur.

**[0015]** Selon un mode de réalisation, dans chaque transducteur, la membrane flexible est en un matériau semi-conducteur.

**[0016]** Selon un mode de réalisation, dans chaque transducteur, une couche diélectrique revêt la face supérieure de l'électrode inférieure du transducteur, au fond de la cavité.

**[0017]** Selon un mode de réalisation, chaque transducteur est un transducteur PMUT.

#### Brève description des dessins

**[0018]** Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 est une vue de dessus illustrant de façon schématique et partielle un exemple d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne ;

la figure 2A est une vue en coupe selon le plan A-A de la figure 1, illustrant plus en détail un exemple de réalisation du dispositif de la figure 1 ;

la figure 2B est une vue en coupe correspondante selon le plan B-B de la figure 1 ;

la figure 3 est une vue de dessus illustrant de façon

schématique et partielle un mode de réalisation d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne ;

5 la figure 4A est une vue en coupe selon le plan A-A de la figure 3, illustrant plus en détail un exemple de réalisation du dispositif de la figure 3 ;

10 la figure 4B est une vue en coupe correspondante selon le plan B-B de la figure 3 ;

la figure 5A est une vue en coupe selon le plan B-B de la figure 3, illustrant plus en détail un autre exemple de réalisation du dispositif de la figure 3 ;

15 la figure 5B est une vue en coupe correspondante selon le plan B-B de la figure 3 ;

20 les figures 6A à 6K sont des vues en coupe illustrant des étapes d'un exemple d'un procédé de fabrication d'un dispositif du type illustré par les figures 4A et 4B ; et

25 les figures 7A à 7C sont des vues en coupe illustrant des étapes d'un exemple d'un procédé de fabrication d'un dispositif du type illustré par les figures 5A et 5B.

#### Description des modes de réalisation

30 **[0019]** De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures. En particulier, les éléments structurels et/ou fonctionnels communs aux différents modes de réalisation peuvent présenter les mêmes références et peuvent disposer de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

35 **[0020]** Par souci de clarté, seuls les étapes et éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés. En particulier, les diverses applications que peuvent avoir les dispositifs d'imagerie décrits n'ont pas été détaillées, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec les applications usuelles des dispositifs d'imagerie ultrasonore. En particulier, les propriétés (fréquences, formes, amplitudes, etc.) des signaux électriques d'excitation appliqués aux transducteurs ultrasonores n'ont pas été détaillées, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec les signaux d'excitation usuellement utilisés dans les systèmes d'imagerie ultrasonore, qui peuvent être choisis en fonction de l'application considérée et en particulier de la nature du corps à analyser et du type d'information que l'on cherche à acquérir. De façon similaire, les divers traitements appliqués aux signaux électriques fournis par les transducteurs ultrasonores pour extraire des informations utiles sur le corps à analyser n'ont pas été détaillés, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec les traitements usuellement mis en oeuvre dans les systèmes d'imagerie ultrasonore. De plus, les circuits de

commande des transducteurs ultrasonores des dispositifs d'imagerie décrits n'ont pas été détaillés, les modes de réalisation étant compatibles avec tous ou la plupart des circuits connus de commande de transducteurs ultrasonores de dispositifs d'imagerie ultrasonore matriciels à adressage ligne-colonne. En outre, la réalisation des transducteurs ultrasonores des dispositifs d'imagerie décrits n'a pas été détaillée, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec toutes ou la plupart des structures connues de transducteurs ultrasonores.

**[0021]** Sauf précision contraire, lorsque l'on fait référence à deux éléments connectés entre eux, cela signifie directement connectés sans éléments intermédiaires autres que des conducteurs, et lorsque l'on fait référence à deux éléments reliés (en anglais "coupled") entre eux, cela signifie que ces deux éléments peuvent être connectés ou être reliés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres éléments.

**[0022]** Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "avant", "arrière", "haut", "bas", "gauche", "droite", etc., ou relative, tels que les termes "dessus", "dessous", "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que les termes "horizontal", "vertical", etc., il est fait référence sauf précision contraire à l'orientation des figures.

**[0023]** Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

**[0024]** La figure 1 est une vue de dessus illustrant de façon schématique et partielle un exemple d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne 100.

**[0025]** Les figures 2A et 2B sont des vues en coupe du dispositif 100 de la figure 1 selon respectivement les plans A-A et B-B de la figure 1.

**[0026]** Le dispositif 100 comprend une pluralité de transducteurs ultrasonores 101 agencés en matrice selon M lignes  $L_i$  et N colonnes  $C_j$ , avec M et N entiers supérieurs ou égaux à 2, i entier allant de 1 à M, et j entier allant de 1 à N.

**[0027]** Sur la figure 1, quatre lignes  $L_1, L_2, L_3, L_4$  et quatre colonnes  $C_1, C_2, C_3, C_4$  ont été représentées. En pratique, les nombres M de lignes et N de colonnes du dispositif 100 peuvent bien entendu être différents de 4.

**[0028]** Chaque transducteur 101 du dispositif 100 comprend une électrode inférieure E1 et une électrode supérieure E2 (figures 2A et 2B). Lorsqu'une tension d'excitation appropriée est appliquée entre ses électrodes E1 et E2, le transducteur émet une onde acoustique ultrasonore. Lorsque le transducteur reçoit une onde acoustique ultrasonore dans une certaine gamme de fréquences, il fournit entre ses électrodes E1 et E2 une tension représentative de l'onde reçue.

**[0029]** Dans cet exemple, les transducteurs 101 sont des transducteurs capacitifs à membrane, aussi appelés transducteurs CMUT (de l'anglais "Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer" - transducteur ultrasonore

capacitif micro-usiné).

**[0030]** Dans chaque colonne  $C_j$  de la matrice de transducteurs, les transducteurs 101 de la colonne ont leurs électrodes inférieures E1 respectives connectées entre elles. Les électrodes inférieures E1 de transducteurs 101 de colonnes distinctes ne sont en revanche pas connectées entre elles. De plus, dans chaque ligne  $L_i$  de la matrice de transducteurs, les transducteurs 101 de la ligne ont leurs électrodes supérieures E2 respectives connectées entre elles. Les électrodes supérieures E2 de transducteurs 101 de lignes distinctes ne sont en revanche pas connectées entre elles.

**[0031]** Dans chaque colonne  $C_j$  du dispositif 100, les électrodes inférieures E1 des transducteurs 101 de la colonne forment une bande conductrice ou semiconductrice continue 103, s'étendant sur sensiblement toute la longueur de la colonne. A titre de variante, chaque bande 103 d'électrodes E1 comprend un empilement vertical d'une bande semiconductrice et d'une bande conductrice s'étendant chacune sur sensiblement toute la longueur de la colonne. De plus, dans chaque ligne  $L_i$  du dispositif 100, les électrodes supérieures E2 des transducteurs 101 de la ligne forment une bande conductrice ou semiconductrice continue 105, s'étendant sur sensiblement toute la longueur de la ligne. A titre de variante, chaque bande 105 d'électrodes E2 comprend un empilement vertical d'une bande semiconductrice et d'une bande conductrice s'étendant chacune sur sensiblement toute la longueur de la ligne. Par souci de simplification, seules les bandes d'électrodes inférieures 103 et supérieures 105 sont représentées sur la figure 1.

**[0032]** Dans l'exemple représenté, les bandes 103 formant les électrodes de colonne sont en un matériau semiconducteur dopé, par exemple en silicium dopé. De plus, dans cet exemple, les bandes 105 formant les électrodes de ligne sont en métal. A titre d'exemple, en vue de dessus, les bandes inférieures 103 sont parallèles entre elles, et les bandes supérieures 105 sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux bandes 103.

**[0033]** Dans l'exemple de la figure 1, le dispositif 100 comprend un substrat de support 110, par exemple en un matériau semiconducteur, par exemple en silicium. La matrice de transducteurs ultrasonores 101 est disposée sur la face supérieure du substrat 110. Plus particulièrement, dans cet exemple, une couche diélectrique 112, par exemple une couche d'oxyde de silicium, fait interface entre le substrat 110 et la matrice de transducteurs ultrasonores 101. La couche diélectrique 112 s'étend par exemple de façon continue sur toute la surface supérieure du substrat de support 110. A titre d'exemple, la couche 112 est en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure du substrat 110, sur sensiblement toute la surface supérieure du substrat 110.

**[0034]** Les bandes d'électrodes inférieures 103 sont disposées sur la face supérieure de la couche diélectrique 112, par exemple en contact avec la face supérieure de la couche diélectrique 112. Les bandes 103 peuvent

être séparées latéralement les unes des autres par des bandes diélectriques 121, par exemple en oxyde de silicium, s'étendant parallèlement aux bandes 103 et présentant une épaisseur sensiblement identique à celle des bandes 103.

**[0035]** Chaque transducteur 101 comporte une cavité 125 formée dans une couche support rigide 127, et une membrane flexible 123 suspendue au-dessus de la cavité 125. La couche 127 est par exemple une couche d'oxyde de silicium. La couche 127 est disposée sur la surface supérieure, par exemple sensiblement plane, de l'assemblage formé par les bandes alternées 103 et 121. Dans chaque transducteur 101, la cavité 125 est située en vis-à-vis de l'électrode inférieure E1 du transducteur.

**[0036]** Dans l'exemple représenté, chaque transducteur 101 comprend une unique cavité 125 en vis-à-vis de son électrode inférieure E1. A titre de variante, dans chaque transducteur 101, la cavité 125 peut être divisée en une pluralité de cavités élémentaires, par exemple disposées, en vue de dessus, en matrice selon des rangées et des colonnes, séparées latéralement les unes des autres par des parois latérales formées par des portions de la couche 127.

**[0037]** Dans l'exemple représenté, au fond de chaque cavité 125, une couche diélectrique 129, par exemple en oxyde de silicium, revêt l'électrode inférieure E1 du transducteur, de façon à empêcher tout contact électrique entre la membrane flexible 123 et l'électrode inférieure E1 du transducteur. A titre de variante, pour assurer cette fonction d'isolation électrique, une couche diélectrique (non représentée) peut revêtir la face inférieure de la membrane 123. Dans ce cas, la couche 129 peut être omise.

**[0038]** Dans chaque transducteur 101, la membrane flexible 123, revêtant la cavité 125 du transducteur, est par exemple en un matériau semiconducteur dopé ou non dopé, par exemple en silicium.

**[0039]** Dans chaque transducteur 101, l'électrode supérieure E2 du transducteur est disposée sur et en contact avec la face supérieure de la membrane flexible 123 du transducteur, à l'aplomb de la cavité 125 et de l'électrode inférieure E1 du transducteur. A titre de variante, dans le cas d'une membrane semiconductrice, l'électrode supérieure E2 de chaque transducteur 101 peut être formée par la membrane elle-même, auquel cas la couche 105 peut être omise.

**[0040]** A titre d'exemple, dans chaque ligne  $L_i$  du dispositif 100, les membranes flexibles 123 des transducteurs 101 de la ligne forment une bande de membrane continue s'étendant sur sensiblement toute la longueur de la ligne, séparée latéralement des bandes de membrane des lignes voisines par une région diélectrique. Dans chaque ligne  $L_i$ , la bande de membrane 123 de la ligne coïncide par exemple, en vue de dessus, avec la bande d'électrodes supérieures 105 de la ligne.

**[0041]** Pour chaque ligne  $L_i$  de la matrice de transducteurs 101, le dispositif 100 peut comprendre un circuit d'émission, un circuit de réception, et un commutateur

commandable pour, dans une première configuration, connecter les électrodes E2 des transducteurs de la ligne à une borne de sortie du circuit d'émission de la ligne, et, dans une deuxième configuration, connecter les électrodes E2 des transducteurs de la ligne à une borne d'entrée du circuit de réception de la ligne.

**[0042]** De plus, pour chaque colonne  $C_j$  de la matrice de transducteurs 101, le dispositif 100 peut comprendre un circuit d'émission, un circuit de réception, et un commutateur commandable pour, dans une première configuration, connecter les électrodes E1 des transducteurs de la colonne à une borne de sortie du circuit d'émission de la colonne, et, dans une deuxième configuration, connecter les électrodes E1 des transducteurs de la colonne à une borne d'entrée du circuit de réception de la colonne.

**[0043]** Par souci de simplification, les circuits d'émission et de réception et les commutateurs du dispositif 100 n'ont pas été représentés sur les figures. De plus, la réalisation de ces éléments n'a pas été détaillée, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec les réalisations usuelles de circuits d'émission/réception de dispositifs d'imagerie ultrasonore matriciels à adressage ligne-colonne. A titre d'exemple, non limitatif, les circuits d'émission/réception peuvent être identiques ou similaires à ceux décrits dans la demande de brevet français N°19/06515 déposée par la demanderesse le 18 juin 2019.

**[0044]** Une limitation du dispositif de la figure 1 est liée au fait que le couplage capacitif entre les bandes d'électrodes inférieures 103 et le substrat 110 est très supérieur au couplage capacitif entre les bandes d'électrodes supérieures 105 et le substrat 110. Il en résulte une différence de comportement entre les lignes  $L_i$  et les colonnes  $C_j$  du dispositif. Plus particulièrement, il en résulte une différence de sensibilité en réception entre les lignes  $L_i$  et les colonnes  $C_j$  du dispositif. On observe en particulier que, pour une même puissance acoustique reçue, la tension générée sur la bande d'électrode supérieure 105 d'une ligne  $L_i$  lors d'une phase de lecture de la ligne  $L_i$  est nettement supérieure à la tension générée sur la bande d'électrode inférieure 103 d'une colonne  $C_j$  lors d'une phase de lecture de la colonne  $C_j$ . Ceci peut conduire à des artefacts indésirables dans l'image acquise.

**[0045]** La figure 3 est une vue de dessus illustrant de façon schématique et partielle un exemple d'un mode de réalisation d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne 300.

**[0046]** Les figures 4A et 4B sont des vues en coupe du dispositif 300 de la figure 3 selon respectivement les plans A-A et B-B de la figure 3.

**[0047]** Le dispositif 300 présente des éléments communs avec le dispositif 100 décrit précédemment. Ces éléments communs ne seront pas détaillés à nouveau ci-après. Dans la suite de la description, seules les différences par rapport au dispositif 100 seront mises en exergue.

**[0048]** De même que le dispositif 100, le dispositif 300 comprend une pluralité de transducteurs ultrasonores

101 agencés en matrice selon M lignes  $L_i$  et N colonnes  $C_j$ .

**[0049]** Comme dans le dispositif 100, chaque transducteur 101 du dispositif 300 comprend une électrode inférieure E1 et une électrode supérieure E2. Par souci de simplification, seules les électrodes supérieures E2 sont représentées sur la figure 3.

**[0050]** Le dispositif 300 diffère du dispositif 100 principalement par le schéma d'interconnexion des électrodes inférieures E1 et supérieures E2 des transducteurs 101 du dispositif.

**[0051]** Dans le dispositif 300, dans chaque ligne  $L_i$  de transducteurs 101, deux transducteurs voisins  $101_{ij}$  et  $101_{ij+1}$  quelconques dans la ligne ( $101_{ij}$  et  $101_{ij+1}$  désignant ici respectivement le transducteur 101 de la ligne  $L_i$  et de la colonne  $C_j$  de la matrice, et le transducteur 101 de la ligne  $L_i$  et de la colonne  $C_{j+1}$  de la matrice), ont respectivement leur électrode inférieure E1 et leur électrode supérieure E2 connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure E2 et leur électrode inférieure E1 connectées l'une à l'autre. Les électrodes supérieures E2 des transducteurs  $101_{ij}$  et  $101_{ij+1}$  sont en revanche isolées électriquement l'une de l'autre. De même, les électrodes inférieures E1 des transducteurs  $101_{ij}$  et  $101_{ij+1}$  sont isolées électriquement l'une de l'autre.

**[0052]** De façon similaire, dans chaque colonne  $C_j$  de transducteurs 101, deux transducteurs voisins  $101_{ij}$  et  $101_{i+1j}$  quelconques dans la colonne ( $101_{i+1j}$  désignant ici le transducteur 101 de la ligne  $L_{i+1}$  et de la colonne  $C_j$ ), ont respectivement leur électrode inférieure E1 et leur électrode supérieure E2 connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure E2 et leur électrode inférieure E1 connectées l'une à l'autre. Les électrodes supérieures E2 des transducteurs  $101_{ij}$  et  $101_{i+1j}$  sont en revanche isolées électriquement l'une de l'autre. De même, les électrodes inférieures E1 des transducteurs  $101_{ij}$  et  $101_{i+1j}$  sont isolées électriquement l'une de l'autre.

**[0053]** Ainsi, dans chaque colonne  $C_j$  du dispositif 300, un conducteur de colonne 303 commun à tous les transducteurs 101 de la colonne serpente verticalement entre les transducteurs de la colonne, passant en alternance par les électrodes inférieures E1 et supérieures E2 des transducteurs de la colonne. De même, dans chaque ligne  $L_i$  du dispositif 300, un conducteur de ligne 305 commun à tous les transducteurs 101 de la ligne serpente verticalement entre les transducteurs de la ligne, passant en alternance par les électrodes inférieures E1 et supérieures E2 des transducteurs de la ligne.

**[0054]** Dans cet exemple, les connexions électriques entre les électrodes supérieures E2 et inférieures E1 de transducteurs voisins sont réalisées par des éléments de connexion 311, par exemple en métal, traversant verticalement les portions de la couche diélectrique 127 séparant latéralement les cavités 125 des transducteurs. Plus particulièrement, dans l'exemple des figures 4A et 4B, chaque élément de connexion 311 s'étend verticalement depuis la face inférieure de l'électrode supérieure E2 d'un transducteur 101 jusqu'à la face supérieure de

l'électrode inférieure E1 d'un transducteur 101 voisin.

**[0055]** Dans le dispositif 300, les régions diélectriques 121 forment, en vue de dessus, une grille continue entourant entièrement chaque électrode E1 et séparant latéralement chaque électrode E1 des électrodes E1 des transducteurs voisins. De façon similaire, en vue de dessus, chaque électrode E2 est entièrement entourée et séparée latéralement des électrodes E2 des transducteurs voisins par une région diélectrique (éventuellement de l'air ou du vide).

**[0056]** A titre d'exemple, en vue de dessus, chaque membrane flexible 123 est entièrement entourée et séparée latéralement des membranes 123 des transducteurs voisins par une région diélectrique. A titre de variante, les membranes flexibles 123 peuvent être en un matériau diélectrique, par exemple de l'oxyde de silicium. Dans ce cas, les membranes de transducteurs voisins peuvent former une couche continue.

**[0057]** Le fonctionnement du dispositif 300 est sensiblement identique à celui du dispositif 100 décrit précédemment, en remplaçant les conducteurs de colonne 103 et les conducteurs de ligne 105 du dispositif 100, disposés respectivement du côté de la face inférieure et du côté de la face supérieure des transducteurs 101, par respectivement les conducteurs de colonne 303 et les conducteurs de ligne 305, serpentant chacun entre les transducteurs de la ligne ou de la colonne correspondante, en passant en alternance par les électrodes inférieures E1 et supérieures E2 des transducteurs de la ligne ou de la colonne.

**[0058]** Ainsi, pour chaque ligne  $L_i$  de la matrice de transducteurs 101, le dispositif 300 peut comprendre un circuit d'émission, un circuit de réception, et un commutateur commandable pour, dans une première configuration, connecter le conducteur de ligne 305 de la ligne  $L_i$  à une borne de sortie du circuit d'émission de la ligne, et, dans une deuxième configuration, connecter le conducteur de ligne 305 de la ligne  $L_i$  à une borne d'entrée du circuit de réception de la ligne.

**[0059]** De plus, pour chaque colonne  $C_j$  de la matrice de transducteurs 101, le dispositif 300 peut comprendre un circuit d'émission, un circuit de réception, et un commutateur commandable pour, dans une première configuration, connecter le conducteur de colonne 303 de la colonne  $C_j$  à une borne de sortie du circuit d'émission de la colonne, et, dans une deuxième configuration, connecter le conducteur de colonne 303 de la colonne  $C_j$  à une borne d'entrée du circuit de réception de la colonne.

**[0060]** Un avantage du dispositif 300 est que le couplage capacitif des conducteurs de ligne 305 avec le substrat 110 et le couplage capacitif des conducteurs de colonne 303 avec le substrat 110 sont sensiblement identiques. Ceci permet de symétriser le comportement des lignes  $L_i$  et des colonnes  $C_j$  du dispositif. En particulier, la sensibilité en réception est sensiblement identique dans les lignes et dans les colonnes du dispositif, ce qui permet d'améliorer la qualité des images acquises. Cela permet en outre d'avoir sensiblement les mêmes pro-

priétés électriques, et notamment sensiblement la même impédance, sur les lignes et les colonnes.

**[0061]** Les figures 5A et 5B sont des vues en coupe respectivement selon les plans A-A et B-B de la figure 3, illustrant une variante de réalisation du dispositif 300.

**[0062]** La variante des figures 5A et 5B diffère de ce qui a été décrit précédemment en relation avec les figures 3, 4A et 4B principalement en ce que, dans cette variante, sous chaque électrode E1 du dispositif, s'étend une portion de couche métallique 501, par exemple en le même métal que les électrodes supérieures E2 du dispositif. La couche 501 est en contact, par sa face supérieure, avec la face inférieure des électrodes E1. A titre d'exemple, la couche 501 est en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure de la couche diélectrique 112. Dans cet exemple, chaque élément de connexion 311 s'étend verticalement depuis la face inférieure de l'électrode supérieure E2 d'un transducteur 101 jusqu'à la face supérieure de la portion de couche métallique 501 d'un transducteur 101 voisin.

**[0063]** Un avantage de cette variante de réalisation est qu'elle permet, dans le cas où les électrodes inférieures E1 des transducteurs sont en un matériau semiconducteur, d'augmenter la conductivité électrique des éléments conducteurs de ligne 305 et de colonne 303 au niveau des électrodes inférieures E1 des transducteurs.

**[0064]** Les figures 6A à 6K sont des vues en coupe illustrant des étapes d'un exemple d'un procédé de fabrication d'un dispositif du type illustré par les figures 4A et 4B.

**[0065]** La figure 6A illustre une étape d'oxydation d'une partie de l'épaisseur d'une couche semiconductrice d'une structure de type SOI (de l'anglais "Semiconductor On Insulator" - semiconducteur sur isolant).

**[0066]** La structure de départ comprend un substrat de support 10, par exemple en un matériau semiconducteur, par exemple en silicium, une couche diélectrique 12, par exemple en oxyde de silicium, revêtant la face supérieure du substrat 10, et une couche semiconductrice 14, par exemple une couche de silicium monocristallin, revêtant la face supérieure de la couche diélectrique 12. La couche diélectrique 12 et la couche semiconductrice supérieure 14 s'étendent par exemple chacune de façon continue et avec une épaisseur sensiblement constante, sur toute la surface supérieure du substrat 10. Dans cet exemple, la couche diélectrique 12 est en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure du substrat 10, et la couche semiconductrice 14 est en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure de la couche diélectrique 12.

**[0067]** La figure 6A illustre plus particulièrement une étape d'oxydation d'une partie supérieure de la couche semiconductrice 14. Lors de cette étape, la partie supérieure de la couche 14 est transformée en une couche 14a d'un matériau diélectrique, par exemple de l'oxyde de silicium (dans le cas où la couche 14 de départ est en silicium). La nature de la partie inférieure 14b de la couche 14 reste inchangée.

**[0068]** A titre d'exemple, l'oxydation de la partie supérieure de la couche 14 est réalisée par un procédé d'oxydation thermique sèche. L'épaisseur initiale de la couche semiconductrice 14 est par exemple comprise entre 50 nm et 3  $\mu\text{m}$ . L'épaisseur de la couche isolante 14a après oxydation est par exemple comprise entre 10 et 500 nm, par exemple de l'ordre de 50 nm.

**[0069]** La figure 6B illustre une étape de formation, dans la couche isolante 14a, de cavités localisées correspondant aux cavités 125 des transducteurs CMUT.

**[0070]** Les cavités 125 s'étendent verticalement depuis la face supérieure de la couche isolante 14a, en direction de la couche 14b. Dans l'exemple représenté, les cavités 125 sont traversantes, c'est-à-dire qu'elles débouchent sur la face supérieure de la couche semiconductrice 14b.

**[0071]** Les cavités 125 peuvent être formées par gravure, par exemple par gravure plasma. Un masque de gravure peut être utilisé pour définir la position des cavités 125.

**[0072]** La figure 6C illustre une étape d'oxydation de la face supérieure d'un deuxième substrat semiconducteur 20, par exemple en silicium. Lors de cette étape, une couche diélectrique 22, par exemple en oxyde de silicium, est formée du côté de la face supérieure du substrat 20. L'oxydation peut être réalisée par un procédé d'oxydation thermique sèche. L'épaisseur de la couche diélectrique 22 formée lors de cette étape est par exemple comprise entre 50 nm et 1  $\mu\text{m}$ , par exemple de l'ordre de 100 nm.

**[0073]** La figure 6D illustre une étape de report de l'ensemble comprenant le substrat 20 et la couche diélectrique 22 sur la face supérieure de la structure obtenue à l'issue des étapes des figures 6A et 6B. Plus particulièrement, dans l'exemple représenté, le substrat 20 est retourné par rapport à l'orientation de la figure 6C, et reporté sur la structure de la figure 6B, de façon que la face inférieure de la couche 22 vienne en contact avec la face supérieure de la couche 14a. Les deux structures sont fixées l'une à l'autre par collage direct ou collage moléculaire de la face inférieure de la couche 22 avec la face supérieure de la couche 14a. La couche diélectrique 22 vient ainsi fermer les cavités 125 par leur face supérieure.

**[0074]** La figure 6E illustre une étape d'amincissement du substrat 20 par sa face opposée à la couche diélectrique 22, c'est-à-dire par sa face supérieure dans l'orientation de la figure 6E. L'amincissement est par exemple réalisé par meulage. L'épaisseur initiale du substrat 20 avant amincissement est par exemple de l'ordre de 700  $\mu\text{m}$ . Après amincissement, l'épaisseur du substrat peut être comprise entre 300 nm et 100  $\mu\text{m}$ .

**[0075]** La figure 6F illustre une étape de formation de tranchées isolantes 121 remplies d'un matériau diélectrique, par exemple de l'oxyde de silicium, à partir de la face supérieure du substrat 20 aminci. Les tranchées 121 (en noir sur la figure 6F) correspondent aux régions diélectriques 121 des figures 4A et 4B. Les tranchées

121 traversent entièrement le substrat 20, sur toute son épaisseur, et débouchent sur la face supérieure de la couche isolante 22. Les tranchées 121 sont par exemple formées par gravure réactive ionique profonde du substrat 20, puis remplies d'un matériau diélectrique. Les portions de substrat 20 délimitées par les tranchées correspondent aux électrodes E1 des transducteurs.

**[0076]** La figure 6G illustre une étape d'oxydation de la face supérieure d'un troisième substrat semiconducteur 30, par exemple en silicium. Lors de cette étape, une couche diélectrique 32, par exemple en oxyde de silicium, est formée du côté de la face supérieure du substrat 30. L'oxydation peut être réalisée par un procédé d'oxydation thermique sèche. L'épaisseur de la couche diélectrique 32 formée lors de cette étape est par exemple comprise entre 100 nm et 10  $\mu\text{m}$ , par exemple de l'ordre de 2  $\mu\text{m}$ , par exemple comprise entre 2 et 10  $\mu\text{m}$ . A titre de variante, la couche 32 peut être formée par dépôt d'un matériau isolant, par exemple de l'oxyde de silicium, sur la face supérieure du substrat 30. Par ailleurs, à titre de variante, le substrat 30 peut être un substrat en un matériau diélectrique, par exemple du verre, ou un substrat semiconducteur à haute résistivité, par exemple un substrat en silicium non dopé ou faiblement dopé.

**[0077]** La figure 6H illustre une étape de report de la structure de la figure 6F sur la structure de la figure 6G. Dans l'exemple représenté, la structure de la figure 6F est retournée par rapport à l'orientation de la figure 6F, et reportée sur la structure de la figure 6G de façon que la face inférieure des électrodes E1 et la face inférieure des régions diélectriques 121 viennent en contact avec la face supérieure de la couche diélectrique 32. Les deux structures sont fixées l'une à l'autre par collage direct de la face inférieure des électrodes E1 et des régions diélectriques 121 sur la face supérieure de la couche diélectrique 32.

**[0078]** La figure 6I illustre une étape ultérieure de retrait du substrat 10 et de la couche diélectrique 12 de la structure de départ. Ainsi, seule la couche semiconductrice 14b est conservée au-dessus des cavités, pour former les membranes 123 des transducteurs.

**[0079]** La figure 6J illustre la structure obtenue à l'issue d'une ou plusieurs étapes ultérieures de structuration de la couche semiconductrice 14b et des couches diélectriques 14a et 22, pour d'une part délimiter les membranes flexibles 123 des transducteurs dans la couche semiconductrice 14b, et d'autre part former, dans les couches diélectriques 14a et 22, des ouvertures 41 d'accès à la face supérieure des électrodes E1 des transducteurs.

**[0080]** La figure 6K illustre une étape ultérieure de dépôt d'une couche métallique 43 sur toute la face supérieure de la structure de la figure 6I, puis de structuration de la couche métallique 43, par exemple par photolithographie et gravure, pour délimiter les électrodes supérieures E2 des transducteurs.

**[0081]** Dans cet exemple, les éléments de connexion 311 de la structure des figures 4A et 4B correspondent

à des portions de la couche 43 revêtant les flancs des ouvertures 41 et venant en contact avec la face supérieure des électrodes E1 au fond des ouvertures 41. Le substrat 110 et la couche diélectrique 112 de la structure des figures 4A et 4B correspondent respectivement au substrat 30 et à la couche diélectrique 32. Les régions diélectriques 127 et 129 de la structure des figures 4A et 4B, formant les parois latérales et le fond des cavités 125, correspondent quant à elles aux couches 14a et 22.

**[0082]** Les figures 7A à 7C sont des vues en coupe illustrant des étapes d'un exemple d'un procédé de fabrication d'un dispositif du type illustré par les figures 5A et 5B.

**[0083]** Les étapes initiales du procédé sont identiques à ce qui a été décrit précédemment en relation avec les figures 6A à 6G.

**[0084]** La figure 7A illustre la structure obtenue à l'issue des étapes supplémentaires successives suivantes, en partant de la structure de la figure 6F :

- formation de vias conducteurs 51 isolés latéralement, traversant verticalement la couche semiconductrice 20 sur toute son épaisseur et débouchant sur la face supérieure de la couche diélectrique 22 ;
- dépôt d'une couche métallique 53 sur la face supérieure de la structure, la couche métallique 53 étant en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure des électrodes E1 et avec la face supérieure des vias conducteurs 51 ; et
- retrait localisé de la couche métallique 53, par exemple en vis-à-vis des régions diélectriques 121, de façon à isoler électriquement les électrodes E1 les unes des autres.

**[0085]** La figure 7B illustre la structure obtenue à l'issue des étapes supplémentaires successives suivantes, en partant de la structure de la figure 6G :

- dépôt d'une couche métallique 61 sur la face supérieure de la structure, la couche métallique 61 étant en contact, par sa face inférieure, avec la face supérieure de la couche diélectrique 32 ; et
- retrait localisé de la couche métallique 61 de façon à définir une pluralité de portions métalliques isolées les unes des autres, disposées selon un agencement identique ou similaire à celui des portions métalliques définies dans la couche métallique 53 dans la structure de la figure 7A.

**[0086]** La suite du procédé est similaire à ce qui a été décrit précédemment en relation avec les figures 6H à 6K.

**[0087]** La figure 7C illustre la structure obtenue à la fin du procédé. On notera que, dans cette variante, le collage de la structure de la figure 7A sur la structure de la figure 7B est un collage direct métal-métal entre la face de la couche métallique 53 opposée à la couche semiconductrice 20 (à savoir sa face inférieure dans l'orien-

tation de la figure 7C) et la face de la couche métallique 61 opposée au substrat 30 (à savoir sa face supérieure dans l'orientation de la figure 7C).

**[0088]** L'empilement des portions des couches métalliques 61 et 53 en vis-à-vis des électrodes inférieures E1 correspond aux portions de couches métalliques 501 de la structure des figures 5A et 5B. Les vias conducteurs isolés 51 correspondent quant à eux aux éléments de connexion 311 de la structure des figures 5A et 5B.

**[0089]** Divers modes de réalisation et variantes ont été décrits. La personne du métier comprendra que certaines caractéristiques de ces divers modes de réalisation et variantes pourraient être combinées, et d'autres variantes apparaîtront à la personne du métier. En particulier, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas aux exemples particuliers de matériaux et de dimensions mentionnés dans la présente description.

**[0090]** En outre, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas aux exemples particuliers de structures de transducteurs CMUT décrits ci-dessus, ni aux exemples particuliers de procédé de fabrication de transducteurs CMUT décrits ci-dessus. On notera en particulier que la solution proposée peut être appliquée à des transducteurs CMUT réalisés par micro-usinage de surface.

**[0091]** On notera de plus que les modes de réalisation décrits ne se limitent pas aux exemples représentés sur les figures dans lesquels les lignes et les colonnes de transducteurs du dispositif sont rectilignes, et dans lesquels les lignes sont orthogonales aux colonnes. A titre de variante, les lignes et/ou les colonnes de transducteurs du dispositif sont non rectilignes. De plus, les lignes, respectivement les colonnes de transducteurs, peuvent ne pas être parallèles entre elles. En outre, les lignes de transducteurs peuvent ne pas être orthogonales aux colonnes.

**[0092]** Plus généralement, les modes de réalisation décrits peuvent être adaptés à tout type de transducteur ultrasonore ayant une électrode inférieure et une électrode supérieure, et adapté à être commandé selon un adressage ligne-colonne, par exemple des transducteurs piézoélectriques, par exemple des transducteurs de type PMUT (de l'anglais "Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers" - transducteur ultrasonore piézoélectrique micro-usiné).

## Revendications

1. Dispositif d'imagerie ultrasonore (300) comportant une pluralité de transducteurs ultrasonores (101) agencés selon des lignes ( $L_i$ ) et des colonnes ( $C_j$ ), chaque transducteur (101) comportant une électrode inférieure (E1) et une électrode supérieure (E2), dans lequel :

- dans chaque ligne ( $L_i$ ), deux transducteurs (101) voisins quelconques de la ligne ont respectivement leur électrode inférieure (E1) et leur

électrode supérieure (E2) connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure (E2) et leur électrode inférieure (E1) connectées l'une à l'autre ; et

- dans chaque colonne ( $C_j$ ), deux transducteurs (101) voisins quelconques de la colonne ont respectivement leur électrode inférieure (E1) et leur électrode supérieure (E2) connectées l'une à l'autre, ou leur électrode supérieure (E2) et leur électrode inférieure (E1) connectées l'une à l'autre.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel :

- dans chaque ligne ( $L_i$ ), deux transducteurs (101) voisins quelconques de la ligne ont leurs électrodes inférieures (E1) respectives isolées électriquement l'une de l'autre et leurs électrodes supérieures (E2) respectives isolées électriquement l'une de l'autre ; et

- dans chaque colonne ( $C_j$ ), deux transducteurs (101) voisins quelconques de la colonne ont leurs électrodes inférieures (E1) respectives isolées électriquement l'une de l'autre et leurs électrodes supérieures (E2) respectives isolées électriquement l'une de l'autre.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque transducteur ultrasonore (101) est un transducteur CMUT comportant une membrane flexible (123) suspendue au-dessus d'une cavité (125), l'électrode inférieure (E1) du transducteur étant disposée du côté de la cavité (125) opposé à la membrane flexible (123), et l'électrode supérieure (E2) du transducteur étant disposée du côté de la membrane flexible (123) opposé à la cavité (125).

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les cavités (125) des transducteurs (101) sont formées dans une couche support rigide (127), et dans lequel chaque transducteur (101) a son électrode supérieure (E2) connectée électriquement à une électrode inférieure (E1) d'un transducteur (101) voisin par l'intermédiaire d'un élément conducteur (311) traversant la couche support rigide (127).

5. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, dans lequel l'électrode inférieure (E1) de chaque transducteur (101) est en un matériau semiconducteur dopé.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel une portion de couche métallique (501) s'étend sous l'électrode inférieure (E1) de chaque transducteur (101), en contact avec la face inférieure de l'électrode inférieure (E1) du transducteur.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel, dans chaque transducteur (101),

la membrane flexible (123) est en un matériau semi-conducteur.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, dans lequel, dans chaque transducteur (101), une couche diélectrique (129) revêt la face supérieure de l'électrode inférieure (E1) du transducteur, au fond de la cavité (125).
9. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque transducteur (101) est un transducteur PMUT.

#### Patentansprüche

1. Ultraschallbildgebungsvorrichtung (300), die eine Vielzahl von Ultraschallwandlern (101) aufweist, die in Reihen ( $L_i$ ) und Spalten ( $C_j$ ) angeordnet sind, wobei jeder Wandler (101) eine untere Elektrode (E1) und eine obere Elektrode (E2) aufweist, wobei:

- und zwar in jeder Reihe ( $L_i$ ), zwei beliebige benachbarte Wandler (101) in der Reihe jeweils ihre untere Elektrode (E1) und ihre obere Elektrode (E2) miteinander verbunden haben, oder ihre obere Elektrode (E2) und ihre untere Elektrode (E1) miteinander verbunden haben; und  
- und zwar in jeder Spalte ( $C_j$ ), zwei beliebige benachbarte Wandler (101) in der Spalte jeweils ihre untere Elektrode (E1) und ihre obere Elektrode (E2) miteinander verbunden haben, oder ihre obere Elektrode (E2) und ihre untere Elektrode (E1) miteinander verbunden haben.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:

- und zwar in jeder Reihe ( $L_i$ ), zwei beliebige benachbarte Wandler (101) in der Reihe ihre jeweiligen unteren Elektroden (E1) elektrisch voneinander isoliert haben und ihre jeweiligen oberen Elektroden (E2) elektrisch voneinander isoliert haben; und  
- und zwar in jeder Spalte ( $C_j$ ), zwei beliebige benachbarte Wandler (101) in der Spalte ihre jeweiligen unteren Elektroden (E1) elektrisch voneinander isoliert haben und ihre jeweiligen oberen Elektroden (E2) elektrisch voneinander isoliert haben.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei jeder Ultraschallwandler (101) ein CMUT-Wandler ist, der eine flexible Membran (123) aufweist, die über einem Hohlraum (125) aufgehängt ist, wobei die untere Elektrode (E1) des Wandlers auf der Seite des Hohlraums (125) angeordnet ist, die der flexiblen Membran (123) gegenüberliegt, und wobei die obere Elektrode (E2) des Wandlers auf der Seite der fle-

xiblen Membran (123) angeordnet ist, die dem Hohlraum (125) gegenüberliegt.

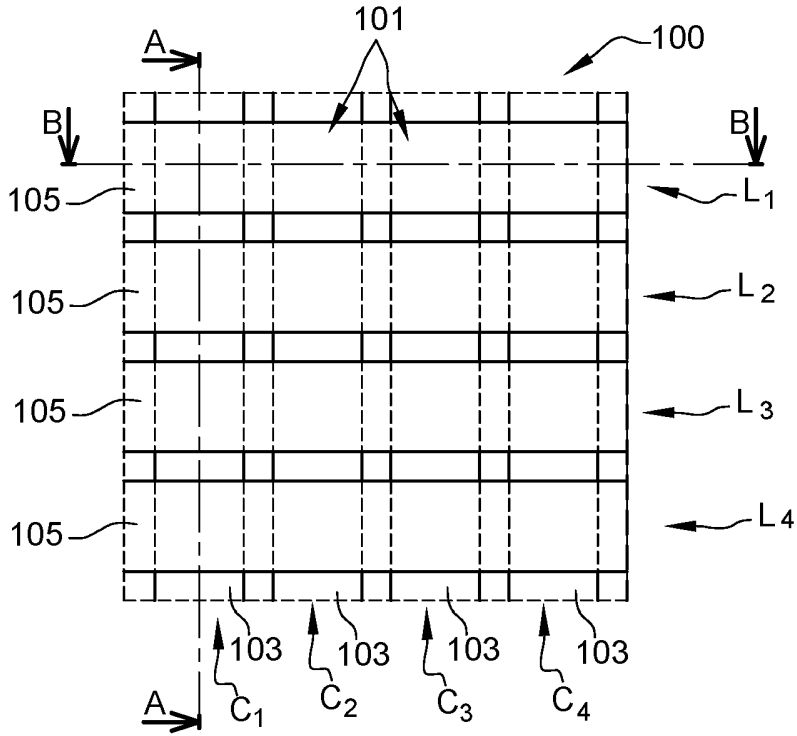
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Hohlräume (125) der Wandler (101) in einer starren Trägerschicht (127) ausgebildet sind und wobei jeder Wandler (101) mit seiner oberen Elektrode (E2) über ein leitendes Element (311), das die starre Trägerschicht (127) überquert, mit einer unteren Elektrode (E1) eines benachbarten Wandlers (101) elektrisch verbunden ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei die untere Elektrode (E1) eines jeden Wandlers (101) aus einem dotierten Halbleitermaterial gefertigt ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei sich ein Metallschichtteil (501) unter der unteren Elektrode (E1) eines jeden Wandlers (101) erstreckt, und zwar in Kontakt mit der unteren Oberfläche der unteren Elektrode (E1) des Wandlers.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei, in jedem Wandler (101), die flexible Membran (123) aus einem Halbleitermaterial gefertigt ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei, in jedem Wandler (101), eine dielektrische Schicht (129) die obere Oberfläche der unteren Elektrode (E1) des Wandlers bedeckt, und zwar am Boden des Hohlraums (125).
9. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei jeder Wandler (101) ein PMUT-Wandler ist.

#### Claims

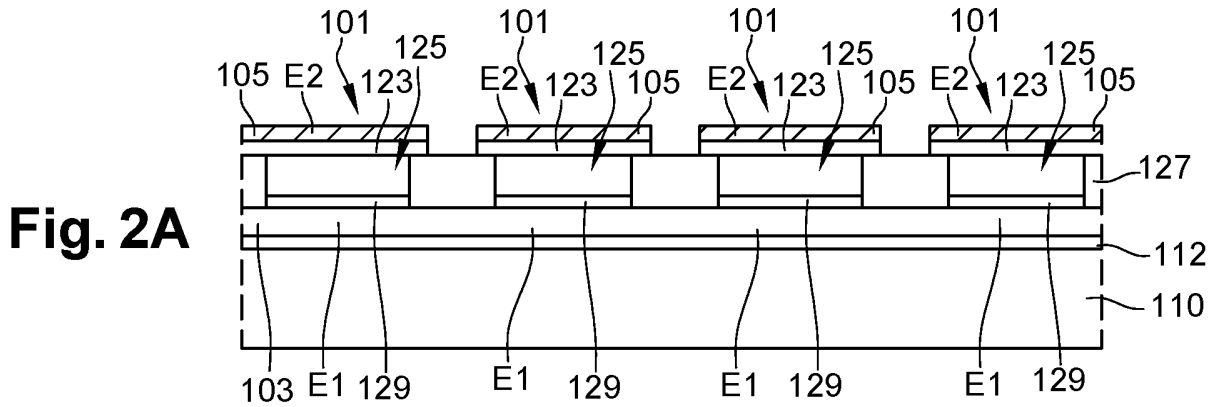
1. Ultrasonic imaging device (300) comprising a plurality of ultrasonic transducers (101) arranged in rows ( $L_i$ ) and columns ( $C_j$ ), each transducer (101) comprising a lower electrode (E1) and an upper electrode (E2), wherein:
- in each row ( $L_i$ ), any two neighboring transducers (101) in the row respectively have their lower electrode (E1) and their upper electrode (E2) connected to each other, or their upper electrode (E2) and their lower electrode (E1) connected to each other; and  
- in each column ( $C_j$ ), any two neighboring transducers (101) in the column respectively have their lower electrode (E1) and their upper electrode (E2) connected to each other, or their upper electrode (E2) and their lower electrode (E1) connected to each other.
2. Device according to claim 1, wherein:

- in each row ( $L_i$ ), any two neighboring transducers (101) in the row have their respective lower electrodes (E1) electrically insulated from each other and their respective upper electrodes (E2) electrically insulated from each other; and 5
- in each column ( $C_j$ ), any two neighboring transducers (101) in the column have their respective lower electrodes (E1) electrically insulated from each other and their respective upper electrodes (E2) electrically insulated from each other. 10
3. Device according to claim 1 or 2, wherein each ultrasonic transducer (101) is a CMUT transducer comprising a flexible membrane (123) suspended above a cavity (125), the lower electrode (E1) of the transducer being arranged on the side of the cavity (125) opposite to the flexible membrane (123), and the upper electrode (E2) of the transducer being arranged on the side of the flexible membrane (123) opposite to the cavity (125). 15 20
4. Device according to claim 3, wherein the cavities (125) of the transducers (101) are formed in a rigid support layer (127), and wherein each transducer (101) has its upper electrode (E2) electrically connected to a lower electrode (E1) of a neighboring transducer (101) via a conductive element (311) crossing the rigid support layer (127) . 25
5. Device according to claim 3 or 4, wherein the lower electrode (E1) of each transducer (101) is made of a doped semiconductor material. 30
6. Device according to claim 5, wherein a metal layer portion (501) extends under the lower electrode (E1) of each transducer (101), in contact with the lower surface of the lower electrode (E1) of the transducer. 35
7. Device according to any of claims 3 to 6, wherein, in each transducer (101), the flexible membrane (123) is made of a semiconductor material. 40
8. Device according to any of claims 3 to 7, wherein, in each transducer (101), a dielectric layer (129) coats the upper surface of the lower electrode (E1) of the transducer, at the bottom of the cavity (125). 45
9. Device according to claim 1 or 2, wherein each transducer (101) is a PMUT transducer. 50

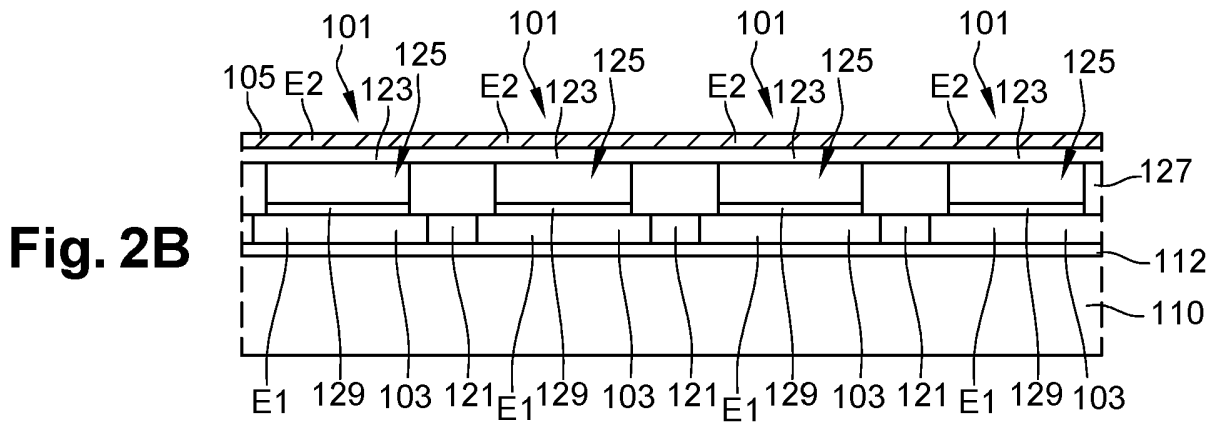
55



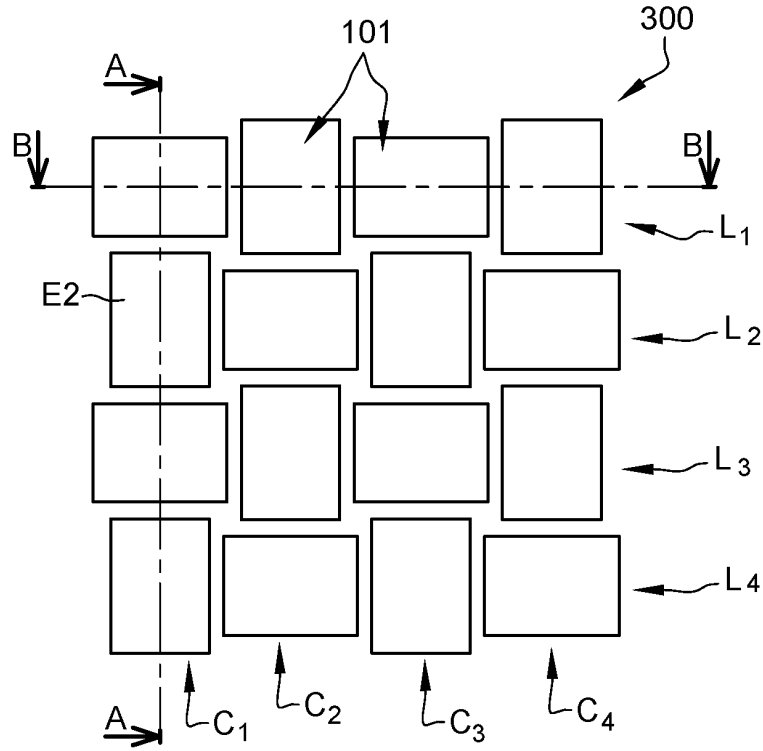
**Fig. 1**



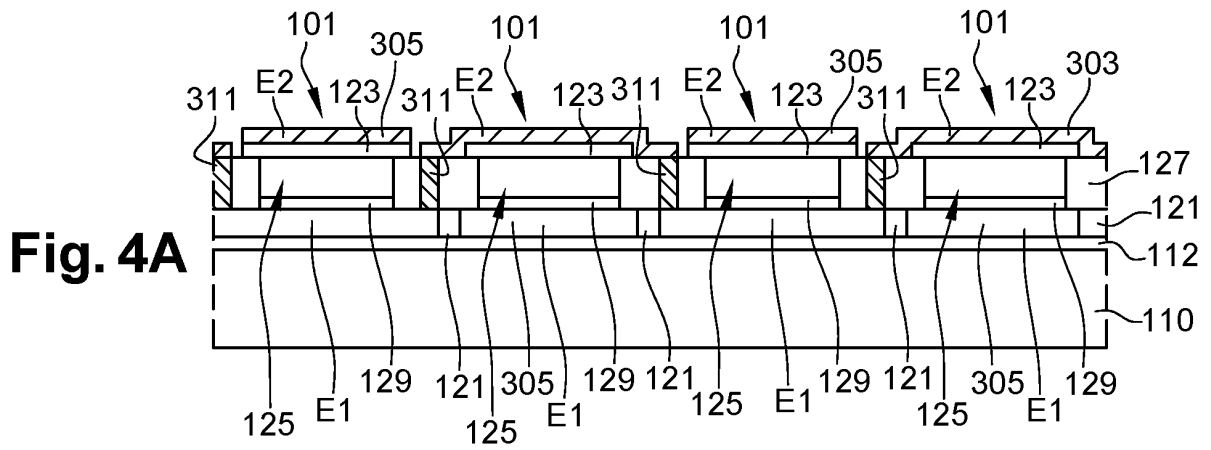
**Fig. 2A**



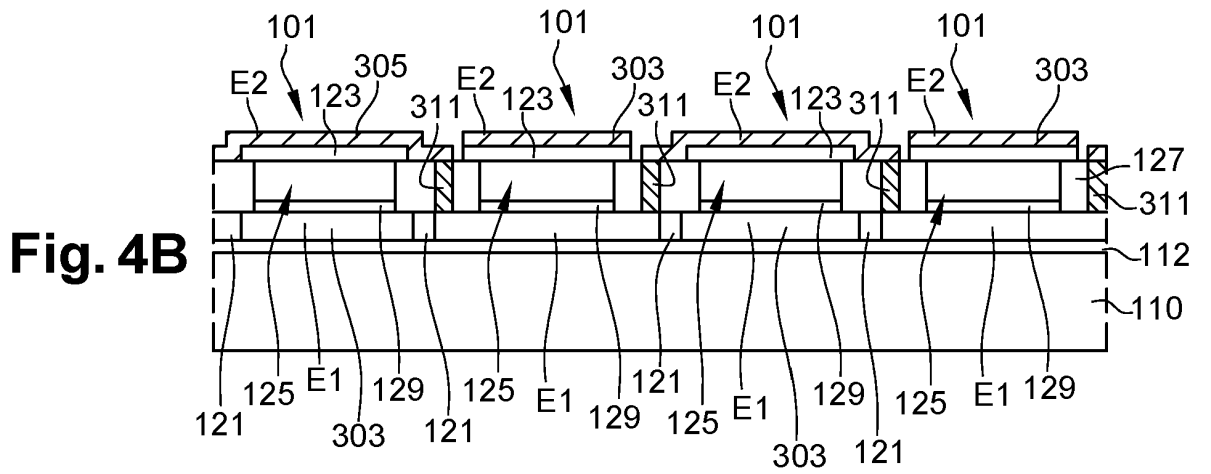
**Fig. 2B**



**Fig. 3**

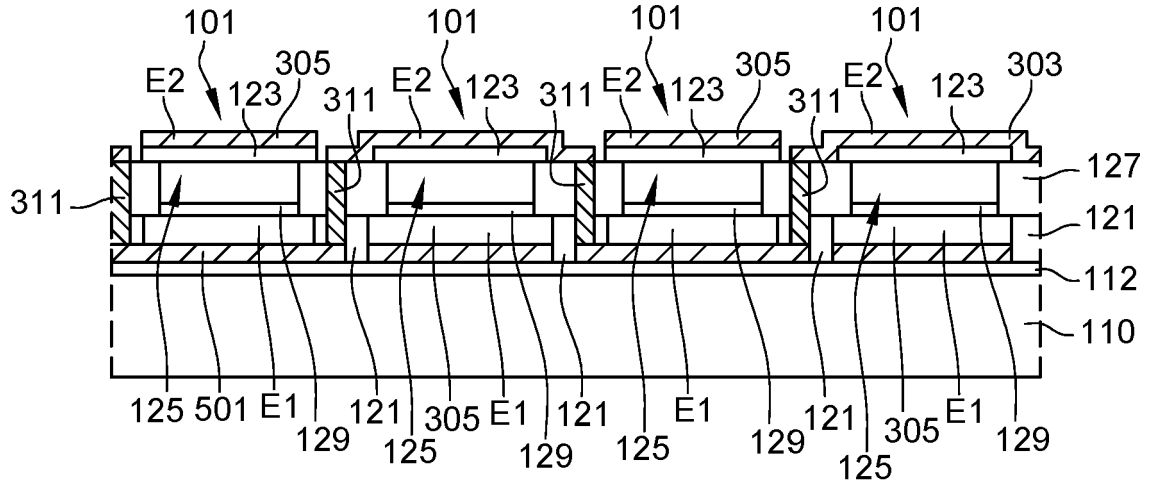


**Fig. 4A**

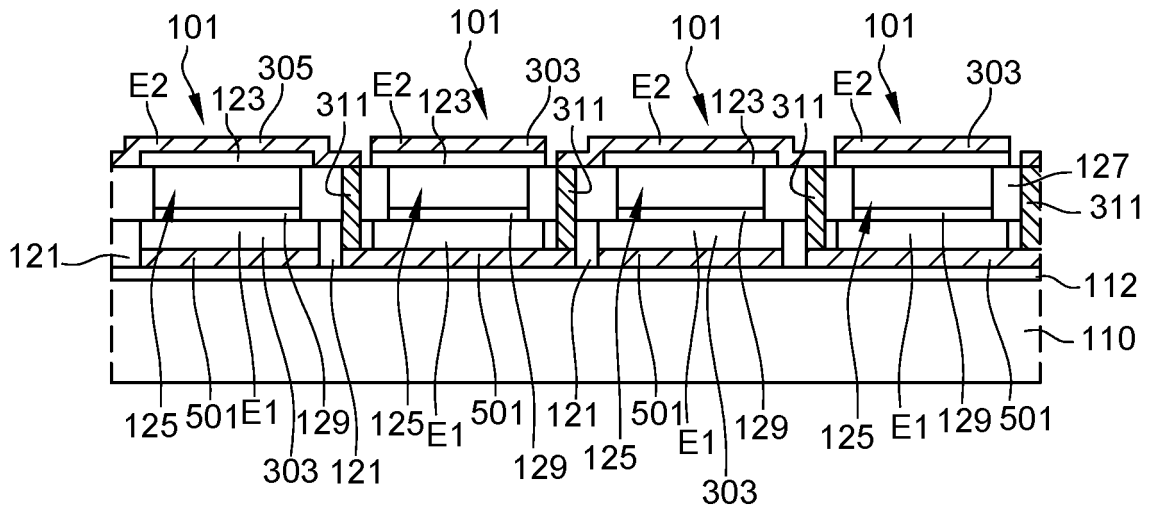


**Fig. 4B**

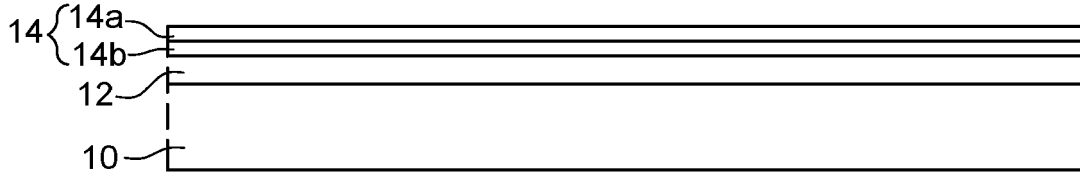
**Fig. 5A**



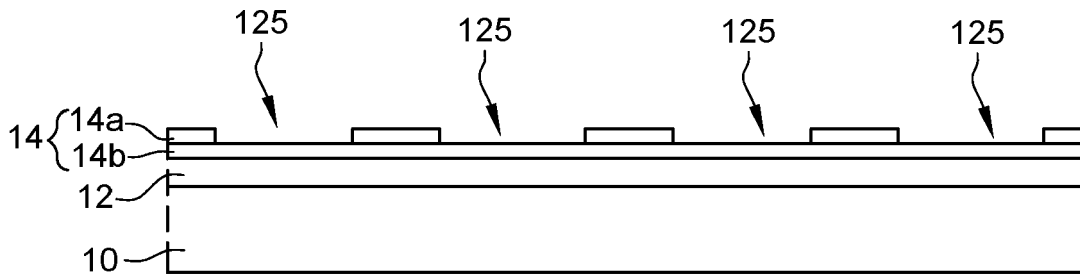
**Fig. 5B**



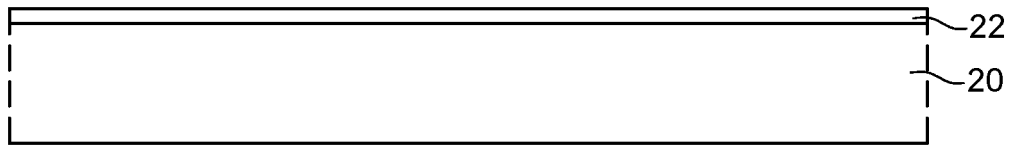
**Fig. 6A**



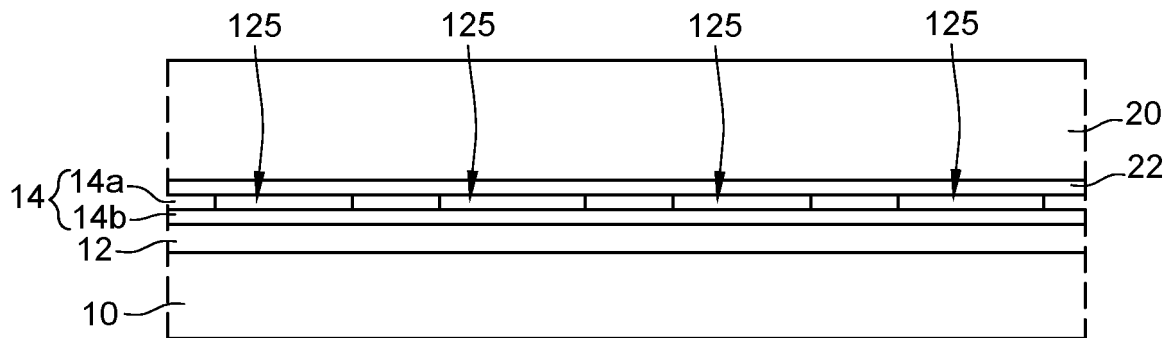
**Fig. 6B**



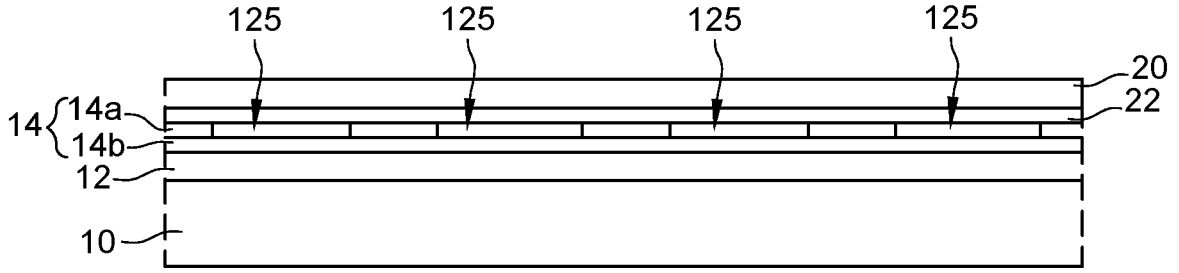
**Fig. 6C**



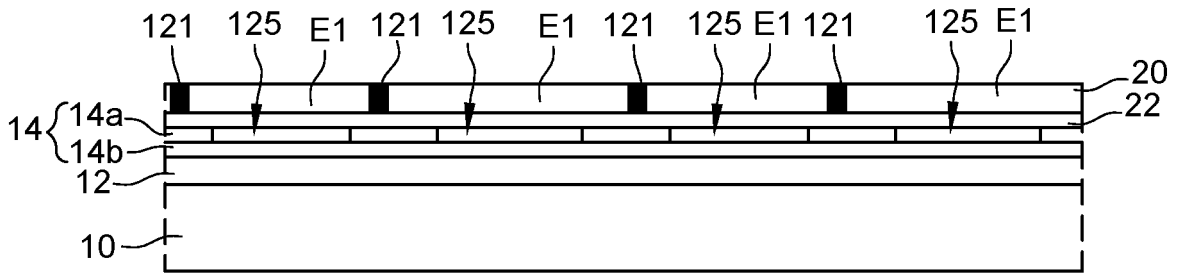
**Fig. 6D**



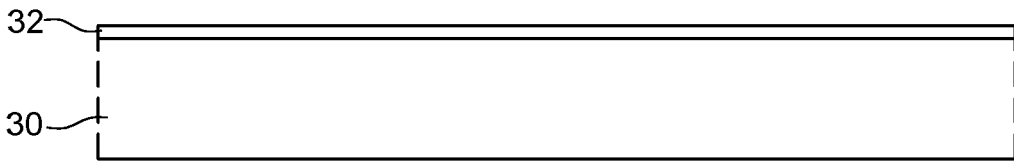
**Fig. 6E**



**Fig. 6F**



**Fig. 6G**



**Fig. 6H**

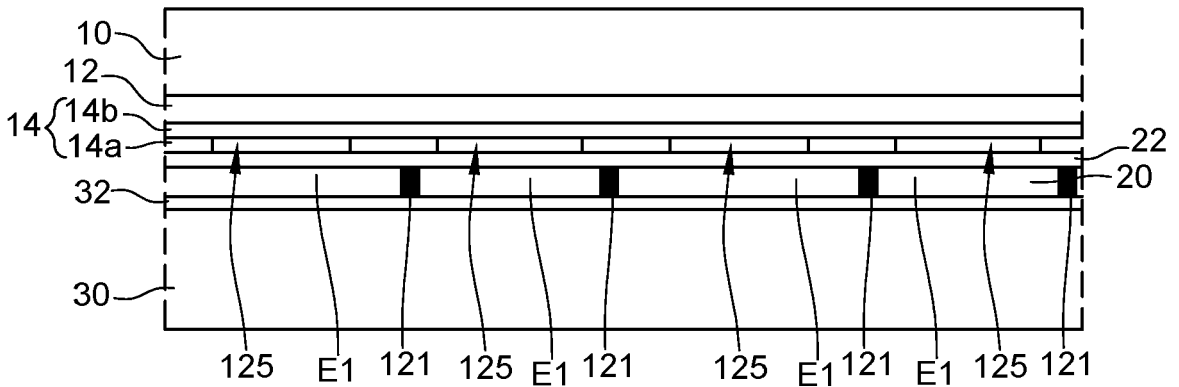


Fig. 6I

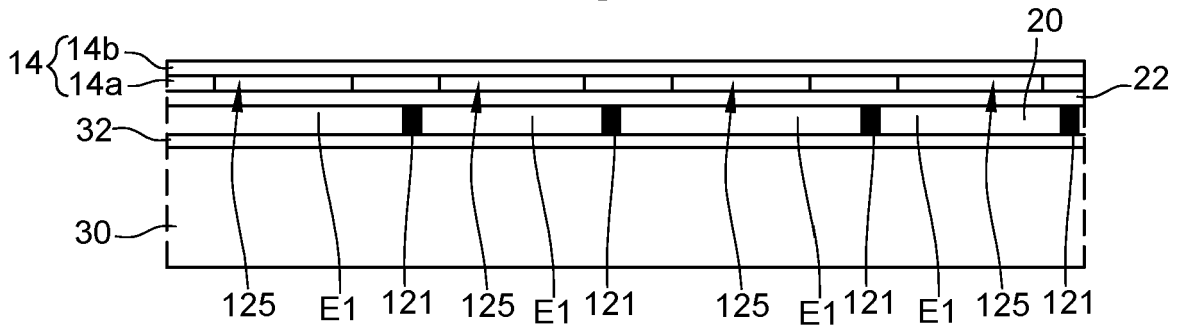


Fig. 6J

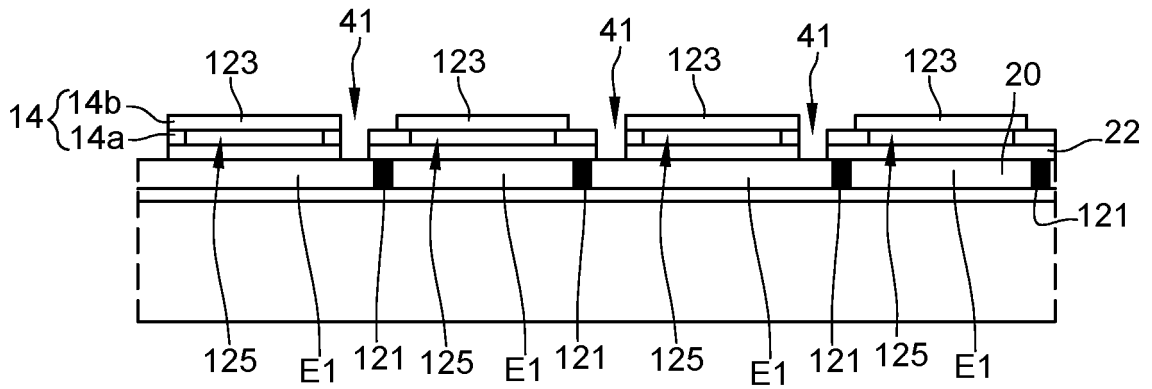
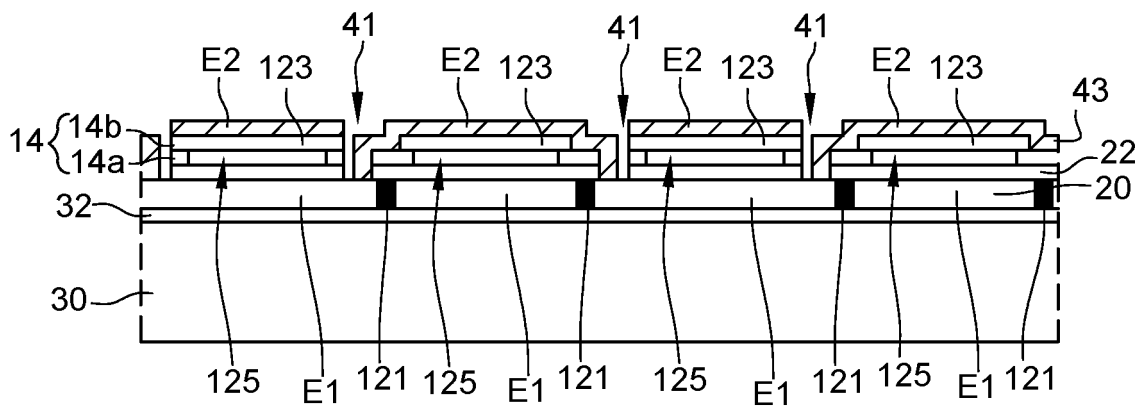
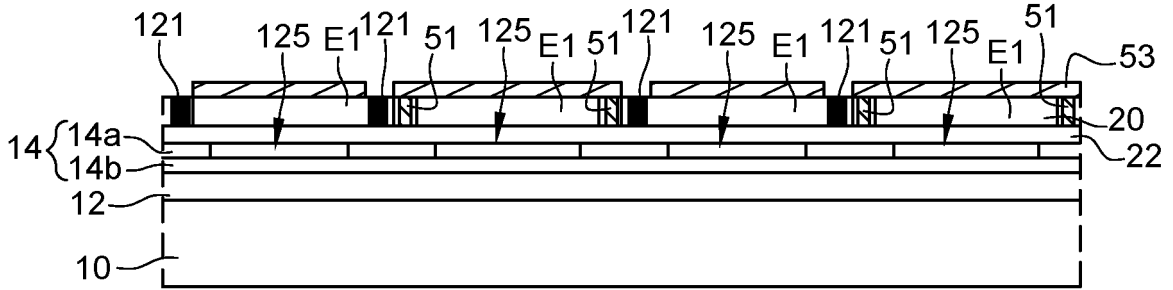


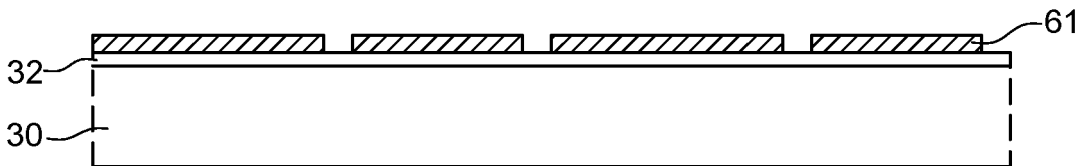
Fig. 6K



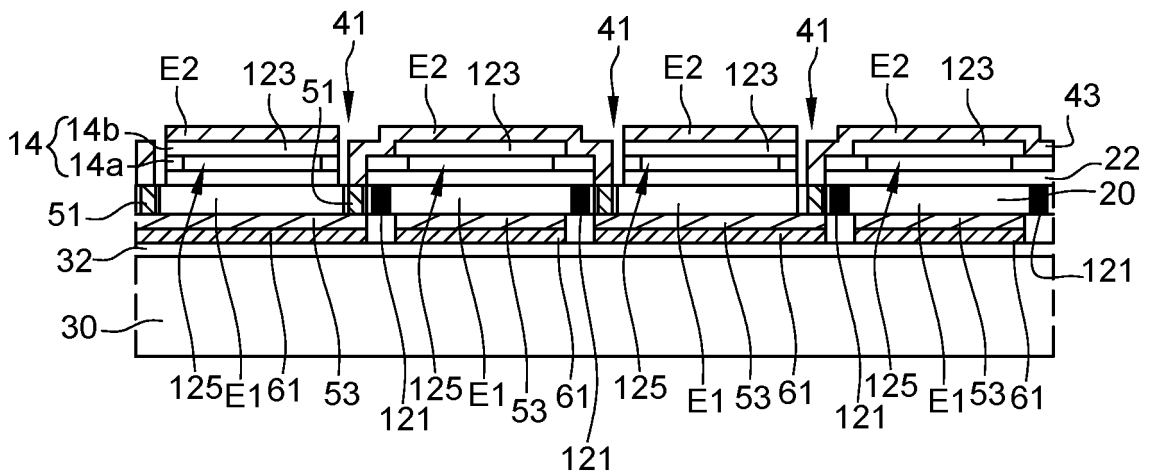
**Fig. 7A**



**Fig. 7B**



**Fig. 7C**



**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- WO 2017076843 A1 [0006]
- FR 1906515 [0043]