

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 149 385

21 N° d'enregistrement national : 23 05309

51 Int Cl⁸ : G 01 N 29/26 (2023.01), G 01 N 29/04, 29/06

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.12.24 Bulletin 24/49.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : MODULEUS société par actions sim-
plifiée — FR.

72 Inventeur(s) : CHATAIN Pascal et BOULME Audren.

73 Titulaire(s) : MODULEUS société par actions simpli-
fiée.

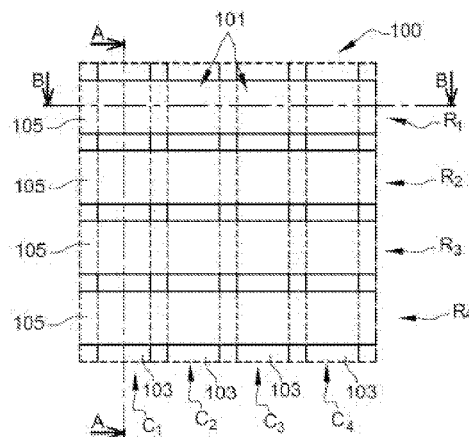
74 Mandataire(s) : CABINET BEAUMONT.

54 Procédé et dispositif d'imagerie ultrasonore à adressage ligne-colonne.

57 Procédé et dispositif d'imagerie ultrasonore à adres-
sage ligne-colonne

La présente description concerne un procédé d'acqui-
sition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'ima-
gerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne (100),
le dispositif (100) comprenant une matrice de M lignes (Ri)
par N colonnes (Cj) de transducteurs ultrasonores élémen-
taires (101), chaque ligne (Ri) étant divisée en n portions de
lignes, chaque portion de ligne comportant plusieurs trans-
ducteurs.

Figure pour l'abrégé: Fig. 1



FR 3 149 385 - A1



Description

Titre de l'invention : *Procédé et dispositif d'imagerie ultrasonore à adressage ligne-colonne*

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, et un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un tel dispositif.

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 d'un dispositif d'acquisition d'images bidimensionnelles, ou en matrice dans le cas d'un dispositif 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.
- [0007] On s'intéresse ici plus particulièrement aux dispositifs et procédés d'acquisition d'images tridimensionnelles à adressage ligne-colonne (RCA).
- [0008] La demande de brevet internationale WO2022/268512, précédemment déposée par la demanderesse, décrit un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, ce procédé permettant de remonter aux contributions individuelles des transducteurs élémentaires de la matrice, de façon à bénéficier à la fois des avantages des dispositifs entièrement peuplés en termes de résolution d'imagerie, et des dispositifs à adressage ligne-colonne en termes de complexité électronique.
- [0009] Il serait souhaitable d'améliorer au moins en partie certains aspects des dispositifs et procédés d'acquisition d'images ultrasonores tridimensionnelles à adressage ligne-colonne décrits dans la demande de brevet internationale WO2022/268512, et, plus généralement, des dispositifs et procédés d'acquisition d'images ultrasonores tridimensionnelles à adressage ligne-colonne connus.

Résumé de l'invention

- [0010] Pour cela, un mode de réalisation prévoit un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, le dispositif comprenant une matrice de M lignes par N colonnes de transducteurs ultrasonores élémentaires, chaque ligne étant divisée en n portions de lignes, chaque portion de ligne comportant plusieurs transducteurs ultrasonores élémentaires, avec n entier supérieur ou égal à deux, dans lequel :
- les transducteur élémentaires d'une même portion de ligne sont connectés à une

même électrode de portion de ligne ;

- les transducteur élémentaires de portions de ligne distinctes sont connectés à des électrodes de portion de ligne distinctes ; et

- les transducteurs élémentaires d'une même colonne sont connectés à une même électrode de colonne,

le procédé comprenant :

- réaliser p tirs successifs d'une même onde ultrasonore en direction du corps, ou p est un entier désignant le nombre de transducteurs ultrasonores élémentaires de la plus grande portion de lignes ;

- après chaque tir, mettre en oeuvre une phase de réception, au moyen du dispositif, d'une onde ultrasonore retour, réfléchie par le corps,

dans lequel, lors de chacune des phase de réception, une grandeur électrique variable représentative de l'onde reçue est lue sur chaque électrode de portion de ligne du dispositif,

et dans lequel, entre deux phases de réception quelconques parmi les p phases de réception, on modifie le signe de la contribution individuelle d'au moins un transducteur ultrasonore élémentaire de la matrice,

le procédé comprenant en outre une étape de calcul, au moyen d'un dispositif électronique de traitement, par des combinaisons linéaires des grandeurs électriques variables lues sur les électrodes de portions de ligne du dispositif lors des p phases de réception, d'une contribution individuelle de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice.

[0011] Selon un mode de réalisation, les portions de ligne comprennent toutes le même nombre entier N/n de transducteurs ultrasonores élémentaires.

[0012] Selon un mode de réalisation, le nombre M de lignes de la matrice est égal au nombre N de colonnes de la matrice.

[0013] Selon un mode de réalisation, le calcul des contributions individuelles des transducteurs élémentaires de la matrice comprend une multiplication des grandeurs électriques variables lues sur les électrodes de portion de ligne du dispositif lors des p phases de réception par des coefficients d'une matrice, déterminés au préalable lors d'une phase de caractérisation ou de simulation et stockés dans une mémoire du dispositif électronique de traitement.

[0014] Selon un mode de réalisation, lors de chacune des p phases de réception, chaque électrode de colonne de la matrice est maintenue à une tension de polarisation continue, et dans lequel, entre deux phases de réception quelconques parmi les p phases de réception, on modifie le signe de la tension de polarisation continue appliquée sur au moins l'une des électrodes de colonne du dispositif.

[0015] Selon un mode de réalisation, les signes des tensions de polarisation appliquées res-

pectivement sur les électrodes de colonne du dispositif lors des p phases de réception sont codés par des vecteurs d'une matrice orthogonale, par exemple une matrice de Hadamard.

- [0016] Selon un mode de réalisation, les p tirs successifs sont réalisés au moyen du dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, et dans lequel, lors de chacun des p tirs, chaque électrode de colonne de la matrice est maintenue à une tension de polarisation continue, et une tension d'excitation alternative superposée à la tension de polarisation continue est appliquée sur ladite électrode de colonne, et dans lequel, lors de chaque tir, les signes des tensions de polarisation continues appliquées respectivement sur les électrodes de colonne de la matrice sont les mêmes que les signes des tensions de polarisation continues appliquées respectivement sur les électrodes de colonne lors de la phase de réception subséquente.
- [0017] Selon un mode de réalisation, à chaque tir, un même circuit d'émission applique simultanément une même tension de polarisation continue, et une même tension d'excitation alternative sur les électrodes de colonne de n colonnes de la matrice.
- [0018] Selon un mode de réalisation, les transducteurs ultrasonores sont des transducteurs CMUT ou PMUT.
- [0019] Selon un mode de réalisation, n est égal à deux.
- [0020] Selon un mode de réalisation, la grandeur électrique variable lue sur chaque électrode de portion de ligne du dispositif est une tension.
- [0021] Un autre mode de réalisation prévoit un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, le dispositif comprenant une matrice de M lignes par N colonnes de transducteurs ultrasonores élémentaires, chaque ligne étant divisée en n portions de lignes, chaque portion de ligne comportant plusieurs transducteurs ultrasonores élémentaires, avec n entier supérieur ou égal à deux, dans lequel :
 - les transducteur élémentaires d'une même portion de ligne sont connectés à une même électrode de portion de ligne ;
 - les transducteur élémentaires de portions de ligne distinctes sont connectés à des électrodes de portion de ligne distinctes ; et
 - les transducteurs élémentaires d'une même colonne sont connectés à une même électrode de colonne,
 le dispositif comportant en outre un circuit de commande configuré pour mettre en oeuvre un procédé tel que défini ci-dessus.
- [0022] Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte $M*n$ circuits de réception connectés respectivement aux $M*n$ électrodes de portion de ligne de la matrice de transducteurs ultrasonores élémentaires.
- [0023] Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte un nombre entier s strictement inférieur à N de circuits d'émission, un même circuit d'émission pouvant être connecté

simultanément à des électrodes de colonne de transducteurs élémentaires appartenant à des portions de ligne distinctes d'une même ligne de la matrice.

- [0024] Selon un mode de réalisation, les portions de ligne comprennent toutes le même nombre entier N/n de transducteurs ultrasonores élémentaires, et dans lequel le nombre de circuit d'émission est égal à N/n .

Brève description des dessins

- [0025] 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 :
- [0026] la [Fig.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 ;
- [0027] la [Fig.2] comprend une vue en coupe selon un plan A-A de la [Fig.1], et une vue en coupe selon un plan B-B de la [Fig.1], illustrant plus en détail un exemple de réalisation du dispositif de la [Fig.1] ;
- [0028] la [Fig.3] est un schéma électrique équivalent d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions 2×2 fonctionnant en réception ;
- [0029] la [Fig.4] est un schéma électrique équivalent d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions $N \times N$ fonctionnant en réception ;
- [0030] la [Fig.5] illustre schématiquement une étape d'émission TX et une étape de réception RX d'un mode de mise en oeuvre d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions $N \times N$ selon un mode de réalisation ;
- [0031] la [Fig.6] illustre schématiquement des étapes d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions 2×2 selon un mode de réalisation ;
- [0032] la [Fig.7] illustre schématiquement des étapes d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions 4×4 selon un mode de réalisation ; et
- [0033] la [Fig.8] est une vue en coupe d'un exemple d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne selon un mode de réalisation.

Description des modes de réalisation

- [0034] 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.
- [0035] 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 et procédés d'imagerie décrits n'ont pas été détaillées, les modes de réalisation décrits étant compatibles avec les applications usuelles des solutions 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, ou la réalisation de ces circuits étant à la portée de la personne du métier à la lecture de la présente description. 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.

- [0036] 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.
- [0037] 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.
- [0038] Sauf précision contraire, les expressions "environ", "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.
- [0039] La [Fig.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.
- [0040] La [Fig.2] comprend deux vues en coupe (A) et (B) du dispositif 100 de la [Fig.1] selon respectivement les plans A-A et B-B de la [Fig.1].
- [0041] Le dispositif 100 comprend une pluralité de transducteurs ultrasonores 101 agencés

en matrice selon M lignes R_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.

[0042] Sur la [Fig.1], quatre lignes R_1, R_2, R_3, R_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 être différents de 4.

[0043] 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.

[0044] Dans cet exemple, les transducteurs 101 sont des transducteurs capacitifs à membrane, aussi appelés transducteurs CMUT (de l'anglais "Capacitive Micro-machined Ultrasonic Transducer" – transducteur ultrasonore capacitif micro-usiné).

[0045] 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 R_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.

[0046] 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 R_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 [Fig.1].

[0047] 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.

- [0048] Dans l'exemple de la [Fig.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.
- [0049] 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.
- [0050] 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.
- [0051] 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.
- [0052] 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.
- [0053] 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.

- [0054] 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.
- [0055] A titre d'exemple, dans chaque ligne R_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 R_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.
- [0056] Pour chaque ligne R_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.
- [0057] 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.
- [0058] 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.
- [0059] L'acquisition d'une image ultrasonore d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, par exemple du type décrit en relation avec les figures 1 et 2, peut comprendre une phase d'émission d'une onde ultrasonore, suivie d'une phase de réception d'une onde ultrasonore retour, réfléchi par le corps.
- [0060] A titre d'exemple, pendant la phase d'émission, les électrodes de ligne de la matrice de transducteur (correspondant aux électrodes 105 dans l'exemple des figures 1 et 2)

sont maintenues à un potentiel de référence fixe, par exemple la masse, et un potentiel de polarisation continu V_{bias} est appliqué sur chacune des électrodes de colonne de la matrice (correspondant aux électrodes 103 dans l'exemple des figures 1 et 2). Une tension d'excitation alternative V_{exc} est en outre appliquée sur chacune des électrodes de colonne de la matrice. Ainsi, chaque transducteur 101 de la matrice voit, entre ses électrodes E1 et E2, la tension d'excitation alternative V_{exc} superposée à une tension de polarisation continue V_{bias} . Ceci provoque une vibration de la membrane du transducteur, conduisant à l'émission d'une onde acoustique ultrasonore.

[0061] Pendant la phase de réception, les électrodes de colonne peuvent être maintenues au potentiel de polarisation continu V_{bias} . Une tension alternative superposée à la tension de polarisation continue V_{bias} apparaît alors entre les électrodes E1 et E2 de chaque transducteur 101 sous l'effet de l'onde acoustique retour. Les tensions alternatives produites individuellement par les transducteurs élémentaires de la matrice, aussi appelées contributions individuelles des transducteurs élémentaires, se combinent sur les électrodes de ligne et de colonne de la matrice et des tensions résultantes peuvent être lues sur lesdites électrodes de ligne et de colonne.

[0062] La demande de brevet internationale WO2022/268512 susmentionnée, dont le contenu est considéré comme faisant partie intégrante de la présente description, décrit un procédé d'acquisition d'une image ultrasonore au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne, permettant de remonter aux contributions individuelles des transducteurs élémentaires de la matrice, de façon à bénéficier à la fois des avantages des dispositifs entièrement peuplés en termes de résolution d'imagerie, et des dispositifs à adressage ligne-colonne en termes de complexité électronique.

[0063] La [Fig.3] est un schéma électrique équivalent d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de 2 lignes et 2 colonnes, pendant une phase de réception d'une onde ultrasonore.

[0064] Chaque transducteur élémentaire peut être modélisé par un générateur de tension e_{ij} en série avec une impédance Z_{th} entre une électrode de ligne R_i (correspondant à une électrode 105 dans l'exemple d'implémentation des figures 1 et 2) et une électrode de colonne C_j (correspondant à une électrode 103 dans l'exemple d'implémentation des figures 1 et 2). Chaque valeur de tension e_{ij} est représentative de la vibration du transducteur élémentaire de coordonnées i,j dans la matrice sous l'effet de l'onde ultrasonore reçue, et correspond à la contribution individuelle du transducteur élémentaire aux tensions mesurées sur les électrodes de ligne et/ou de colonne du dispositif. On a en outre représenté, pour chaque ligne de la matrice, une impédance de charge Z_R entre l'électrode de ligne R_i et la masse, et, pour chaque colonne de la matrice, une impédance de charge Z_C entre l'électrode de colonne C_j et la masse. Les

impédances Z_{th} des différents transducteurs élémentaires de la matrice sont par exemple toutes identiques ou sensiblement identiques. Les impédances de charge Z_R connectées aux différentes électrodes de ligne R_i de la matrice sont par exemple toutes identiques ou sensiblement identiques. Les impédances de charge Z_C connectées aux différentes électrodes de colonne C_j de la matrice sont par exemple toutes identiques ou sensiblement identiques. On désigne ici par V_{Ri} la tension alternative apparaissant sur la ligne R_i lors d'une phase de réception d'une onde ultrasonore, et par V_{Cj} la tension alternative apparaissant sur la colonne C_j lors d'une phase de réception d'une onde ultrasonore.

[0065] Par application du principe de superposition, on peut écrire le système d'équations suivant :

[0066] [Math.1]

$$\begin{cases} V_{R1} = a_{11R1} * e_{11} + a_{12R1} * e_{12} + a_{21R1} * e_{21} + a_{22R1} * e_{22} \\ V_{R2} = a_{11R2} * e_{11} + a_{12R2} * e_{12} + a_{21R2} * e_{21} + a_{22R2} * e_{22} \\ V_{C1} = a_{11C1} * e_{11} + a_{12C1} * e_{12} + a_{21C1} * e_{21} + a_{22C1} * e_{22} \\ V_{C2} = a_{11C2} * e_{11} + a_{12C2} * e_{12} + a_{21C2} * e_{21} + a_{22C2} * e_{22} \end{cases}$$

[0067] où chaque coefficient a_{ijrk} est représentatif du poids de la contribution du générateur e_{ij} à la tension V_{rk} de la ligne R_k , avec k entier allant de 1 à N , et où chaque coefficient a_{ijck} est représentatif du poids de la contribution du générateur e_{ij} à la tension V_{ck} de la colonne C_k .

[0068] La [Fig.4] est un schéma électrique équivalent d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de N lignes et N colonnes. Le schéma électrique équivalent de la [Fig.4] est similaire à celui de la [Fig.2]. Par soucis de simplification, les impédances de charge Z_R connectées sur les lignes et les impédances de charge Z_C connectées sur les colonnes n'ont pas été représentées sur la [Fig.4].

[0069] En reprenant les notations précédentes, le système d'équations [Math 1] sus-mentionné peut être réécrit sous forme matricielle comme suit : $[A]*[e]=[V]$

[0070] Avec :

[0071] [Math.2]

$$A = \begin{bmatrix} a_{11R1} & a_{12R1} & \dots & a_{N(N-1)R1} & a_{NNR1} \\ a_{11R2} & a_{12R2} & \dots & a_{N(N-1)R2} & a_{NNR2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{11RN} & a_{12RN} & \dots & a_{N(N-1)RN} & a_{NNRN} \\ a_{11C1} & a_{12C1} & \dots & a_{N(N-1)C1} & a_{NNC1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{11C(N-1)} & a_{12C(N-1)} & \dots & a_{N(N-1)C(N-1)} & a_{NNC(N-1)} \\ a_{11CN} & a_{12CN} & \dots & a_{N(N-1)CN} & a_{NNCN} \end{bmatrix}$$

[0072] Et :

[0073] [Math.3]

$$\begin{bmatrix} e \\ \vdots \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{NN-1} \\ e_{NN} \end{bmatrix}$$

[0074] Et :

[0075] [Math.4]

$$\begin{bmatrix} V \\ \vdots \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{R1} \\ \vdots \\ V_{RN} \\ V_{C1} \\ \vdots \\ V_{CN} \end{bmatrix}$$

[0076] Les $2N \times (N \times N)$ coefficients de la matrice [A] peuvent être déterminés au préalable lors d'une phase de caractérisation ou de simulation du dispositif, et stockés dans une mémoire d'un dispositif électronique de traitement. Les $2N \times (N \times N)$ coefficients de la matrice [A] sont par exemple non nuls et non unitaires (en valeur absolue).

[0077] Les $2N$ tensions du vecteur [V] peuvent être lues sur les électrodes de ligne et de colonne de la matrice.

[0078] On obtient ainsi un système à $2N$ équations et $N \times N$ inconnues (les $N \times N$ valeurs de tension e_{ij}).

[0079] En l'état, ce système ne peut pas être résolu, le nombre d'équations indépendantes étant inférieur au nombre d'inconnues.

[0080] Dans la demande de brevet internationale WO2022/268512 susmentionnée, il est proposé d'augmenter le nombre d'équations discriminantes du système, en réalisant plusieurs tirs ("firings" en anglais) successifs d'une même onde ultrasonore (c'est-à-dire d'un faisceau de mêmes caractéristiques) en direction du corps à analyser, et en modifiant à chaque fois, lors de la phase de réception de l'onde retour, le signe d'au moins un générateur e_{ij} .

[0081] Plus particulièrement, il est prévu, à chaque tir, de modifier le signe de la tension de polarisation appliquée sur au moins une des électrodes de colonne de la matrice lors de la phase de réception de l'onde retour, de façon à inverser le signe de tous les générateurs e_{ij} de ladite au moins une colonne. On tire ainsi profit du comportement symétrique en tension des transducteurs CMUT, expliqué en relation avec les figures 5 et 6 de la demande de brevet internationale WO2022/268512.

[0082] En réalisant plusieurs tirs successifs d'une même onde ultrasonore, en modifiant à chaque fois le signe des tensions de polarisation appliquées sur certaines colonnes en

phase de réception, et en effectuant des combinaisons linéaires des tensions mesurées sur les électrodes de ligne R_i , il est possible de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice.

[0083] Une limitation de la solution proposée dans la demande de brevet internationale WO2022/268512 susmentionnée réside dans le nombre relativement élevé de tirs successifs d'une même onde ultrasonore à mettre en oeuvre pour remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice.

[0084] Plus particulièrement, pour une matrice de N lignes par N colonnes de transducteurs ultrasonores élémentaires, la solution proposée dans la demande de brevet internationale WO2022/268512 susmentionnée nécessite de mettre en oeuvre au moins N tirs successifs d'une même onde ultrasonore en modifiant à chaque fois le signe de la tension de polarisation appliquée sur au moins une des électrodes de colonne de la matrice lors de la phase de réception de l'onde retour, pour remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des $N \times N$ transducteurs élémentaires de la matrice.

[0085] La [Fig.5] illustre schématiquement une étape d'émission TX et une étape de réception RX d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions $N \times N$, selon un mode de réalisation.

[0086] Le dispositif d'acquisition de la [Fig.5] diffère des dispositifs décrits précédemment en relation avec les figures 1 à 4 en ce que, dans l'exemple de la [Fig.5], chaque ligne R_i est divisée en deux portions de lignes R_{Li} et R_{Ri} , correspondant respectivement à une portion gauche et une portion droite de la ligne. Les portions de ligne R_{Li} et R_{Ri} comprennent par exemple chacune $N/2$ transducteurs élémentaires. Dans cet exemple, N est un entier pair.

[0087] La [Fig.8] est une vue en coupe schématique et partielle illustrant plus en détail un exemple de réalisation du dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de la [Fig.5]. La [Fig.8] est une vue en coupe du dispositif dans le même plan que la vue (B) de la [Fig.2].

[0088] Comme dans les exemples décrits précédemment en relation avec les figures 1 et 2, 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.

[0089] De plus, dans chaque portion de ligne R_{Li} , respectivement R_{Ri} , de la matrice de transducteurs, les transducteurs 101 de la portion de ligne considérée ont leurs électrodes supérieures E2 respectives connectées entre elles. Les électrodes supérieures E2 de transducteurs 101 de portions de lignes distinctes ne sont en revanche pas connectées entre elles.

- [0090] Comme dans l'exemple décrit précédemment en relation avec les figures 1 et 2, dans chaque colonne C_j du dispositif, les électrodes inférieures E1 des transducteurs 101 de la colonne forment une bande conductrice et/ou semiconductrice continue 103, s'étendant sur sensiblement toute la longueur de la colonne.
- [0091] De plus, dans chaque portion de ligne R_{Li} , respectivement R_{Ri} , du dispositif, les électrodes supérieures E2 des transducteurs 101 de la portion ligne forment une bande conductrice et/ou semiconductrice continue 105L, respectivement 105R, s'étendant sur sensiblement toute la longueur de la portion de ligne.
- [0092] A titre d'exemple, le dispositif de la [Fig.8] diffère du dispositif 100 décrit en relation avec les figures 1 et 2 essentiellement en ce que, dans le dispositif de la [Fig.8], dans chaque ligne de la matrice de transducteurs ultrasonores, la bande d'électrode supérieure 105 est interrompue sensiblement en son centre, et ainsi divisée en deux bandes 105L et 105R disjointes (non connectées électriquement l'une à l'autre).
- [0093] De façon similaire dans le cas où les membranes 123 des transducteurs d'une même ligne forment une bande continue en un matériau conducteur ou semiconducteur, dans chaque ligne de la matrice de transducteurs ultrasonores, la bande de membrane 123 peut être interrompue sensiblement en son centre, et ainsi divisée en deux bandes 123L et 123R disjointes. Les bandes de membrane 123L et 123R de chaque ligne coïncident par exemple respectivement, en vue de dessus, avec les bandes d'électrodes supérieures 105L et 105R de la ligne.
- [0094] A titre d'exemple, pour chaque portion de ligne R_{Li} , respectivement R_{Ri} , de la matrice de transducteurs 101, le dispositif peut comprendre un circuit de réception ayant une borne d'entrée connectée ou reliée, par exemple par l'intermédiaire d'un commutateur, aux électrodes E2 des transducteurs de la portion de ligne.
- [0095] De plus, pour chaque colonne C_j de la matrice de transducteurs 101, le dispositif peut comprendre un circuit d'émission, par exemple un générateur d'impulsions, ayant une borne de sortie connectée ou reliée, par exemple par l'intermédiaire d'un commutateur, aux électrodes E1 des transducteurs de la colonne.
- [0096] Ainsi, dans cet exemple, par rapport à une configuration du type décrit en relation avec les figures 1 à 4, le nombre de circuits de réception de ligne est doublé (deux circuits de réception par ligne de la matrice au lieu d'un seul dans les exemples des figures 1 à 4). Le nombre de circuits d'émission de colonne reste quant à lui inchangé (un circuit d'émission par colonne de la matrice).
- [0097] Par souci de simplification, les circuits d'émission et de réception n'ont pas été représentés sur les figures.
- [0098] Dans l'exemple de la [Fig.5], pendant la phase d'émission TX, une tension de polarisation continue V_{bias} et une tension d'excitation alternative V_{exc} sont appliquées sur les électrodes de colonne C_j de rang impair, et une tension de polarisation continue

opposée $-V_{\text{bias}}$ et une tension d'excitation alternative opposée $-V_{\text{exc}}$ sont appliquées sur les électrodes de colonne C_j de rang pair. A titre d'exemple, pendant la phase d'émission, les électrodes des portions de ligne R_{Li} , R_{Ri} de la matrice de transducteur (correspondant aux électrodes 105L, 105R dans l'exemple de la [Fig.8]) sont maintenues à un potentiel de référence fixe, par exemple la masse. Sur la [Fig.5], chaque transducteur élémentaire est représenté par une impédance Z_{th} pendant la phase d'émission TX.

- [0099] Pendant la phase de réception RX, les tensions de polarisation continues V_{bias} et $-V_{\text{bias}}$ appliquées respectivement sur les électrodes de colonne C_j de rang impair et sur les électrodes de colonne C_j de rang pair restent inchangées.
- [0100] Comme expliqué en relation avec les figures 5 et 6 de la demande de brevet WO2022/268512 susmentionnée, l'inversion du signe des tensions V_{bias} et V_{exc} sur les colonnes de rang pair n'a pas d'impact sur l'onde acoustique émise par les transducteurs de la colonne. Autrement dit, l'onde ultrasonore émise est la même que si les signes des tensions V_{bias} et V_{exc} étaient les mêmes sur toutes les colonnes.
- [0101] En réception, l'inversion du signe de la tension de polarisation continue dans les colonnes de rang pair conduit en revanche à inverser les signes des contributions e_{ij} des transducteurs élémentaires desdites colonnes.
- [0102] En réalisant plusieurs tirs successifs d'une même onde ultrasonore, en modifiant à chaque fois le signe des tensions de polarisation appliquées sur certaines colonnes en phase de réception, et en effectuant des combinaisons linéaires des tensions mesurées sur les électrodes de ligne R_{Li} , R_{Ri} , il est possible de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice.
- [0103] La division de chaque ligne de la matrice en deux portions de lignes R_{Li} , R_{Ri} permet avantageusement de diviser par deux le nombre de tirs nécessaires pour remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice.
- [0104] Ainsi, dans l'exemple de la [Fig.5], $N/2$ tirs successifs d'une même onde ultrasonore permettent de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de l'ensemble des transducteurs élémentaires de la matrice.
- [0105] Plus généralement, les modes de réalisation décrits permettent de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de chacun des transducteurs élémentaires de la matrice avec un nombre de tirs strictement inférieur à N .
- [0106] La [Fig.6] illustre schématiquement un exemple d'un mode de mise en oeuvre d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions 2×2 , du type décrit en relation avec la [Fig.5].
- [0107] Le procédé de la [Fig.6] comprend un unique tir d'une onde ultrasonore en direction du corps à analyser.

- [0108] Plus particulièrement, le procédé comprend une première étape d'émission TX1 de l'onde ultrasonore, suivie d'une première étape de réception RX1 d'une onde retour réfléchie par le corps à analyser.
- [0109] Lors de l'étape d'émission TX1, les électrodes de colonne C_1 et C_2 sont polarisées à une même tension continue V_{bias} , et reçoivent une même tension alternative d'excitation V_{exc} superposée à la tension V_{bias} .
- [0110] Lors de la phase de réception RX1, les électrodes de colonne C_1 et C_2 restent polarisées à la tension V_{bias} , et des tensions alternatives V_{RL1}^1 et V_{RR1}^1 sont lues respectivement sur les électrodes des portions de ligne R_{L1} et R_{R1} , et des tensions alternatives V_{RL2}^1 et V_{RR2}^1 sont lues respectivement sur les électrodes des portions de ligne R_{L2} et R_{R2} .
- [0111] Les systèmes d'équations suivants peuvent ainsi être écrits :
- [0112] [Math.5]
- $$\begin{cases} V_{RL1}^1 = a_{11RL1} * e_{11} + a_{21RL1} * e_{21} \\ V_{RL2}^1 = a_{11RL2} * e_{11} + a_{21RL2} * e_{21} \end{cases}$$
- [0113] [Math.6]
- $$\begin{cases} V_{RR1}^1 = a_{12RR1} * e_{12} + a_{22RR1} * e_{22} \\ V_{RR2}^1 = a_{12RR2} * e_{12} + a_{22RR2} * e_{22} \end{cases}$$
- [0114] On obtient ainsi un système à quatre équations et quatre inconnues pouvant être directement résolu, ce qui permet de déterminer les contributions respectives e_{11} , e_{12} , e_{21} et e_{22} des transducteurs élémentaires.
- [0115] La [Fig.7] illustre schématiquement, à titre d'exemple illustratif, un mode de mise en oeuvre d'un procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne de dimensions 4x4, du type décrit en relation avec la [Fig.5].
- [0116] La [Fig.7] représente plus particulièrement les signes des tensions de polarisation appliquées sur les électrodes de colonne C_j de la matrice lors de deux phases de réception successives RX1, RX2 du procédé. Sur cette figure, on a représenté un signe + en tête de colonne lorsque la tension de polarisation appliquée à la colonne est égale à V_{bias} , et un signe - en tête de colonne lorsque la tension de polarisation appliquée à la colonne est égale à $-V_{\text{bias}}$.
- [0117] Lors de la phase de réception RX1 suivant le premier tir, les électrodes de colonne C_1 , C_2 , C_3 et C_4 sont toutes polarisées positivement (++++). Lors de la phase de réception RX2 suivant le deuxième tir, les électrodes de colonne C_1 , C_2 , C_3 et C_4 sont polarisées respectivement positivement, négativement, positivement et négativement (+--+).
- [0118] Pour chacune des phases de réception RX1 et RX2 deux systèmes d'équations du

même type que les systèmes [Math 5] et [Math 6] décrits ci-dessus peuvent être écrits, avec, à chaque fois, 4 équations par système et 8 termes $a_{ijRLi} * e_{ij}$ ou $a_{ijRRLi} * e_{ij}$ par équation.

[0119] On obtient ainsi, pour chaque tir ultrasonore, un ensemble de 8 équations et 16 inconnues.

[0120] Avec 2 tirs ultrasonores, on obtient donc 16 équations pour 16 inconnues, ce qui permet de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de l'ensemble des transducteurs élémentaires.

[0121] Plus particulièrement, dans l'exemple représenté, on obtient, pour la phase de réception RX1, les systèmes suivants :

[0122] [Math.5]

$$\begin{cases} V_{RL1}^1 = a_{11RL1} * e_{11} + a_{12RL1} * e_{12} + a_{21RL1} * e_{21} + a_{22RL1} * e_{22} + a_{31RL1} * e_{31} + a_{32RL1} * e_{32} + a_{41RL1} * e_{41} + a_{42RL1} * e_{42} \\ V_{RL2}^1 = a_{11RL2} * e_{11} + a_{12RL2} * e_{12} + a_{21RL2} * e_{21} + a_{22RL2} * e_{22} + a_{31RL2} * e_{31} + a_{32RL2} * e_{32} + a_{41RL2} * e_{41} + a_{42RL2} * e_{42} \\ V_{RL3}^1 = a_{11RL3} * e_{11} + a_{12RL3} * e_{12} + a_{21RL3} * e_{21} + a_{22RL3} * e_{22} + a_{31RL3} * e_{31} + a_{32RL3} * e_{32} + a_{41RL3} * e_{41} + a_{42RL3} * e_{42} \\ V_{RL4}^1 = a_{11RL4} * e_{11} + a_{12RL4} * e_{12} + a_{21RL4} * e_{21} + a_{22RL4} * e_{22} + a_{31RL4} * e_{31} + a_{32RL4} * e_{32} + a_{41RL4} * e_{41} + a_{42RL4} * e_{42} \end{cases}$$

[0123] [Math.6]

$$\begin{cases} V_{RR1}^1 = a_{13RR1} * e_{13} + a_{14RR1} * e_{14} + a_{23RR1} * e_{23} + a_{24RR1} * e_{24} + a_{33RR1} * e_{33} + a_{34RR1} * e_{34} + a_{43RR1} * e_{43} + a_{44RR1} * e_{44} \\ V_{RR2}^1 = a_{13RR2} * e_{13} + a_{14RR2} * e_{14} + a_{23RR2} * e_{23} + a_{24RR2} * e_{24} + a_{33RR2} * e_{33} + a_{34RR2} * e_{34} + a_{43RR2} * e_{43} + a_{44RR2} * e_{44} \\ V_{RR3}^1 = a_{13RR3} * e_{13} + a_{14RR3} * e_{14} + a_{23RR3} * e_{23} + a_{24RR3} * e_{24} + a_{33RR3} * e_{33} + a_{34RR3} * e_{34} + a_{43RR3} * e_{43} + a_{44RR3} * e_{44} \\ V_{RR4}^1 = a_{13RR4} * e_{13} + a_{14RR4} * e_{14} + a_{23RR4} * e_{23} + a_{24RR4} * e_{24} + a_{33RR4} * e_{33} + a_{34RR4} * e_{34} + a_{43RR4} * e_{43} + a_{44RR4} * e_{44} \end{cases}$$

[0124] Et, pour la phase de réception RX2, les systèmes suivants :

[0125] [Math.5]

$$\begin{cases} V_{RL1}^2 = a_{11RL1} * e_{11} - a_{12RL1} * e_{12} + a_{21RL1} * e_{21} - a_{22RL1} * e_{22} + a_{31RL1} * e_{31} - a_{32RL1} * e_{32} + a_{41RL1} * e_{41} - a_{42RL1} * e_{42} \\ V_{RL2}^2 = a_{11RL2} * e_{11} - a_{12RL2} * e_{12} + a_{21RL2} * e_{21} - a_{22RL2} * e_{22} + a_{31RL2} * e_{31} - a_{32RL2} * e_{32} + a_{41RL2} * e_{41} - a_{42RL2} * e_{42} \\ V_{RL3}^2 = a_{11RL3} * e_{11} - a_{12RL3} * e_{12} + a_{21RL3} * e_{21} - a_{22RL3} * e_{22} + a_{31RL3} * e_{31} - a_{32RL3} * e_{32} + a_{41RL3} * e_{41} - a_{42RL3} * e_{42} \\ V_{RL4}^2 = a_{11RL4} * e_{11} - a_{12RL4} * e_{12} + a_{21RL4} * e_{21} - a_{22RL4} * e_{22} + a_{31RL4} * e_{31} - a_{32RL4} * e_{32} + a_{41RL4} * e_{41} - a_{42RL4} * e_{42} \end{cases}$$

[0126] [Math.6]

$$\begin{cases} V_{RR1}^2 = a_{13RR1} * e_{13} - a_{14RR1} * e_{14} + a_{23RR1} * e_{23} - a_{24RR1} * e_{24} + a_{33RR1} * e_{33} - a_{34RR1} * e_{34} + a_{43RR1} * e_{43} - a_{44RR1} * e_{44} \\ V_{RR2}^2 = a_{13RR2} * e_{13} - a_{14RR2} * e_{14} + a_{23RR2} * e_{23} - a_{24RR2} * e_{24} + a_{33RR2} * e_{33} - a_{34RR2} * e_{34} + a_{43RR2} * e_{43} - a_{44RR2} * e_{44} \\ V_{RR3}^2 = a_{13RR3} * e_{13} - a_{14RR3} * e_{14} + a_{23RR3} * e_{23} - a_{24RR3} * e_{24} + a_{33RR3} * e_{33} - a_{34RR3} * e_{34} + a_{43RR3} * e_{43} - a_{44RR3} * e_{44} \\ V_{RR4}^2 = a_{13RR4} * e_{13} - a_{14RR4} * e_{14} + a_{23RR4} * e_{23} - a_{24RR4} * e_{24} + a_{33RR4} * e_{33} - a_{34RR4} * e_{34} + a_{43RR4} * e_{43} - a_{44RR4} * e_{44} \end{cases}$$

[0127] On notera que comme cela a été exposé dans la demande de brevet WO2022/268512 susmentionnée, l'inversion du signe des tensions de polarisation V_{bias} et d'excitation V_{exc} pendant la phase d'émission n'a pas d'effet sur l'onde ultrasonore émise. Ainsi, on pourrait prévoir de réaliser les deux tirs avec les mêmes tensions de polarisation et d'excitation, et modifier le signe de la tension de polarisation des colonnes C_2 et C_4 uniquement pendant la phase de réception RX2. En pratique, il peut toutefois s'avérer délicat d'inverser le signe de la tension de polarisation d'une colonne entre la phase d'émission et la phase de réception d'une même onde ultrasonore. On modifiera donc

de préférence le signe de la tension de polarisation de l'électrode des colonnes C_2 et C_4 dès la phase d'émission.

- [0128] La personne du métier saura adapter le procédé décrit quel que soit le nombre N de lignes et de colonnes du dispositif.
- [0129] Pour une matrice de dimensions $N \times N$, il suffira de réaliser $N/2$ tirs successifs TX1, ... TXN/2, en modifiant à chaque fois le signe de la tension de polarisation appliquée sur au moins l'une des électrodes de colonne de la matrice pendant la phase de réception subséquente respective RX1, ... RXN/2.
- [0130] Pour chacune des phases de réception RX1 et RXN/2, deux systèmes d'équations du même type que les systèmes [Math 5] et [Math 6] décrits ci-dessus peuvent être écrits, avec, à chaque fois, N équations par système et $N \cdot (N/2)$ termes $a_{ijRLi} \cdot e_{ij}$ ou $a_{ijRRi} \cdot e_{ij}$ par équation.
- [0131] On obtient ainsi, pour chaque tir ultrasonore, un ensemble de $2N$ équations et $N \cdot N$ inconnues.
- [0132] Avec $N/2$ tirs ultrasonores, on obtient donc $N \cdot N$ équations pour $N \cdot N$ inconnues, ce qui permet de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de l'ensemble des transducteurs élémentaires.
- [0133] A titre d'exemple, les signes des tensions de polarisation appliquées respectivement sur les N électrodes de colonne $C_1, \dots, C_N$ lors des $N/2$ phases de réception RX1, ... RXN/2 sont codés par des vecteurs d'une matrice orthogonale, par exemple une matrice de Hadamard, par exemple les $N/2$ premiers vecteurs d'une matrice de Hadamard de dimension N . En utilisant $N/2$ combinaisons linéaires des mesures de tension réalisées sur les électrodes de ligne RL_i, RR_i de la matrice, on peut remonter aux contributions individuelles e_{ij} des $N \cdot N$ transducteurs élémentaires du dispositif.
- [0134] Selon un mode de réalisation préféré, à chaque tir de l'onde ultrasonore, la tension de polarisation appliquée sur chacune des électrodes de colonne C_j , avec j allant de 1 à $N/2$, est égale à la tension de polarisation appliquée sur l'électrode de colonne de l'une des colonnes $C_{(N/2)+1}, \dots, C_N$, par exemple la colonne $C_{j+(N/2)}$.
- [0135] Dans ce cas, un même circuit d'émission, par exemple un même générateur d'impulsion, peut être utilisé pour commander simultanément les électrodes de deux colonnes.
- [0136] Ceci permet avantageusement de diviser par deux le nombre de circuits d'émission du dispositif. Ainsi, par rapport à une configuration du type décrit en relation avec les figures 1 à 4, le nombre de circuits de réception de ligne est doublé (deux circuits de réception par ligne de la matrice au lieu d'un seul dans les exemples des figures 1 à 4), et le nombre de circuits d'émission de colonne est divisé par deux (un circuit d'émission pour deux colonnes de la matrice).
- [0137] Un avantage des modes de réalisation proposés est qu'ils permettent de bénéficier à la

fois des avantages des dispositifs entièrement peuplés en termes de résolution d'imagerie, et des dispositifs à adressage ligne-colonne en termes de complexité électronique.

- [0138] En outre, par rapport à la solution décrite dans la demande de brevet WO2022/268512 susmentionnée, le nombre de tirs d'une même onde ultrasonore nécessaires à la reconstruction d'une image entièrement résolue est réduit.
- [0139] On notera que les modes de réalisation décrits ne sont pas limités à l'exemple décrit ci-dessus dans lequel chaque ligne de transducteurs ultrasonores de la matrice est divisée en deux portions de lignes R_{Li} , R_{Ri} . Plus généralement, la personne du métier saura adapter le fonctionnement décrit à un dispositif dans lequel chaque ligne de la matrice de transducteurs ultrasonores est divisée en n portions de lignes de mêmes dimensions, avec n entier supérieur ou égal à 2, N multiple de n , et N/n entier supérieur ou égal à 2.
- [0140] Dans ce cas, le nombre de tirs ultrasonores nécessaires pour reconstruire les contributions individuelles e_{ij} de l'ensemble des transducteurs élémentaires de la matrice sera réduit à N/n , au prix d'une augmentation d'un facteur n du nombre de circuits de réception (égal à $n*N$) connectés respectivement aux électrodes des $n*N$ portions de ligne du dispositif. De façon avantageuse, un même circuit d'émission peut être utilisé pour commander simultanément n colonnes de la matrice, réduisant à N/n le nombre de circuits d'émission du dispositif.
- [0141] De plus, la personne du métier saura adapter les modes de réalisation décrits au cas où les portions de lignes ne comprennent pas toutes le même nombre de transducteurs ultrasonores.
- [0142] En outre, la personne du métier saura adapter les modes de réalisation décrits au cas où les portions de ligne sont constituées de transducteurs non nécessairement adjacents. Par exemple, pour une ligne donnée de transducteurs ultrasonores, les transducteurs des colonnes de rang pair peuvent être connectés à une première électrode de ligne définissant une première portion de ligne, et les transducteurs des colonnes de rang impair peuvent être connectées à une deuxième électrode de ligne distincte de la première électrode (i.e. non connectée à la première électrode), définissant une deuxième portion de ligne.
- [0143] 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 réalisations décrits ne se limitent pas à l'exemple particulier de réalisation de la matrice de transducteurs élémentaires décrit en relation avec la [Fig.8].
- [0144] Par ailleurs, les modes de réalisation décrits ne sont pas limités à des dispositifs à

base de transducteurs ultrasonores de type CMUT, mais s'appliquent plus généralement à tout type de transducteur présentant un comportement symétrique, notamment en réception, par exemple des transducteurs PMUT (de l'anglais "Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers" – transducteur ultrasonore piézo-électrique micro-usiné). Par comportement symétrique en réception, on entend ici que le signe de la tension alternative produite par le transducteur lors d'une phase de réception d'une onde ultrasonore s'inverse lorsque le signe de la tension de polarisation continue appliquée au transducteur pendant cette même phase de réception est inversé.

[0145] Par ailleurs, bien que, dans les exemples décrits ci-dessus, les tensions de polarisation continue V_{bias} et $-V_{\text{bias}}$ appliquées sur les différentes électrodes de colonne C_j du dispositif soient toutes de même amplitude en valeur absolue, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas à ce cas particulier. A titre de variante, les niveaux d'amplitude des tensions de polarisation continues appliquées sur les différentes électrodes de colonne C_j , en émission et/ou en réception, peuvent être différenciés. De façon similaire, les tensions alternatives d'excitation V_{exc} appliquées sur les électrodes de colonne C_j en émission peuvent être différenciées par colonne.

[0146] En outre, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas aux exemples détaillés ci-dessus dans lesquels l'inversion du signe de la contribution e_{ij} des transducteurs élémentaires d'une colonne est obtenue en inversant le signe de la tension de polarisation continue V_{bias} appliquée à cette colonne. Plus généralement, tout autre moyen permettant d'inverser le signe de la contribution e_{ij} d'un ou plusieurs transducteurs élémentaires entre deux tirs successifs d'une même onde ultrasonore peut être prévu. A titre d'exemple, chaque transducteur élémentaire de position (i,j) dans la matrice est associé à un système de commutateurs, par exemple des interrupteurs électromécaniques, permettant d'inverser le sens de connexion des électrodes du transducteur entre les électrodes de ligne R_i et de colonne C_j de la matrice. Autrement dit, dans une première configuration du système de commutateurs, le transducteur a une première électrode connectée à l'électrode R_i et une deuxième électrode connectée à l'électrode C_j , et, dans une deuxième configuration du système de commutateurs, le transducteur a sa première électrode connectée à l'électrode C_j et sa deuxième électrode connectée à l'électrode R_i . Ainsi, en changeant, entre deux tirs successifs d'une même onde ultrasonore, la configuration du système de commutateurs associé à un transducteur élémentaire de position (i,j) , on inverse le signe de la contribution e_{ij} de ce transducteur. Ceci permet d'augmenter le nombre d'équations discriminantes du système et ainsi de remonter aux contributions individuelles e_{ij} de l'ensemble des transducteurs élémentaires de la matrice. Dans ce mode de réalisation, les systèmes de commutateurs associés aux transducteurs individuels peuvent être commandés individuellement, transducteur par transducteur, ou simultanément par colonne. On notera que ce mode

de réalisation est compatible avec tout type de transducteurs ultrasonores, y compris des transducteurs ne présentant pas un comportement symétrique en tension. En particulier, ce mode de réalisation n'est pas limité aux transducteurs CMUT et PMUT.

[0147] De plus, bien que l'on ait décrit ci-dessus des exemples de mise en oeuvre basés sur des mesures de tension sur les électrodes du dispositif, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas à ce cas particulier. A titre de variante, les modes de réalisation décrits peuvent être adaptés pour remonter aux contributions individuelles des transducteurs élémentaires à partir de mesures d'une autre grandeur électrique variable, par exemple un courant, des charges ou une impédance, sur les électrodes du dispositif.

[0148] En outre, bien que les exemples détaillés ci-dessus du procédé d'acquisition proposé aient été donnés pour des matrices de transducteurs carrées de N lignes par N colonnes, les modes de réalisation décrits ne se limitent pas à ce cas particulier. A la lecture de la présente description, la personne du métier saura adapter le procédé proposé à des dispositifs matriciels présentant un nombre de lignes différent du nombre de colonnes.

[0149] Par ailleurs, dans les exemples de réalisation décrits ci-dessus, à chaque tir de l'onde ultrasonore, l'onde est générée par le même dispositif matriciel que celui utilisé pour la réception de l'onde retour. Les modes de réalisation décrits ne se limitent toutefois pas à ce cas particulier. A titre de variante, la matrice de transducteur est utilisée uniquement comme dispositif récepteur, pour recevoir l'onde ultrasonore renvoyée par le corps à analyser, et un dispositif émetteur séparé (non détaillé) est utilisé pour émettre l'onde ultrasonore en direction du corps à analyser. Le dispositif émetteur et le dispositif récepteur sont alors synchronisés pour mettre en oeuvre les N/n phases d'émission TX et les N/n phases de réception RX alternées.

[0150] En outre, la mise en oeuvre pratique des modes de réalisation et variantes décrits est à la portée de la personne du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus. En particulier, la réalisation des circuits électroniques de contrôle des dispositifs émetteur et récepteur pour mettre en oeuvre le procédé proposé n'a pas été détaillée, la réalisation de ces circuits étant à la portée de la personne du métier à la lecture de la présente description. De plus, la réalisation des dispositifs électroniques de traitement permettant de remonter aux contributions individuelles des transducteurs élémentaires à partir des grandeurs mesurées sur les électrodes du dispositif n'ont pas été détaillés, la réalisation de tels dispositifs étant à la portée de la personne du métier à partir des enseignements de la présente description.

[0151] En outre, on notera que dans les exemples décrits ci-dessus, les appellations ligne et colonnes sont arbitraires et peuvent bien entendu être inversées.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé d'acquisition d'une image d'un corps au moyen d'un dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne (100), le dispositif (100) comprenant une matrice de M lignes (R_i) par N colonnes (C_j) de transducteurs ultrasonores élémentaires (101), chaque ligne (R_i) étant divisée en n portions de lignes, chaque portion de ligne comportant plusieurs transducteurs ultrasonores élémentaires, avec n entier supérieur ou égal à deux, dans lequel :

- les transducteur élémentaires d'une même portion de ligne sont connectés à une même électrode de portion de ligne ;
- les transducteur élémentaires de portions de ligne distinctes sont connectés à des électrodes de portion de ligne distinctes ; et
- les transducteurs élémentaires d'une même colonne sont connectés à une même électrode de colonne,

le procédé comprenant :

- réaliser p tirs (TX1, ...TXp) successifs d'une même onde ultrasonore en direction du corps, ou p est un entier désignant le nombre de transducteurs ultrasonores élémentaires de la plus grande portion de lignes ;
- après chaque tir, mettre en oeuvre une phase de réception (RX1, ...RXp), au moyen du dispositif, d'une onde ultrasonore retour, réfléchi par le corps,

dans lequel, lors de chacune des phase de réception (RX1, ...RXp), une grandeur électrique variable représentative de l'onde reçue est lue sur chaque électrode de portion de ligne (R_i) du dispositif,

et dans lequel, entre deux phases de réception quelconques parmi les p phases de réception (RX1, ...RXp), on modifie le signe de la contribution individuelle (e_{ij}) d'au moins un transducteur ultrasonore élémentaire (101) de la matrice,

le procédé comprenant en outre une étape de calcul, au moyen d'un dispositif électronique de traitement, par des combinaisons linéaires des grandeurs électriques variables (V_{RLi} , V_{RRi}) lues sur les électrodes de portions de ligne (R_{Ri} , R_{Li}) du dispositif lors des p phases de réception (RX1, ...RXp), d'une contribution individuelle (e_{ij}) de chacun des transducteurs élémentaires (101) de la matrice.

[Revendication 2]

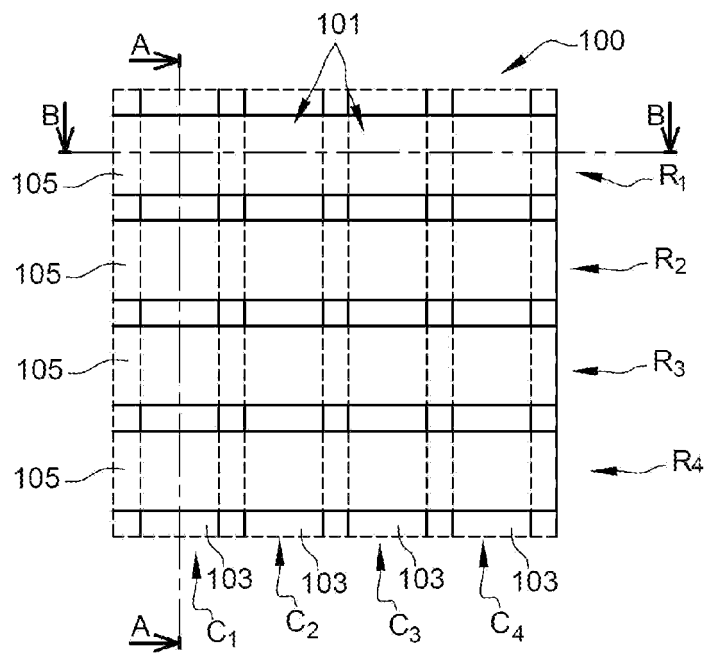
Procédé selon la revendication 1, dans lequel les portions de ligne comprennent toutes le même nombre entier N/n de transducteurs ultrasonores élémentaires.

- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le nombre M de lignes (R_i) de la matrice est égal au nombre N de colonnes (C_j) de la matrice.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le calcul des contributions individuelles (e_{ij}) des transducteurs élémentaires (101) de la matrice comprend une multiplication des grandeurs électriques variables (V_{RLi} , V_{RRi}) lues sur les électrodes de portion de ligne (R_{Li} , R_{Ri}) du dispositif lors des p phases de réception (RX1, ...RXp) par des coefficients d'une matrice, déterminés au préalable lors d'une phase de caractérisation ou de simulation et stockés dans une mémoire du dispositif électronique de traitement.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel, lors de chacune des p phases de réception (RX1, ...RXp), chaque électrode de colonne (C_j) de la matrice est maintenue à une tension de polarisation continue (V_{bias} , $-V_{bias}$), et dans lequel, entre deux phases de réception quelconques parmi les p phases de réception (RX1, ...RXp), on modifie le signe de la tension de polarisation continue (V_{bias} , $-V_{bias}$) appliquée sur au moins l'une des électrodes de colonne (C_j) du dispositif.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, dans lequel les signes des tensions de polarisation (V_{bias} , $-V_{bias}$) appliquées respectivement sur les électrodes de colonne (C_j) du dispositif lors des p phases de réception (RX1, ...RXN) sont codés par des vecteurs d'une matrice orthogonale, par exemple une matrice de Hadamard.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel les p tirs (TX1, ...TXp) successifs sont réalisés au moyen du dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne (100), et dans lequel, lors de chacun des p tirs (TX1, ...TXp), chaque électrode de colonne (C_j) de la matrice est maintenue à une tension de polarisation continue (V_{bias} , $-V_{bias}$), et une tension d'excitation alternative (V_{exc}) superposée à la tension de polarisation continue est appliquée sur ladite électrode de colonne (C_j), et dans lequel, lors de chaque tir, les signes des tensions de polarisation continues appliquées respectivement sur les électrodes de colonne (C_j) de la matrice sont les mêmes que les signes des tensions de polarisation continues appliquées respectivement sur les électrodes de colonne (C_j) lors de la phase de réception subséquente.
- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, dans lequel, à chaque tir, un même circuit d'émission applique simultanément une même tension de pola-

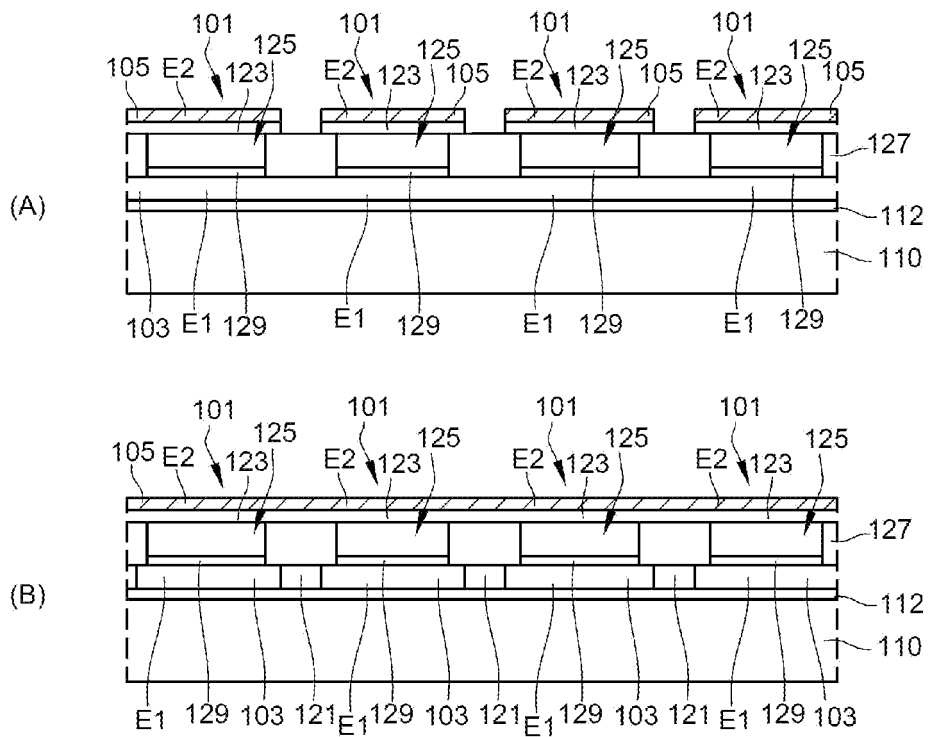
risation continue (V_{bias} , $-V_{bias}$), et une même tension d'excitation alternative (V_{exc}) sur les électrodes de colonne de n colonnes de la matrice.

- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les transducteurs ultrasonores (101) sont des transducteurs CMUT ou PMUT.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel n est égal à deux.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la grandeur électrique variable (V_{RLi} , V_{RRi}) lue sur chaque électrode de portion de ligne (R_{Li} , R_{Ri}) du dispositif est une tension.
- [Revendication 12] Dispositif d'imagerie ultrasonore matriciel à adressage ligne-colonne (100), le dispositif (100) comprenant une matrice de M lignes (R_i) par N colonnes (C_j) de transducteurs ultrasonores élémentaires (101), chaque ligne (R_i) étant divisée en n portions de lignes (R_{Li} , R_{Ri}), chaque portion de ligne comportant plusieurs transducteurs ultrasonores élémentaires, avec n entier supérieur ou égal à deux, dans lequel :
- les transducteur élémentaires d'une même portion de ligne sont connectés à une même électrode de portion de ligne ;
 - les transducteur élémentaires de portions de ligne distinctes sont connectés à des électrodes de portion de ligne distinctes ; et
 - les transducteurs élémentaires d'une même colonne sont connectés à une même électrode de colonne,
- le dispositif comportant en outre un circuit de commande configuré pour mettre en oeuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.
- [Revendication 13] Dispositif selon la revendication 12, comportant $M*n$ circuits de réception connectés respectivement aux $M*n$ électrodes de portion de ligne (R_{Li} , R_{Ri}) de la matrice de transducteurs ultrasonores élémentaires.
- [Revendication 14] Dispositif selon la revendication 12 ou 13, comportant un nombre entier s strictement inférieur à N de circuits d'émission, un même circuit d'émission pouvant être connecté simultanément à des électrodes de colonne de transducteurs élémentaires appartenant à des portions de ligne distinctes d'une même ligne de la matrice.
- [Revendication 15] Dispositif selon la revendication 14, dans lequel les portions de ligne comprennent toutes le même nombre entier N/n de transducteurs ultrasonores élémentaires, et dans lequel le nombre s de circuit d'émission est égal à N/n .

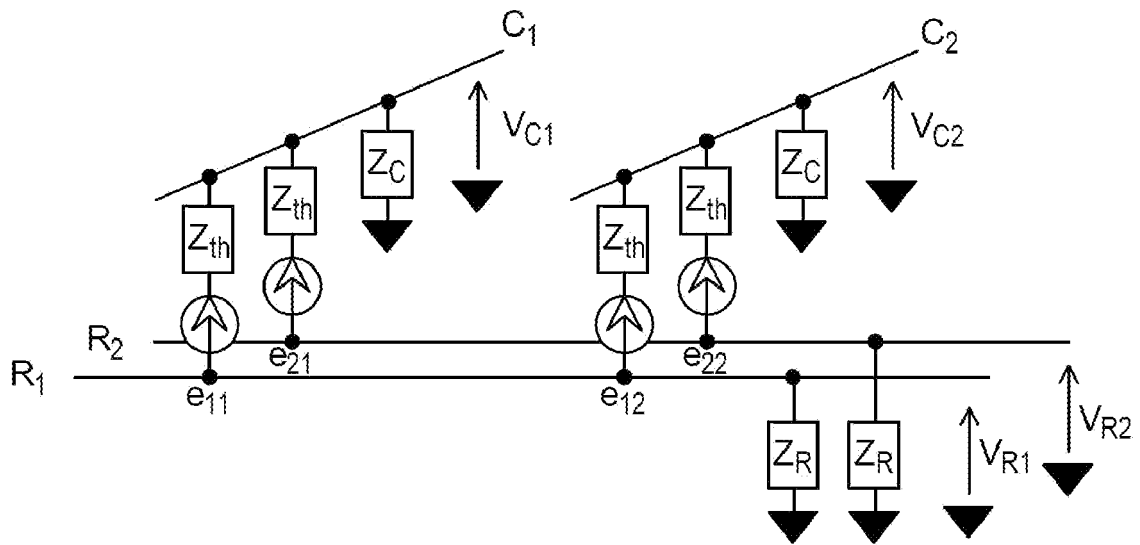
[Fig. 1]

**Fig. 1**

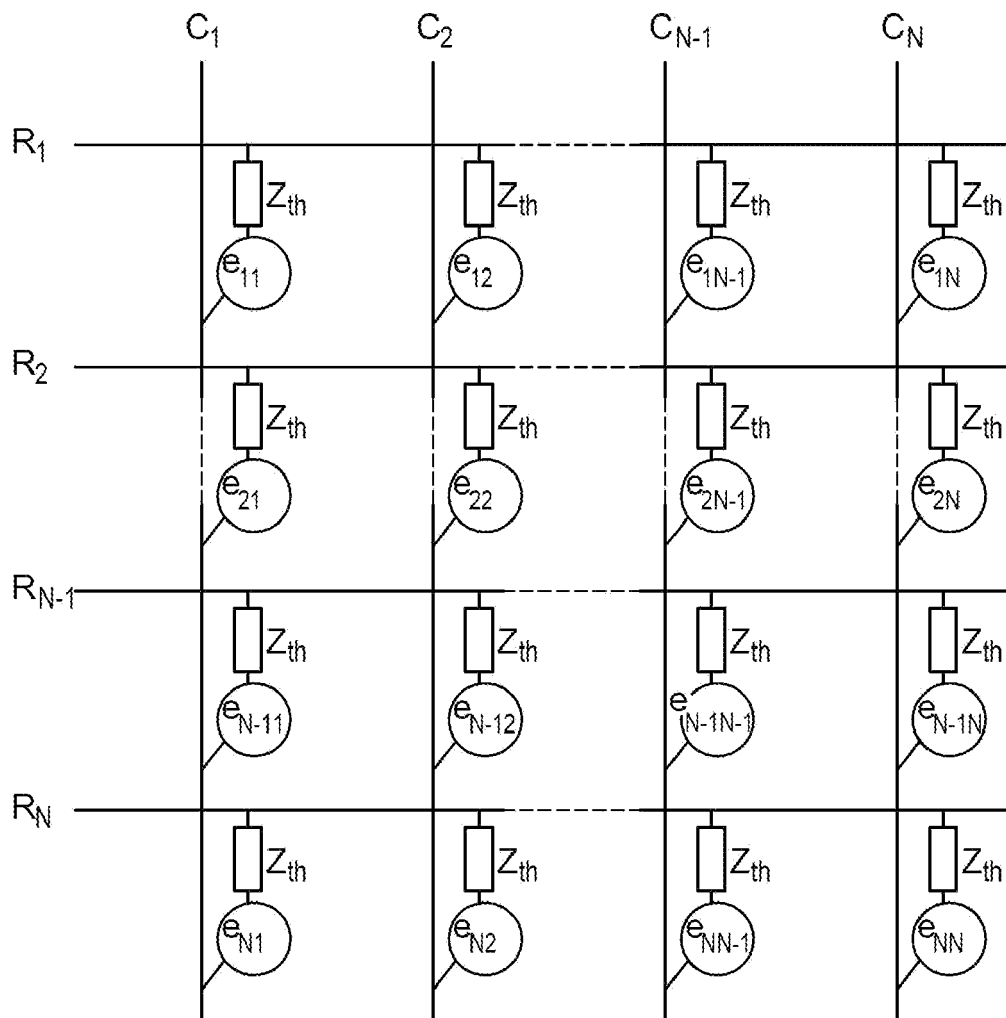
[Fig. 2]

Fig. 2

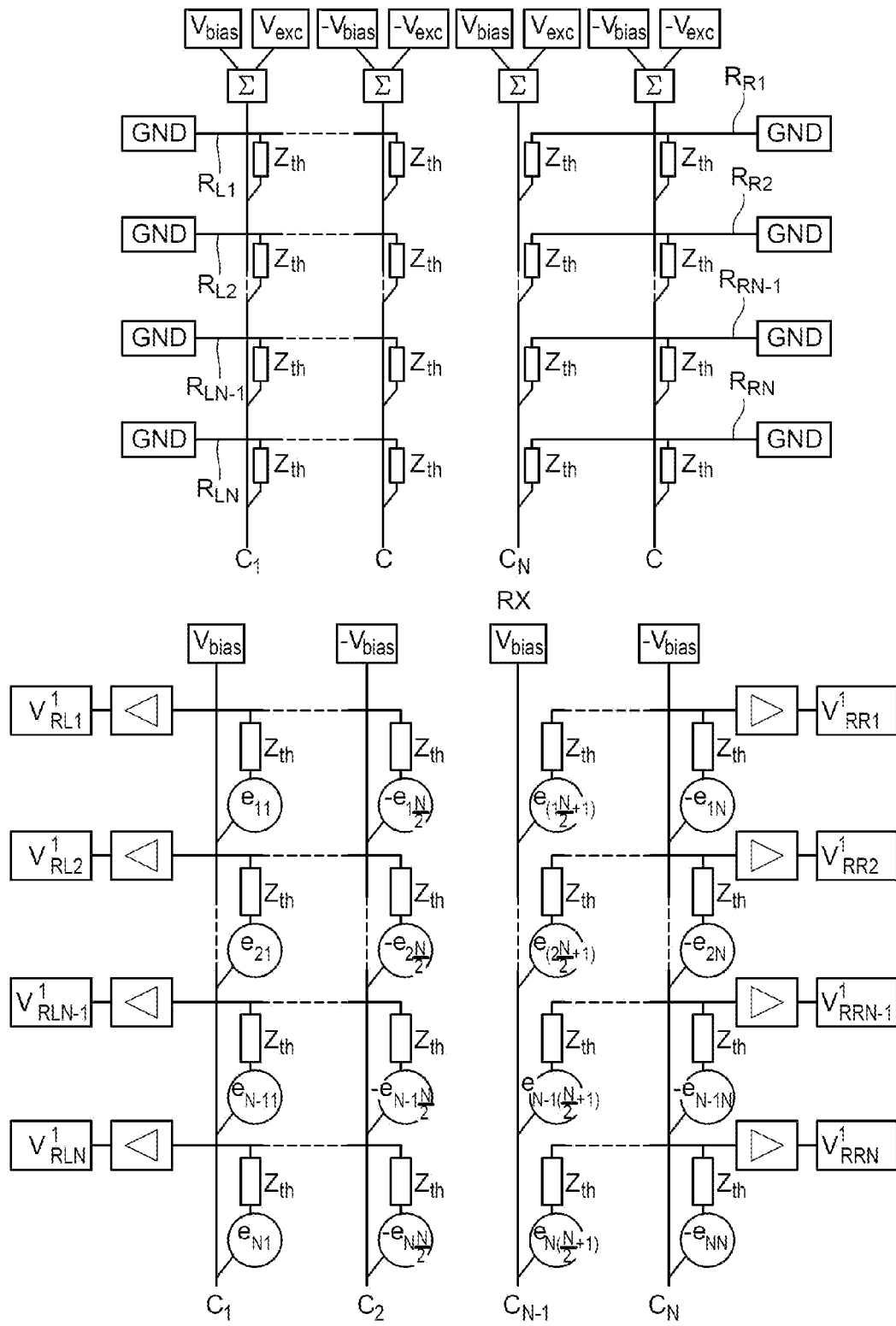
[Fig. 3]

Fig. 3

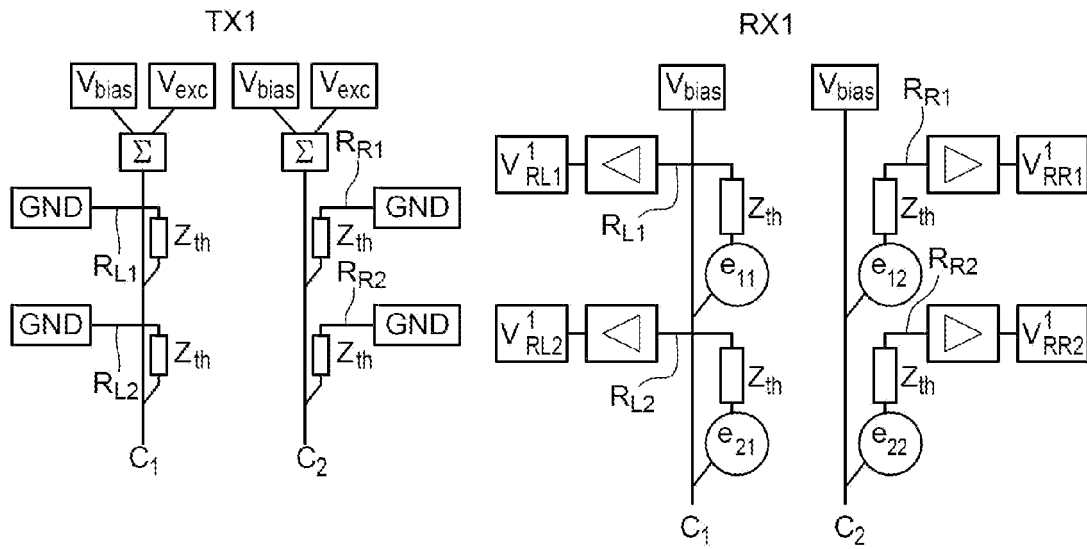
[Fig. 4]

Fig. 4

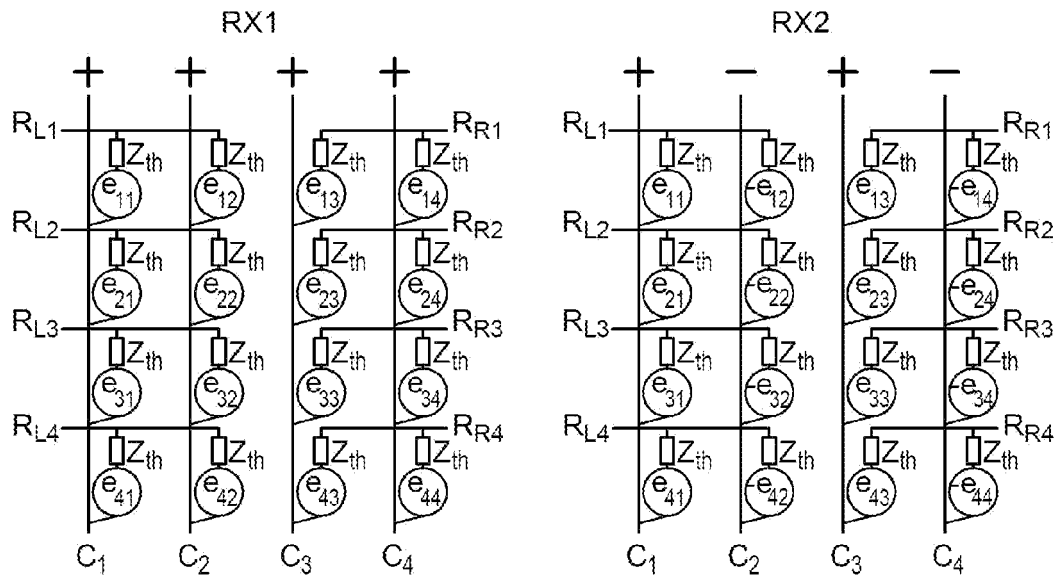
[Fig. 5]

**Fig. 5**

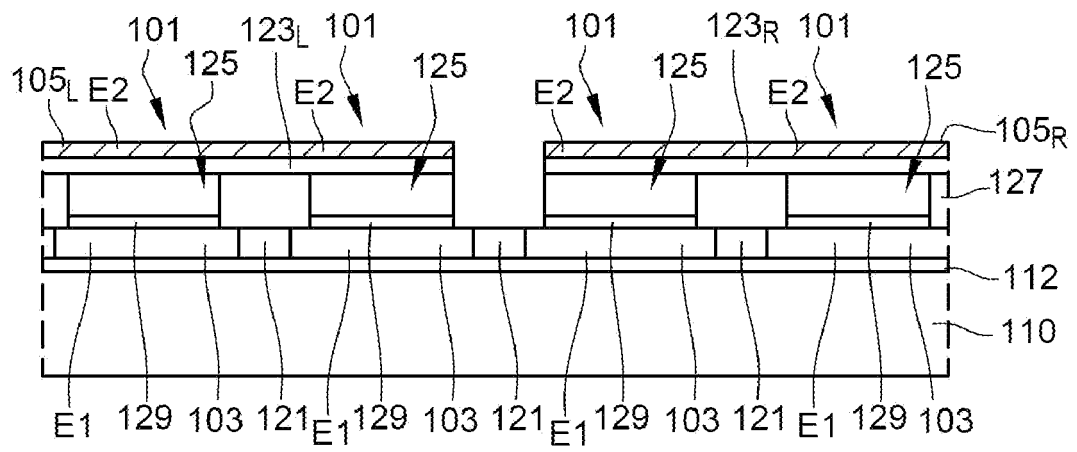
[Fig. 6]

Fig. 6

[Fig. 7]

Fig. 7

[Fig. 8]

Fig. 8

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 919682
FR 2305309

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	WO 2022/268512 A1 (MODULEUS [FR]) 29 décembre 2022 (2022-12-29) * revendication 1; figures 1-2 * -----	1-15	G01N 29/04 G01N 29/06 G01N 29/26
A	US 2005/203409 A1 (FREY GREGG W [US] ET AL) 15 septembre 2005 (2005-09-15) * revendications 1-3; figure 3 * -----	1-15	
A	EP 2 823 897 A2 (CANON KK [JP]) 14 janvier 2015 (2015-01-14) * revendications 1, 10; figure 2A * -----	1-15	
A	US 2014/301167 A1 (KANDORI ATSUSHI [JP]) 9 octobre 2014 (2014-10-09) * figure 1 * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S B06B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 novembre 2023		Pitzer, Hanna	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305309 FA 919682**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **29-11-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2022268512 A1	29-12-2022	FR 3124597 A1 WO 2022268512 A1	30-12-2022 29-12-2022

US 2005203409 A1	15-09-2005	AUCUN	

EP 2823897 A2	14-01-2015	CN 104281772 A EP 2823897 A2 JP 5855050 B2 JP 2015019224 A KR 20150007245 A US 2015016221 A1	14-01-2015 14-01-2015 09-02-2016 29-01-2015 20-01-2015 15-01-2015

US 2014301167 A1	09-10-2014	JP 5947511 B2 JP 2013058900 A US 2013064035 A1 US 2014301167 A1	06-07-2016 28-03-2013 14-03-2013 09-10-2014
