

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 mai 2010 (27.05.2010)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/057992 A1

PCT

- (51) Classification internationale des brevets : *B06B 1/02* (2006.01) *H04R 19/00* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2009/065582
- (22) Date de dépôt international : 20 novembre 2009 (20.11.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 08/57928 21 novembre 2008 (21.11.2008) FR
- (71) Déposants (*pour tous les États désignés sauf US*) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR). LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES [FR/FR]; 58 boulevard Lefevre, F-75732 Paris Cedex 15 (FR). ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES [FR/FR]; 6&8 avenue Blaise Pascal, Champs sur Marne, F-77455 Marne La Vallée Cedex 2 (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : LEBENTAL, Bérengère [FR/FR]; 9 rue du Colonel Denfert Rochereau, F-38000 Grenoble (FR). GHIS, Anne [FR/FR]; 37 rue du 4 janvier 1944, Le Mûrier, F-38400 Saint Martin d'Hères (FR).
- (74) Mandataires : ILGART, Jean-Christophe et al.; Brevaux, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : CMUT CELL CONSISTING OF A MEMBRANE OF NANOTUBES OR NANOWIRES OR NANOBEAMS

(54) Titre : CELLULE CMUT FORMEE D'UNE MEMBRANE DE NANO-TUBES OU DE NANO-FILS OU DE NANO-POUTRES

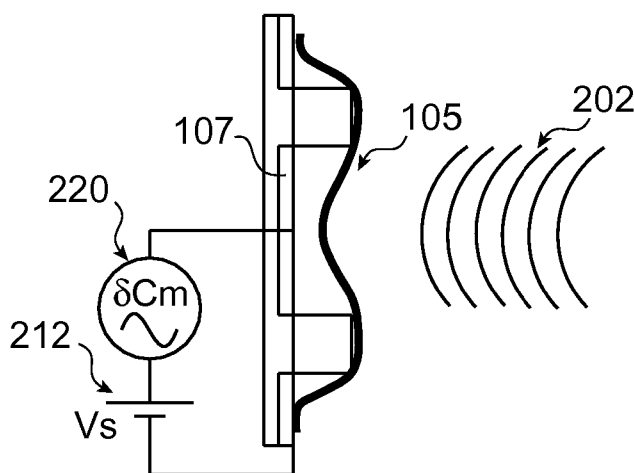


FIG. 2B

(57) Abstract : The invention relates to a capacitive electroacoustic CMUT transducer that includes at least one membrane (105, 205) capable of oscillation under the effect of an electric field and/or an acoustic wave, the membrane consisting of one or more layers (301-306) of juxtaposed nanotubes or nanowires or nanobeams, and to an acoustic imaging device of UHF sonar including such transducers.

(57) Abrégé : L'invention concerne un transducteur électro-acoustique capacitif de type cMUT comprenant : au moins une membrane (105, 205) prévue pour osciller sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'une onde acoustique, la membrane étant formée d'une ou plusieurs couches (301-306) de nanotubes ou de nano-fils ou de nano-poutres juxtaposés, ainsi qu'un dispositif d'imagerie acoustique ou un sonar UHF comportant de tels transducteurs.

WO 2010/057992 A1

TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

CELLULE CMUT FORMEE D'UNE MEMBRANE DE NANO-TUBES OU DE NANO-FILS OU DE NANO-POUTRES

5

DESCRIPTION**DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention concerne le domaine des transducteurs électro-acoustiques micro-usinés de type capacitif également appelés « cMUT », et propose un dispositif doté d'un ou plusieurs transducteurs cMUT comportant une membrane améliorée.

L'invention apporte des améliorations en particulier en termes de rigidité et d'épaisseur de la membrane, d'étendue de la gamme de fréquences de fonctionnement du dispositif, de bande passante.

Elle s'applique notamment au domaine de l'imagerie acoustique haute fréquence.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Les dispositifs de génération et de détection d'ondes acoustiques ultrasoniques peuvent comprendre des transducteurs ultrasoniques micro-usinés, c'est-à-dire des dispositifs capables de convertir une énergie acoustique en énergie électrique et inversement, et qui sont fabriqués selon les technologies de réalisation en couches minces des microsystèmes ou des micro-dispositifs.

On distingue plusieurs types de transducteurs :

- Les transducteurs pMUT (pMUT pour « piezoelectric MUT ») qui sont formés d'éléments piézoélectriques.

5 - Les transducteurs mMUT (mMUT pour « Magnetostrictive » MUT) dont le principe de fonctionnement repose sur la magnétostriction.

- Les transducteurs cMUT (capacitive MUT) qui utilisent la force électrostatique.

Pour générer des ondes acoustiques dans des milieux solides, les transducteurs ultrasoniques réalisés à partir de céramiques piézoélectriques (pMUTs) sont particulièrement bien adaptés, car leur impédance acoustique est généralement du même ordre de grandeur que celle des matériaux solides dans lesquelles les ondes sont générées. En revanche, l'emploi des transducteurs pMUTs dans des milieux fluides pose des problèmes de désadaptation d'impédance.

Pour palier à ce problème, des transducteurs à composites piézoélectriques peuvent être mis en œuvre. Dans ces transducteurs, on ajoute au matériau céramique piézoélectrique du transducteur des couches d'adaptation d'impédance, telles que des couches quart d'onde. Cela a pour inconvénient de rendre plus complexe la fabrication de tels transducteurs.

Une alternative aux transducteurs pMUTs, est l'utilisation des transducteurs cMUTs dont le fonctionnement est basé sur l'effet électrostatique.

30 De tels transducteurs peuvent être formés d'une membrane métallisée disposée au dessus d'une

plaque métallique jouant le rôle d'électrode, et peuvent être prévus pour émettre des ultrasons par exemple dans l'air ou dans l'eau.

Le fonctionnement de ces transducteurs repose sur une attraction électrostatique entre une membrane et une plaque métallique quand une tension est appliquée sur cette plaque. En mode de réception d'ondes, les vibrations de la membrane causées par les ondes acoustiques peuvent être mesurées par variation de capacité, ou par jauge de contraintes.

Un des intérêts principaux des cMUTs est leur faible impédance acoustique, ce qui les rend donc bien adaptés à un emploi en milieu fluide.

Les transducteurs ultrasoniques peuvent être agencés en une matrice pour former un dispositif d'imagerie acoustique, comme cela a été décrit par exemple dans le document EP 1 414 739 B1.

Les transducteurs cMUTs sont généralement formés d'une membrane à base de nitrure de silicium recouverte d'or et disposée en face arrière d'une plaque de silicium dopée.

Dans le document : *Surface Micromachined Capacitive Ultrasonic Transducers*, I. Ladabaum, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and frequency control, Vol 45 N°3, 1998, un exemple d'un tel transducteur cMUT est donné.

Dans le document : *A novel method for fabricating capacitive micromachined ultrasonic transducers with ultrathin membranes*, L.L. Liu, in 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Joint 50th Anniversary Conference,

p. 497, un exemple de réalisation d'un transducteur cMUT avec une membrane en alumine, est quant à lui donné.

La réalisation des transducteurs cMUTs par micro-usinage comprend généralement une étape de libération d'une membrane.

Une méthode consistant à structurer une couche sacrificielle avant de déposer la membrane par-dessus, créer des trous dans la membrane pour pouvoir enlever la couche sacrificielle, puis sceller les trous après libération de la membrane, est donnée par exemple dans le document US 2007/0161896 A1.

Une autre méthode consiste à déposer une membrane réalisée indépendamment sur un substrat structuré.

La réalisation de cMUTs de faible taille est donc difficile à mettre en œuvre dans la mesure où les procédés de dépôts existants ne permettent pas de réaliser des membranes de facteur de forme suffisamment élevé, les membranes étant généralement formées trop épaisses pour une surface trop petite.

Les procédés de libération ont par ailleurs tendance à fragiliser les membranes.

Par ailleurs, les transducteurs cMUT obtenus à l'aide de tels procédés ont une gamme de fréquences accessibles limitée, par exemple de 20 kHz à 10 MHz.

Un transducteur cMUT comportant des couches de matériaux réducteurs de contraintes, a été divulgué dans le document FR 2 880 232 (A1).

Le document US 2007/0215964 A1 divulgue quant à lui un transducteur cMUT avec une membrane comportant des structures secondaires qui permettent, entre autres, de faire varier la masse et la rigidité de la membrane de manière indépendante, ce qui conduit à une meilleure sensibilité du dispositif.

Un tel dispositif pose des problèmes en ce qui concerne la complexité de sa mise en œuvre, son coût de réalisation, son encombrement, les fréquences de fonctionnement auxquelles il permet d'accéder.

Dans le brevet US 2006/0116585 (A1) est proposé un dispositif formé d'un empilement de couches dans lequel l'émission et la réception sont découplés.

La bande passante et l'efficacité du transducteur sont augmentées par cette méthode. Un tel dispositif pose des problèmes notamment en termes de complexité de mise en œuvre, et de coût de réalisation.

Il se pose le problème de trouver un nouveau dispositif à transducteur cMUT qui apporte des améliorations par rapport aux inconvénients évoqués ci-dessus.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention met en œuvre une cellule de transducteur électro-acoustique capacitif de type cMUT comprenant une ou plusieurs membranes formées respectivement d'une couche ou de plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres.

Par « nano-fils » ou « nano-poutres », ou « nanotubes », on entend ici des éléments sous forme de barreaux, présentant une dimension critique ou un

diamètre (pour les nano-fils et nanotubes) qui peut être compris entre 0.5 nm et 5 µm.

Les nano-fils peuvent avoir une forme cylindrique ou sensiblement cylindrique, avec un profil
5 arrondi.

Les nano-poutres peuvent avoir une forme parallélépipédique ou sensiblement parallélépipédique.

Par « nanotubes », on entend des barreaux, présentant une partie centrale creuse, et de diamètre
10 qui peut être compris entre 0.5 nm et 5 µm.

La longueur des nano-fils ou des nano-poutres ou des nanotubes peut être comprise par exemple entre 50 nm et 1 mm.

L'invention prévoit ainsi un transducteur
15 électro-acoustique capacitif de type cMUT comprenant : au moins une membrane prévue pour osciller sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'une onde acoustique, la membrane étant formée d'une ou plusieurs couches formées de nanotubes juxtaposés, et/ou de nano-fils
20 et/ou de nano-poutres juxtaposé(e)s.

La membrane peut être formée d'au moins une couche de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres parallèles entre eux.

L'assemblage des nanotubes et/ou nano-fils
25 et/ou nano-poutres en membrane permet au transducteur de l'invention de bénéficier des performances des résonateurs NEMS pour réaliser la fonction d'actuation d'un transducteur ultrasonique tout en étant miniature et rigide. En d'autres termes, le transducteur selon
30 l'invention présente des dimensions petites et des fréquences de travail élevées.

Selon une possibilité de mise en œuvre, le dispositif peut comprendre une ou plusieurs membranes formée(s) chacune d'une ou plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres parallèles séparées d'une distance de l'ordre de la distance d'équilibre de l'interaction de van der Waals.

Cette membrane peut être disposée au dessus d'au moins une cavité et peut être prévue pour osciller sous l'effet d'un champ électrique lorsque le dispositif est en mode émission.

La membrane peut être prévue pour osciller sous l'effet d'une onde acoustique, lorsque le dispositif est en mode réception.

Un tel dispositif permet de générer et détecter des ondes hautes fréquences, en particulier dans un milieu fluide avec éventuellement un ou des gradients de propriétés physiques, et comportant éventuellement des inclusions solides, et éventuellement des frontières irrégulières.

Selon une possibilité, la membrane peut comporter une ou plusieurs couches dites « de liaison », accolées à des nanotubes et/ou à des nano-fils et/ou à des nano-poutres.

Selon une autre possibilité, la membrane peut être formée en outre : d'une ou plusieurs couches dites « de liaison », accolées à des nanotubes et/ou à des nano-fils et/ou à des nano-poutres.

De telles couches peuvent être prévues pour permettre de lier les nano-fils, nanotubes et/ou nano-poutres et/ou assurer une étanchéité de la membrane.

La couche de liaison ou les couches de liaison peuvent être à base d'un matériau choisi pour être plus déformable que la ou les couches de nanotubes et/ou nano-fils et/ou nano-poutres de la membrane.

5 La membrane peut comprendre :

- une ou plusieurs couches de nanotubes ou de nano-fils ou de nano-poutres d'une première taille, en particulier d'une première dimension critique,

10 - une ou plusieurs couches de nanotubes ou de nano-fils ou de nano-poutres d'une deuxième taille, différente de la première taille, en particulier d'une deuxième dimension critique différente de la première dimension critique.

Cela peut permettre par exemple d'augmenter
15 la bande passante, de moduler la fréquence de fonctionnement, de découpler les fréquences d'émission et de réception.

Selon une possibilité de mise en œuvre, la membrane peut être formée d'au moins une première
20 couche de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres orientés selon une première direction et d'au moins une deuxième couche de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres orientés selon une deuxième direction, orthogonale à la première direction.

25 Selon une mise en œuvre particulière, la membrane peut être formée d'une ou plusieurs couches de nanotubes, et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres.

Dans ce cas, selon une possibilité, la membrane peut comprendre au moins une couche de liaison
30 à base de graphène accolée à au moins une couche de nanotubes, et/ou de nano-poutres et/ou de nano-fils.

Le fait de recouvrir la membrane formée par la ou les couches de nanotubes, nano-fils, nano-poutres permet de garantir une imperméabilité de la membrane et une efficacité d'actuation sans perturber ses propriétés mécaniques.

Selon une autre possibilité, la membrane peut être formée d'une ou plusieurs couches de nanotubes, et/ou une couche de nano-poutres et/ou une couche de nano-fils, intercalée(s) entre au moins une première couche de graphène et au moins une deuxième couche de graphène.

Selon une mise en œuvre particulière, la membrane peut être formée d'un cœur autoportant constitué uniquement de nano-fils et/ou de nano-poutres et/ou de nanotubes.

Le transducteur électro-acoustique capacitif peut également comprendre: au moins une électrode d'actionnement et/ou de détection, et au moins une cavité au dessus de laquelle la membrane est destinée à osciller, la membrane étant située en regard de ladite cavité.

Le transducteur électro-acoustique capacitif peut comprendre en outre :

- des moyens pour appliquer un potentiel fixe à ladite électrode,
- des moyens pour appliquer un potentiel variable à ladite électrode.

Dans ce cas, le transducteur peut être prévu pour fonctionner en émetteur ou en émetteur/récepteur.

Le transducteur électro-acoustique capacitif peut comprendre :

- des moyens pour appliquer un potentiel fixe à ladite électrode,

5 - des moyens formant un capacimètre.

Dans ce cas, le transducteur peut être prévu pour fonctionner en récepteur ou en émetteur/récepteur.

Selon une possibilité de mise en œuvre, le
10 transducteur électro-acoustique capacitif peut comprendre en outre :

- au moins une première électrode, et au moins une première cavité au dessus de laquelle une membrane est destinée à osciller, la membrane étant
15 située en regard de ladite première cavité,

- au moins une deuxième électrode, et au moins une deuxième cavité dans laquelle une membrane en regard de ladite deuxième électrode et de ladite deuxième cavité est destinée à osciller.

20 Selon une possibilité de mise en œuvre la première cavité peut être par exemple destinée à former une partie émettrice du dispositif, tandis que la deuxième cavité peut être par exemple destinée à former la partie réceptrice du dispositif.

25 Selon une mise en œuvre possible du transducteur, une même membrane peut être située en regard de la première cavité et de la deuxième cavité.

Selon une possibilité de mise en œuvre, le transducteur peut comporter une pluralité de membranes
30 situées au dessus d'une même cavité.

Selon une possibilité de mise en œuvre, le transducteur peut comporter une membrane située au dessus de plusieurs cavités ou d'une matrice de cavités.

5 Le transducteur peut comporter plusieurs membranes superposées au dessus ou en regard d'une même cavité.

L'invention concerne également un dispositif d'imagerie acoustique ou sonar UHF
10 comprenant une matrice de transducteurs électro-acoustiques capacitifs de type cMUT tel que défini plus haut.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise
15 à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1A et 1B, illustrent, un
20 exemple de transducteur cMUT suivant l'invention, comprenant une membrane formée de nanotubes ou de nano-fils ou nano-poutres, selon une vue de dessus et selon une vue en coupe transversale,

- les figures 2A, 2B, 2C, 2D, 2E
25 illustrent des exemples de cellules cMUT fonctionnant respectivement, en émetteur, ou en récepteur ou en émetteur-récepteur suivant l'invention,

- la figure 3, illustre un exemple de
30 fonctionnement impulsif d'un dispositif transducteur cMUT suivant l'invention,

- la figure 4, illustre un exemple de fonctionnement en régime transitoire d'un dispositif transducteur cMUT suivant l'invention,

5 - la figure 5, illustre un exemple de fonctionnement en régime permanent d'un dispositif transducteur cMUT suivant l'invention,

- les figures 6A et 6B, illustrent une membrane formée d'un réseau de nanotubes dans un exemple de transducteur cMUT suivant l'invention, la membrane étant représentée respectivement selon une
10 vue de dessus et selon une vue en coupe transversale,

- les figures 7A et 7B, illustrent une membrane d'un transducteur cMUT suivant l'invention, la membrane étant formée d'un réseau de nanotubes de
15 densité importante, et représentée respectivement selon une vue de dessus et selon une vue en coupe transversale,

- les figures 8A à 8D, illustrent différents agencements de réseau(x) de nanotubes formant, ou compris dans, une membrane de dispositifs
20 à transducteur cMUT suivant l'invention,

- les figures 9A à 9F, illustrent différents agencements de réseau(x) de nano-fils, ou de nano-poutres ou de nanotubes dans une membrane
25 d'un transducteur cMUT suivant l'invention,

- les figures 10A et 10B illustrent une membrane d'un transducteur cMUT formée de plusieurs couches de nanotubes d'orientations différentes, selon vue de dessus et selon une vue en coupe
30 transversale,

- les figures 11A et 11B, donnent des exemples de courbes de fréquence de résonance de dispositifs cMUTs suivant l'invention comprenant une membrane formée de nanotubes de 1 μm de long et une
5 membrane formée de nanotubes et 1 nm de rayon, et obtenues respectivement à l'aide de simulations numériques pour une membrane dans l'air et dans l'eau,

- les figures 12A et 12B, donnent des
10 exemples de courbes de fréquence de résonance de dispositifs cMUTs suivant l'invention comprenant respectivement une membrane formée de nanotubes de 1 nm de rayon et une membrane de 1 TPa de module d'Young, et obtenues respectivement à l'aide de
15 mesures effectuées dans l'air et dans l'eau,

- la figure 13, illustre un exemple de dispositif transducteur cMUT suivant l'invention, comportant une cavité hermétique,

- la figure 14, illustre un exemple de
20 cavité de forme oblongue dans un dispositif transducteur cMUT suivant l'invention,

- la figure 15, illustre un exemple de
25 dispositif transducteur cMUT suivant l'invention, comportant plusieurs membranes en regard d'une même cavité,

- la figure 16, illustre un exemple de
dispositif transducteur cMUT suivant l'invention, comportant une membrane en regard de plusieurs
cavités,

- la figure 17, illustre un exemple de
30 dispositif transducteur cMUT suivant l'invention,

comportant plusieurs membranes superposées et ayant des orientations différentes.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un exemple de dispositif suivant l'invention, comprenant au moins une cellule de transducteur ultrasonique micro-usiné cMUT est donné sur les figures 1A et 1B (la figure 1A représentant une vue en coupe transversale X'X du dispositif tandis que sur la figure 1B, une vue de dessus du dispositif est donnée).

La cellule comporte au moins une électrode 107 qui peut être métallique, par exemple à base d'or, et qui repose sur un substrat 100 qui peut être par exemple à base de silicium ou d'oxyde de silicium et sur lequel repose des zones conductrices 103a, 103b, pouvant jouer le rôle de masse électrique.

La cellule comporte également au moins une membrane 105 (représentée en oscillation sur la figure 1A) dont les extrémités sont connectées aux zones 103a, 103b, afin de mettre la membrane 105 à la masse.

La membrane 105 peut être supportée par des blocs 104, par exemple à base de matériau isolant tel

que du SiO₂ sur lesquelles elle repose. Les blocs 104 permettent de maintenir la membrane 105 au dessus d'une cavité 110 dévoilant l'électrode 107 et dans laquelle la membrane 105 est destinée à vibrer.

5 La profondeur (définie dans une direction parallèle à celle du vecteur \vec{k} du repère orthogonal $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$ donné sur les figures 1A et 1B) de la cavité 110 peut être par exemple de l'ordre de 100 nm ou comprise par exemple entre 100 nm et 1000 nm.

10 La cavité 110 peut par exemple avoir une forme rectangulaire ou carrée, dont les dimensions latérales (définies dans une direction parallèle au plan $[0; \vec{i}; \vec{j}]$ donné sur les figures 1A et 1B) peuvent être de l'ordre de 1 μm , ou par exemple comprises entre
15 300 nm et 3 μm , et ajustées afin d'optimiser certains paramètres de fonctionnement du dispositif telles que la fréquence de fonctionnement, l'amplitude de vibrations de la membrane 105.

 La membrane 105 peut être formée de
20 nanotubes, par exemple des nanotubes de carbone, ou de nano-fils ou de nano-poutres, par exemple à base de matériau semi-conducteur tel que du Si, ou par exemple à base d'un matériau diélectrique tel que du Si₃N₄. Les nano-fils, ou nano-fils, ou nano-poutres, sont
25 agencé(e)s peuvent être agencés en une seule couche, ou plusieurs couches superposées.

 La membrane 105 peut être formée de rangées juxtaposées de nanotubes ou de nano-fils ou de nano-poutres alignés.

30 Les nanotubes ou nano-fils ou nano-poutres peuvent être parallèles entre eux, ce qui permet

d'obtenir des interactions latérales de type Van der Waals très fortes.

Une membrane formée de nano-fils ou de nanotubes alignés et parallèles peut avoir un module d'Young beaucoup plus élevé qu'une membrane classique formée d'une couche à base de matériau cristallin. De plus, grâce au faible diamètre de ces nanotubes, nano-fils et nano-poutres la membrane ainsi formée a une épaisseur, de l'ordre du nanomètre, plus petite que celle d'une membrane classique.

Les nano-fils ou nanotubes ou nano-poutres peuvent être répartis sur plusieurs couches ou épaisseurs.

En adaptant la dispersion des nanotubes autour de leurs propriétés moyennes, par exemple leur rayon moyen, on peut adapter la gamme de fréquences à laquelle la membrane est destinée à vibrer, et par la même la bande passante du dispositif.

Une telle membrane présente également pour avantage, outre sa rigidité accrue, que son épaisseur est contrôlable, à une fraction de nanomètre près.

Un caractère hydrophile ou hydrophobe peut être également conféré à la membrane. Cela est facilité notamment lorsque la membrane est à base de nanotubes de carbone.

En adaptant le type de nanotubes ou nano-fils ou nano-poutres utilisé on peut contrôler certains paramètres physiques de la membrane telles que sa masse volumique, sa raideur, son épaisseur.

La membrane peut comprendre un ou plusieurs feuillets ou couches dit(e)s « de liaison »

pour permettre de lier les nanotubes ou nano-fils ou nano-poutres et éventuellement d'assurer une étanchéité et/ou garantir une efficacité d'actuation de la membrane sans perturber ses propriétés mécaniques.

5 Dans le cas par exemple où la membrane 105 est formée d'une ou plusieurs couches de nanotubes juxtaposés, la ou les couche(s) « de liaison » peut (peuvent) par exemple être sous forme d'une ou plusieurs couches de graphène.

10 L'ajout d'une ou plusieurs couches de graphène aux nanotubes, peut permettre de renforcer la cohésion et l'étanchéité de la membrane, ce sans perturber les déplacements de la membrane, en raison du faible nombre de feuillets et du module d'Young de ces
15 couches beaucoup plus faible que celui des nanotubes.

 Une couche de liaison permettant un renfort d'étanchéité et de cohésion de la membrane, à base d'un autre matériau que le graphène peut être éventuellement prévue.

20 La couche de liaison (ou les couches de liaison) peut (peuvent) prévue(s) à base d'un matériau davantage déformable que lesdits nanotubes et/ou nano-fils et/ou nano-poutres de la membrane.

 Par exemple à module d'Young égal ou
25 sensiblement égal, la couche de liaison peut être prévue de manière à avoir un moment d'inertie au moins cinq fois plus faible que l'ensemble des les nanotubes et/ou desdits nano-fils et/ou desdits nano-poutres de la membrane. Selon une autre possibilité, à moment
30 d'inertie égal ou sensiblement égal, la couche de liaison peut être prévue de manière à avoir un module

d'Young au moins cinq fois plus faible que l'ensemble formé par les nanotubes et/ou desdits nano-fils et/ou desdits nano-poutres.

La membrane 105 peut être recouverte, dans
5 des régions entourant la cavité 110, de zones 112a, 112b métalliques, par exemple à base d'aluminium, reposant sur des parties de cette dernière. Le contact du matériau métallique des zones 112a, 112b, à la membrane peut être amélioré par exemple par oxydation,
10 par exemple par traitement RIE (RIE pour « reactive ion etching ») ou par fonctionnalisation des nanotubes, par exemple à l'aide de groupements COOH.

De telles zones métalliques 112a, 112b peuvent permettre d'assurer une fixation de la membrane
15 105 aux bords de la cavité 110 afin de limiter les pertes d'énergie et la diminution des fréquences de fonctionnement liées à un mauvais contact entre membrane et support.

Pour générer une onde, on applique une
20 tension de polarisation DC, ainsi qu'une tension AC sur l'électrode 107.

Pour effectuer une détection d'une onde incidente, on applique une tension de polarisation DC sur la membrane 105. Ce sont les mouvements d'un fluide
25 environnant qui font alors vibrer la membrane 105. Ces vibrations sont détectées par une mesure de capacité variable entre l'électrode 107 et la membrane 105.

On peut par exemple utiliser comme méthode de détection, une méthode telle que décrite dans
30 l'article : « *Measurement of Nano-displacement based on in-plane suspended gate MOSFET detection compatible*

with a front-end CMOS process » de E. Colinet et al. dans 2008 IEEE Int. solid-states circuits conf, session 18, MOS MEDLEY, 18.2.

5 Pour une tension alternative imposée, on peut détecter des variations de capacité au niveau de la membrane 105 émettrice pour déterminer les interférences entre une onde émise et une onde réfléchiée par un milieu cible.

Selon une variante de l'exemple de cellule
10 cMUT qui vient d'être décrit, on peut également mettre en œuvre un dispositif avec deux cavités très proches au dessus desquelles une seule membrane 105 est disposée, ou comportant une première cavité au-dessus de laquelle se trouve une première membrane, et une
15 deuxième cavité de laquelle se trouve une deuxième membrane, distincte de la première membrane. Dans ce cas, une première cavité peut être prévue pour réaliser la partie émettrice du dispositif, tandis qu'une deuxième cavité peut être prévue pour la partie
20 réceptrice.

Lorsque les deux cavités sont suffisamment proches, séparées par exemple d'une distance d telle que $d \ll \lambda$, l'onde incidente au niveau de la cavité réceptrice est identique à l'onde incidente au niveau
25 de la cavité émettrice, et plus facilement mesurable.

Sur les figures 2A-2E différents exemples d'agencements de cellules cMUTs et modes de fonctionnement de ces cellules sont donnés.

30 Sur la figure 2A, une cellule de transducteur cMUT du type de celle décrite précédemment en liaison avec les figures 1A et 1B, est donnée. Cette

cellule fonctionne en émetteur d'onde acoustique 200 et comporte une membrane 105 destinée à vibrer dans une cavité 110 en regard d'une électrode 107. Le dispositif est également doté de moyens 210 pour appliquer un potentiel variable V_a sur l'électrode 107, et de moyens 212 pour appliquer un potentiel fixe V_s sur la membrane 105.

Sur la figure 2B, une cellule cMUT du type de celle décrite précédemment en liaison avec les figures 2A et 2B, est également représentée. La cellule fonctionne en récepteur d'onde acoustique 202 et comporte une membrane 105, ainsi que des moyens 212 pour appliquer un potentiel fixe V_s sur l'électrode 107, et des moyens 220 formant un capacimètre, pour mesurer une variation de capacité δC_m représentative des ondes reçues par la membrane 105.

Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 2C. La cellule fonctionne en émetteur-récepteur et comporte une membrane 105 suspendue au dessus d'une première cavité 110 et d'une deuxième cavité 170. La première cavité 110 appartient à la partie émettrice de la cellule. La cellule comporte également des moyens 210 pour appliquer un potentiel variable V_a sur la membrane 105, et des moyens 212 pour appliquer un potentiel fixe V_s sur l'électrode 107. La deuxième cavité 170 appartient, quant à elle, à la partie réceptrice de la cellule. La cellule comporte également des moyens 212 pour appliquer un potentiel fixe V_s sur une deuxième électrode 207, et des moyens 220 pour mesurer une variation de capacité δC_m de la membrane 105, connectés à la deuxième électrode 207.

Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 2D. La cellule fonctionne en émetteur récepteur et comporte une membrane 105 et une seule cavité 110 pour jouer le rôle à la fois d'émetteur et de récepteur. La cellule comporte également des moyens 212 pour appliquer un potentiel fixe V_s sur une électrode 107, et des moyens 220 pour mesurer une variation de capacité δC_m de la membrane 105, connectés à l'électrode 107. Suite à l'émission d'ondes acoustiques 200, une mesure du temps de retour d'échos à l'émetteur permet de localiser une zone réfléchissante des ondes et l'analyse fréquentielle de ces échos permet d'identifier la nature des zones traversées par ces ondes.

Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 2E. La cellule fonctionne en émetteur récepteur et comporte deux membranes 105, 205 et deux cavités 110, 270, une première membrane 105 étant destinée à vibrer dans la première cavité 110, une deuxième membrane 205 étant destinée à vibrer dans la deuxième cavité 170, la deuxième membrane 205 étant distincte de la première membrane. Dans ce cas, la première cavité peut être prévue pour réaliser la partie émettrice du dispositif, tandis qu'une deuxième cavité peut être prévue pour la partie réceptrice.

Dans l'un ou l'autre des exemples qui viennent d'être donnés, la membrane ou les membranes sont formées d'une ou plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres, parallèles.

Les cellules peuvent être associées chacune à un ou plusieurs modules intégrés au même support :

par exemple au moins un module d'amplification, par exemple au moins un module mémoire, par exemple au moins un module de récupération d'énergie, par exemple des modules de transmission et de réception d'informations, par exemple au moins un module de traitement du signal adapté pour réaliser des opérations telles que, par exemple, des décompositions de fourrier, des comparaisons.

Ces modules peuvent éventuellement être placés à distance de la cellule, la connexion de la cellule à cette électronique à distance pouvant être faite par des technologies tels que le « wire-bonding » ou une intégration TSV (TSV pour « through silicon vias ») avec des vias traversants.

Une matrice d'émetteurs ou de récepteurs ou d'émetteurs/récepteurs tels que décrits précédemment et commandés de façon indépendante par un matricage actif à base de transistors peut être réalisé.

On peut former ainsi un dispositif d'imagerie de dimension micrométrique fonctionnant à ultra-haute fréquence par exemple entre 10 MHz et 10 GHz, en particulier entre 100 MHz et 200 MHz lorsque le dispositif est destiné à fonctionner dans un milieu liquide comme l'eau, ou par exemple entre 500 MHz et 5 GHz lorsque le dispositif est destiné à fonctionner dans l'air.

Sur les figures 3, 4, 5, différents modes de fonctionnement d'une cellule cMUT sont donnés.

Une cellule cMUT peut avoir en régime transitoire, un mode de fonctionnement impulsif

(figure 3) ou un mode de fonctionnement sinusoïdal (figure 4).

En mode impulsif (figure 3, à l'aide d'une impulsion de tension (signal S1) appliquée sur l'émetteur, l'émetteur peut émettre à son tour une onde acoustique sous forme d'impulsion (Signal S2) dont l'étalement temporel dépend de la bande passante de l'émetteur et du milieu environnant. L'impulsion S2 se propage dans le milieu et atteint le récepteur à la distance d au bout d'un temps T_1 ($T_1=d/c_{\text{fluide}}$, avec c_{fluide} la vitesse du son dans le milieu). L'analyse fréquentielle d'un signal S3 reçu et sa comparaison avec le signal S2 émis permet en une seule fois de déterminer la fonction de transfert du milieu pour les fréquences présentes dans le spectre de l'émetteur et du récepteur. L'impulsion S2 peut être partiellement réfléchiée par le milieu, ce qui peut se traduire au niveau du récepteur par des échos successifs. Le temps de retour des échos à l'émetteur permet de localiser la zone réfléchissante et leur analyse fréquentielle d'analyser la nature des interfaces traversées par l'impulsion S2.

En mode sinusoïdal (figure 4), l'onde émise peut être sous forme d'une onde sinusoïdale transitoire (signal S20), générée à l'aide d'une tension sinusoïdale (signal S10). Un signal émis entre $t = 0$ et $t = T_2$ est reçu (signal S30) par le récepteur à la distance d entre $t=T_1$ et $t=T_2+T_1$. Il s'agit d'une sinusoïde dont l'amplitude dépend de ω , la pulsation, en rad/s. On détermine la fonction de transfert du milieu à la fréquence w . Entre $t = 0$ et $t = T_3$, avec T_3

égal à plusieurs périodes, l'onde émise dépend de la région de l'espace située à moins de quelques longueurs d'onde de l'émetteur. Son amplitude d'émission entre $t = 0$ et $t = T3$ en fonction de la fréquence w permet de définir une impédance acoustique de champ proche, variable en fonction ω . Au niveau de l'émetteur, des sinusoides échos interfèrent avec l'onde émise. L'amplitude et le déphasage de ces échos permet de déduire la position et la nature des interfaces traversées par l'onde.

En régime permanent (figure 5), l'émetteur émet une onde (signal S200) d'amplitude A à la fréquence w , par exemple autour de 1 GHz dans l'air et par exemple de l'ordre de 100 MHz dans l'eau. L'onde généré à l'aide d'une tension S100 appliquée sur l'émetteur, se propage dans le milieu et interfère avec ses échos, occasionnant un comportement transitoire. Au bout d'un certain temps qui dépend du milieu et de la vitesse de propagation des ondes dans le milieu, l'onde atteint un régime permanent. Au niveau de l'émetteur et du récepteur situé à une distance d de l'émetteur, on mesure deux sinusoides (respectivement S200 et S300). Au niveau de l'émetteur (signal S200), l'amplitude et le déphasage de l'onde réfléchie (qui dépendent de la fréquence) correspondent à l'impédance acoustique globale du milieu environnant. Au niveau du récepteur (signal S300), il s'agit de la fonction de transfert du milieu traversé.

Différents exemples de réalisation d'une membrane d'un transducteur cMUT suivant l'invention, vont à présent être donnés.

La membrane 105 peut être formée d'un réseau de nanotubes parallèles et disjoints (le réseau étant représenté sur figures 6A et 6B, respectivement selon une vue en coupe transversale et selon une vue de
5 dessus).

La membrane 105 peut être formée d'un réseau dense de nanotubes juxtaposés et parallèles entre eux (le réseau étant représenté sur les figures 7A et 7B, respectivement selon une vue en coupe
10 transversale et selon une vue de dessus).

Une membrane dense peut être formée. La membrane est dite « dense » lorsqu'elle est imperméable aux molécules d'un fluide environnant le transducteur.

La limite de densité dépend du fluide
15 considéré et de son interaction avec les atomes de carbone formant la membrane.

La limite de densité peut être par exemple de sorte qu'un espace de l'ordre de 0,6 nm entre deux nanotubes parallèles peut être obtenu pour une membrane
20 105 de nanotubes de carbone d'un dispositif transducteur destiné à fonctionner dans l'eau.

La limite de densité peut dépendre aussi de caractéristiques physiques telles que les dimensions de nanotubes, leur caractère hydrophile ou hydrophobe,
25 l'énergie latérale d'interaction des nanotubes formant la membrane.

Des nanotubes répartis sur plusieurs couches, par exemple sur 3 couches, peuvent permettre de former la membrane 105 (figure 8A).

30 Selon une possibilité de mise en œuvre, la membrane du transducteur est formée d'un premier

ensemble de nanotubes d'une première taille, en particulier d'un premier diamètre, agencés en une ou plusieurs couches 301, 302, 303 superposées, ainsi que d'un deuxième ensemble de nanotubes d'une deuxième
5 taille, en particulier d'un deuxième diamètre, agencés en une ou plusieurs couches superposées 306, 307, 308, recouvrant le premier ensemble (figure 8B).

Sur la figure 8C, la membrane 105 est formée d'un empilement de couches 301, 302, 303, de
10 nanotubes accolés à une couche 320 dite « de liaison », par exemple à base de graphène, prévue pour lier les nanotubes et éventuellement assurer une étanchéité de la membrane. Plus particulièrement, la couche de liaison en graphène peut permettre de couvrir les
15 intervalles entre des nanotubes voisins de la couche de nanotubes qui la porte pour former une structure plane.

Un autre exemple de mise en œuvre de la membrane 105 est donné sur la figure 8D. Dans cet autre exemple, la membrane 105 est formée d'un empilement de
20 couches 301, 302, 303 de nanotubes situé entre un premier empilement 322 de plusieurs couches de liaison, par exemple à base de graphène, et un deuxième empilement 332 de plusieurs couches de liaison, par exemple à base de graphène.

25 Dans une couche de nanotubes alignés mais non jointifs, la densité de la membrane dépend de l'espacement entre les nanotubes. Si cet espacement est supérieur au diamètre d'un nanotube, un dépôt d'une ou plusieurs épaisseur(s) supplémentaire(s) de nanotubes
30 peut être prévu afin de combler d'éventuels espaces libres entre les nanotubes, et d'augmenter la densité

de la membrane. Les nanotubes supplémentaires sont susceptibles de se déposer naturellement dans les interstices entre les nanotubes.

L'épaisseur de la membrane dépend du nombre
5 de couches de nanotubes ou de couches de liaison formées et peut être contrôlé très précisément, indépendamment de la masse volumique et du module d'Young.

La dispersion des dimensions des nanotubes
10 autour d'une valeur moyenne est contrôlable et permet d'ajuster la bande passante de fréquences à laquelle la membrane est susceptible de vibrer.

Dans le cas où la membrane est formée d'un réseau de nanotubes, ce réseau peut être réalisé par
15 exemple à l'aide d'une méthode de Langmuir Blodgett, telle que décrite dans le document : *Langmuir Blodgett films of Single-Wall Carbon Nanotubes : Layer-by-layer deposition and in-plane orientation of nanotubes* Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003) pp. 7629-7634, ou par
20 diélectrophorèse comme dans le document intitulé : *Frequency Dependence of the structure and electrical behaviour of carbon nanotubes assembled by dielectrophoresis* *Nanotechnology* 16 (2005) 759-763.

Les feuillets de graphène peuvent être
25 réalisés selon la méthode décrite dans *Synthesis of graphene based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide* *Carbon* 45 (2007) 1558-1565.

Dans ce cas, le réseau de nanotubes peut être fabriqué par une méthode telle que celle décrite
30 dans le document : WO 2007/126412 A2. Les feuillets de

graphène peuvent être déposés par exemple par diélectrophorèse capillaire sur le réseau de nanotubes.

L'affinité naturelle entre nanotubes et feuillets de graphène permet la fixation de la feuille
5 de graphène sur les nanotubes. On peut également envisager un dépôt par diélectrophorèse ou une fonctionnalisation de surface d'un premier feuillet. Après retrait de la solution de feuillets de graphène, on peut déposer par diélectrophorèse sur le graphène un
10 réseau de nanotubes. Après rinçage de la solution de graphène, on recommence avec une solution de graphène mono-feuillet.

On peut obtenir ainsi une triple couche imperméable formée d'un réseau dense de nanotubes
15 intercalée entre deux feuillets de graphène.

Une structure comportant plusieurs couches de nanotubes peut être réalisée, à l'aide de plusieurs solutions de compositions différentes.

Une membrane dense peut être formée. La
20 membrane est dite « dense » lorsqu'elle est imperméable aux molécules d'un fluide environnant le transducteur. La limite de densité dépend donc du fluide considéré et de son interaction avec les atomes de carbone formant la membrane.

25 La limite inférieure de la distance entre les nanotubes peut être par exemple de l'ordre de 0,6 nm pour une membrane 105 de nanotubes d'un dispositif transducteur destiné à fonctionner dans l'eau.

La distance d'équilibre de nanotubes entre
30 eux étant de l'ordre de 0,35 nm, une membrane de

nanotubes liés entre eux par interaction de van der Waal est imperméable aux molécules d'eau.

Un exemple de procédé de réalisation d'un transducteur cMUT suivant l'invention va à présent être
5 donné.

Sur un substrat 100, on réalise l'électrode 107, ainsi que les zones 103a, 103b et les blocs isolants 104 formant la cavité 110 par exemple à l'aide d'étapes de lithographie, par exemple à l'aide d'un
10 faisceau d'électrons de type « e-beam ».

La couche, sur laquelle est formée la membrane 105, peut être fonctionnalisée par des groupements chimiques spécifiques, par exemple hydrophobes ou encore des groupements chimiques aminés,
15 afin d'augmenter l'affinité de cette couche aux nanotubes.

La membrane peut être réalisée directement suspendue au dessus de la cavité.

La membrane peut être réalisée sur un substrat ne comportant pas de cavité, la cavité étant
20 réalisée, par exemple par gravure HF, par exemple après formation de la membrane.

La membrane 105 peut également être disposée au dessus d'une cavité par report, par exemple
25 à l'aide d'un procédé communément appelé « nano-imprint » sur le substrat fonctionnalisé ou non.

On peut procéder à une prise de contact par-dessus la membrane par dépôt d'une couche métallique par-dessus la membrane 105, que l'on grave
30 pour former des zones métalliques 112a, 112b servant de zones de maintien de la membrane, et permettant

d'augmenter la solidité du collage entre membrane 105 et le support de la membrane.

Pour la réalisation d'une matrice de cellules cMUTs, une fonctionnalisation de la zone de dépôt peut être réalisée pour chacune des cellules. Cette méthode correspond aux méthodes d'autoassemblage par exemple telles que celles communément appelées « patterned affinity templates ».

La membrane 105 peut être formée avec des nanotubes parallèles entre eux orientés selon une même direction. L'alignement des nanotubes pour former la membrane présente plusieurs avantages par rapport à une membrane de nanotubes non alignés. L'alignement permet d'obtenir une forte densité de nanotubes pour une faible épaisseur de la membrane 105. En effet, une monocouche de nanotubes non alignés contiendrait du vide, que l'on devrait combler en ajoutant des couches supplémentaires de nanotubes, le nombre de couches supplémentaire nécessaires étant d'autant plus important que le désordre des nanotubes est important.

Une configuration avec des nanotubes parallèles, permet d'obtenir une membrane avec de meilleures propriétés mécaniques, en particulier une plus grande rigidité et une faible épaisseur.

L'énergie d'interaction entre deux nanotubes parallèles séparés d'une distance de l'ordre de la distance d'équilibre de l'interaction de van der Waals entre nanotubes est beaucoup plus forte que l'énergie d'interaction entre des nanotubes se croisant, ce qui permet d'obtenir une cohésion de la membrane améliorée.

Dans le cas où la membrane 105 est formée uniquement avec des nanotubes parallèles et suivant une même direction, le mouvement des nanotubes est plus homogène.

5 Une organisation des nanotubes en réseau de nanotubes parallèles permet d'obtenir un transducteur ayant une efficacité de détection améliorée.

Une membrane formée de nanotubes alignés permet d'augmenter la cohésion latérale de la membrane et son étanchéité sans diminuer la rigidité de la
10 membrane et donc sa fréquence de fonctionnement.

Grâce au module d'Young élevé des nanotubes, la membrane du transducteur formée de nanotubes, a une rigidité supérieure à celle des
15 membranes usuelles.

Une gamme élargie de fréquences d'utilisation, et en particulier des fréquences d'utilisation plus élevés, peu(ven)t être ainsi obtenue(s).

20 La dispersion contrôlable des propriétés des nanotubes autour d'une valeur moyenne permet un élargissement de la bande passante du dispositif favorable à sa mise en œuvre dans un transducteur électroacoustique.

25 Le nombre variable des parois des nanotubes permet d'augmenter la densité de la membrane pour un rayon de nanotubes constant et un module d'Young quasi constant.

L'épaisseur de la membrane dépend du nombre
30 de couches de nanotubes ou de couches de graphène utilisées et est donc contrôlable très précisément,

indépendamment de la masse volumique et du module d'Young.

La réalisation de couches successives de nanotubes de carbones de tailles différentes peut être
5 obtenue en changeant uniquement la solution utilisée pendant le dépôt.

La mise en œuvre d'un dispositif de transducteur suivant l'invention, à membrane de nanotubes de carbone, peut être obtenue sans avoir à
10 effectuer une étape de libération de membrane, ce qui diminue également le nombre d'étapes technologiques et permet une réduction d'échelle par rapport aux réalisations de transducteurs suivant l'art antérieur.

En raison de sa conception qui peut être dite « bottom-up » c'est-à-dire à partir d'assemblage
15 d'éléments de taille nanométrique pour former un dispositif final fonctionnel de dimensions plus importantes, la miniaturisation de la membrane est simplifiée : les éléments constitutifs de la membrane
20 sont structurellement de dimensions microniques ou nanométriques. En conséquence, les fréquences de résonance accessibles sont plus élevées que celles de dispositifs suivant l'art antérieur, en raison de la réduction des dimensions de la cavité et des propriétés
25 des matériaux.

Dans l'un ou l'autre des exemples de réalisation qui viennent d'être donnés, la membrane
30 a une épaisseur faible, comprise par exemple entre 1 nm et 30 nm selon le nombre de couches de nanotubes ou nano-fils employées.

Les exemples de membranes décrites précédemment en liaison avec les figures 7A-7B et 8A-8D comportent des nanotubes de carbone agencés sur une ou plusieurs couches.

5 La membrane peut être formée à base de nanotubes de matériau(x) autres que le carbone, par exemple de nanotubes conducteurs de l'électricité ou rendus conducteurs de l'électricité tels que des nanotubes de nitrure de bore, éventuellement rendus
10 conducteurs par exemple par dopage ou par fonctionnalisation.

Des nanotubes non métalliques peuvent éventuellement être rendus conducteurs par dopage ou métallisation ou fonctionnalisation.

15 Selon d'autres exemples, la ou les membranes du transducteur cMUT suivant l'invention peu(ven)t être éventuellement formé(es) de nano-poutres ou de nano-fils parallèles de forme cylindrique ou parallélépipédiques, éventuellement liés par une couche
20 de liaison.

La membrane d'un transducteur cMUT suivant l'invention peut être éventuellement formée d'un mélange de différents nanotubes, ou d'un mélange de différents nano-fils ou d'un mélange de nanotubes et de
25 nano-fils.

Sur la figure 9A, une membrane 105 de transducteur cMUT comporte un coeur constitué de nano-fils 401 parallèles, de forme cylindrique et recouverts par une couche 420 de liaison prévue pour lier les
30 nano-fils.

Les nano-fils, peuvent avoir été rendus conducteurs et peuvent être par exemple des nano-fils semi-conducteurs, par exemple à base de Silicium, éventuellement dopé.

5 La couche 420 de liaison prévue pour lier les nano-fils peut être par exemple à base de graphène.

Sur la figure 9B, une membrane 105 de transducteur cMUT est quant à elle formée de nano-poutres 501 parallèles entre eux et de forme
10 parallélépipédique, les nano-poutres étant recouverts par une couche 520 de liaison qui peut permettre de lier les nano-fils ou de renforcer la liaison entre les nano-fils. Les nano-poutres peuvent avoir été réalisés par exemple par une technique dite de « nano-imprint
15 lithography ».

Sur la figure 9C, une membrane 105 de transducteur cMUT est formée d'une couche de nanotubes 301 parallèles recouverts par une couche 420 de liaison
20 prévue pour permettre de lier les nano-fils ou de renforcer la liaison entre les nano-fils .

Sur la figure 9D, la membrane 105 comprend des rangées 402 parallèles de nano-fils 401 alignés recouverts par une couche 420 de liaison.

25 Sur la figure 9E, la membrane 105 comprend des rangées 502 parallèles de nano-poutres 501 alignés recouverts par une couche 520 de liaison.

Sur la figure 9F, la membrane 105 comprend des rangées 302 parallèles, de nanotubes 301 alignés recouverts par une couche 320 de liaison.

La membrane 105 peut être dotée d'un cœur autoportant et uniquement constitué de nano-fils et/ou de nano-poutres et/ou de nano-tubes.

Les nano-fils ou nano-poutres ou nanotubes sont, dans les exemples qui viennent d'être donnés, des barreaux de dimension critique d_c qui peut être comprise entre 0.5 nm et 5 μm (la dimension critique d_c étant la plus petite dimension de ces « nano-fils » ou « nano-poutres », ou « nano-poutres » hormis leur épaisseur et qui est définie dans une direction parallèle à celle du vecteur \vec{i} du repère orthogonal $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$ donné sur les figures 9A à 9F).

Dans les exemples qui viennent d'être donnés, les nano-fils ou nano-poutres, ou nanotubes ont une longueur L (la longueur L étant la définie dans une direction parallèle à celle du vecteur \vec{j} du repère orthogonal $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$ donné sur les figures 9A à 9F), qui peut être comprise entre 50 nm et 1 mm.

Des exemples de réalisation d'une cellule de transducteur cMUT comportant une ou plusieurs couches à base de graphène, pour lier et réaliser une étanchéité de réseaux de nanotubes, ont été donnés. D'autres matériaux peuvent être utilisés, pour former une telle couche ou de telles couches, par exemple du nitrure de bore.

La couche de liaison des nanotubes ou des nano-fils susceptible d'être mise en œuvre pour former une membrane de transducteur cMUT, peut être à base d'un matériau cristallin choisi pour être davantage déformable que les dits nanotubes et/ou nano-fils et/ou nano-poutres formant la membrane, ayant par exemple un

module d'Young égal ou sensiblement égal mais un moment d'inertie dix fois plus faible que celui des nanotubes et/ou nano-fils et/ou nano-poutres, ou ayant un module d'Young dix fois plus faible et un moment d'inertie
5 égal ou sensiblement égal à celui des nanotubes et/ou nano-fils et/ou nano-poutres.

Une telle couche de liaison peut être réalisée par exemple par une méthode ALD (ALD pour « atomic layer deposition »), qui permet de former des
10 couches de faible épaisseur, par exemple d'épaisseur comprise entre 5 Angströms et 5 nanomètres.

Un caractère hydrophile ou hydrophobe peut être conféré à la membrane, suivant l'application prévue pour le transducteur cMUT.

15 Une membrane de nanotubes de carbone peut être par exemple rendue hydrophobe ou hydrophile avec des nanotubes fonctionnalisés.

On peut traiter la membrane afin de la rendre hydrophile, par exemple à l'aide de groupements
20 COOH fonctionnalisés sur les nanotubes.

Selon une autre possibilité, on peut traiter la membrane afin de la rendre hydrophobe, par exemple par électropolymérisation.

On peut également réaliser directement une
25 membrane hydrophile ou hydrophobe, à partir de nanotubes ou nano-fils eux-mêmes préalablement conditionnés avant leur assemblage, par exemple par fonctionnalisation des nanotubes ou encore à l'aide d'un revêtement adapté (« coating » selon la
30 terminologie anglo-saxonne) formé sur les nanotubes.

La taille d'une cellule élémentaire de transducteur cMUT suivant l'invention, est favorable à son intégration dans une matrice pour former un dispositif miniaturisé d'imagerie acoustique ultra
5 haute fréquence ou un micro-sonar de très haute résolution.

Dans les exemples de transducteurs cMUT qui ont été donnés, la cavité a une forme rectangulaire.

Des cavités ayant d'autres formes :
10 circulaire, ou ovale, ou carré, peuvent être également envisagées.

Une membrane formée de plusieurs couches superposées de nanotubes ou de nano-fils d'orientation différentes entre les couches, peut être également
15 réalisée, en particulier dans le cas où la cavité a une forme carrée.

Sur les figures 10A et 10B un exemple de membrane 105 formée de couches 610, 620, 630, 640 superposées de nanotubes d'orientations différentes
20 entre les couches, est donnée (la figure 10A représentant une vue de dessus de la membrane 105, tandis que la figure 10B, donne une vue en coupe transversale de cette membrane 105).

La membrane comporte une alternance de
25 couches 610, 630 dont les nanotubes 601a sont orientés dans une première direction, parallèle à celle du vecteur \vec{i} d'un repère orthogonal $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$ donnée sur les figures 10A et 10B, et de couches 620, 640 dont les nanotubes 601b sont orientés dans une deuxième
30 direction, parallèle à celle du vecteur \vec{j} du repère

orthogonal $[0; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k}]$, orthogonale à la première direction.

Ces orientations différentes peuvent être obtenues par exemple par diélectrophorèse à partir de potentiels appliqués successivement sur plusieurs jeux de paires d'électrodes opposées.

Sur les figures 11A et 11B sont données, des exemples de courbes C1 et C2 de fréquence de résonance en fonction du module d'Young d'une membrane de transducteur suivant l'invention formée de nanotubes de carbone de 1 μm de long, et de 1 nanomètre de rayon. La courbe C1 est représentative de mesures effectuées dans l'air tandis que la courbe C2 est représentative de mesures effectuées dans l'eau.

Sur les figures 12A et 12B sont données, des exemples de courbes C3 et C4 de fréquence de résonance en fonction du module d'Young d'une membrane d'un transducteur suivant l'invention formée de nanotubes de carbone 1 nanomètre de rayon et de 1 TPa de module d'Young. La courbe C3 est représentative de mesures effectuées dans l'air tandis que la courbe C4 est représentative de mesures effectuées dans l'eau.

Différentes variantes peuvent être envisagées pour la fabrication d'un transducteur cMUT suivant l'invention.

Selon une première possibilité, on peut former la cavité 110 avant de former la membrane 105. Dans ce cas, la membrane 105 peut être ensuite réalisée directement sur le support 100 ou bien réalisée en dehors du support 100 peut être reportée sur le support 100.

Selon une deuxième possibilité, on peut former la membrane 105 en dehors du support 100 puis reporter la membrane 105 sur le support 100, et former ensuite la cavité 110.

5 Selon une troisième possibilité, on peut former la membrane 105 sur le support 100, puis former la cavité 110.

Un exemple d'agencement de cellule cMUT comportant une membrane 105, formée au dessus d'une
10 cavité 770 hermétique, est donné sur la figure 13. Dans cet exemple, la cavité 770 est fermée et délimitée par des parois 710a, 710b, 710c, 710d latérales qui peuvent être formées au moins partiellement par des blocs de support de la membrane 150, et par la membrane 150
15 elle-même et un support.

Un tel agencement peut permettre de coupler des modes de résonance, qui dépendent de la hauteur de la cavité, aux modes de la membrane.

Un tel agencement peut permettre
20 d'augmenter le facteur de qualité et/ou l'amplitude de vibration, en particulier dans la bande passante du dispositif.

La réalisation d'une cellule cMUT avec une ou plusieurs cavités qui ne sont pas totalement fermées
25 ou hermétiques, et en particulier qui comportent des ouvertures latérales, peut permettre une évacuation de fluide par ces ouvertures, et d'éviter un amortissement des déplacements de la membrane, en particulier pour des fréquences différentes des modes de résonance et
30 qui dépendent de la hauteur de la cavité.

Une cellule cMUT dotée d'une ou plusieurs cavités de forme oblongue, peut être prévue. Une cavité 710 de forme oblongue rectangulaire, avec une longueur D , de l'ordre de 2 à 1000 fois la largeur d est par exemple représentée sur la figure 14. Cela permet d'éviter des modes parasites transverses qui peuvent être liés à des effets de bord.

Un exemple de réalisation de cellule cMUT dotée de plusieurs électrodes, dont une électrode d'actionnement de la membrane et une électrode de lecture, a déjà été donné en liaison avec la figure 2C. Selon d'autres possibilités de réalisation, des cellules dotées de plusieurs électrodes d'actionnement et/ou de plusieurs électrodes de lecture indépendantes et disposées en regard chacune d'une ou plusieurs membranes, peuvent être prévues. Un agencement matriciel des électrodes, comportant plusieurs rangées d'électrodes, peut être également prévu. Avec un agencement comportant plusieurs électrodes disposées sous une même cavité, on peut obtenir une sensibilité spatiale en réception améliorée, éventuellement connaître des déplacements en différents points d'une membrane, éventuellement commander le déplacement de certaines portions de la membrane indépendamment.

Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 15. Ce dispositif comprend plusieurs membranes 205a, 205b, 205c, disposées au dessus d'une ou plusieurs cavités et en regard d'une ou plusieurs électrodes d'actionnement et/ou d'une ou plusieurs électrodes de mesure.

Cela peut permettre d'améliorer l'évacuation du fluide dans laquelle les membranes sont destinées à vibrer et de limiter l'amortissement dû à certains modes parasites. Un tel agencement peut
5 permettre d'améliorer l'évacuation du fluide en particulier lorsque la cavité ou les cavités sont fermées latéralement par de parois latérales qui empêchent une évacuation latérale du fluide.

Dans un cas, par exemple où, les membranes
10 205a, 205b, 205c, sont disposées respectivement au-dessus d'une première électrode, d'une deuxième électrode, et d'une troisième électrode, une émission et une réception par des membranes voisines peut être mise en œuvre.

15 Une émission d'ondes déphasées par des membranes voisines, peut être également mise en œuvre, ce qui permet d'obtenir une directivité et/ou une puissance émise.

Dans un cas, où, les membranes 205a, 205b,
20 205c, sont disposées respectivement au-dessus d'une première électrode de détection, d'une deuxième électrode de détection, et d'une troisième électrode de détection, une amélioration de la sensibilité spatiale de réception peut être obtenue.

25 Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 16. Ce dispositif comprend plusieurs cavités 710₁₁, 710₁₂, 710₁₃, 710₂₁, 710₂₂, 710₂₃, 710₃₁, 710₃₂, 710₃₃, agencées selon une matrice de plusieurs rangées de cavités au-dessus desquelles une membrane 150 est
30 destinée à vibrer.

Des cavités de tailles très faibles, par exemple de dimension critique ou de largeur d comprise entre 50 nm et 500 nm peuvent être mise en œuvre.

La mise en œuvre de cavités de faible
5 taille peut notamment permettre d'obtenir des fréquences de fonctionnement élevées, ainsi que de rendre la réalisation d'une membrane suspendue à base de nanotubes parallèles plus aisée.

Selon une variante, une cellule avec des
10 cavités de tailles différentes peut être mise en œuvre et permettre à un même dispositif d'émettre et/ou de recevoir selon des fréquences différentes.

Des exemples de cellules dotés de cavités de forme rectangulaire ont été donnés précédemment.
15 D'autres formes telles que des formes polygonales, ou de demi-sphère ou de sphère, peuvent être également prévues pour les cavités, notamment en fonction de la puissance et/ou de la directivité et/ou de l'amplitude et/ou de la fréquence d'émission, et/ou de la
20 sensibilité et/ou fréquence de la fréquence de réception et/ou bande passante de réception, que l'on souhaite obtenir.

Un autre exemple de cellule cMUT est donné sur la figure 17, et comprend plusieurs membranes 705a,
25 705b, 705c, 705d de nanotubes, et des électrodes 703₁, 703₂, 703₃, 703₄, 703₅, 703₆, 703₇, disposées sur un support et orientées selon des orientations différentes, par paires d'électrodes en vis à vis l'une de l'autre.

Une première membrane 705a est en contact
30 avec une première paire d'électrodes 703₁, 703₅ disposées face à face l'une à l'autre, tandis qu'une

deuxième membrane 705b est en contact avec une deuxième
paire d'électrodes 703₂, 703₆ disposées face à face,
qu'une troisième membrane 705c est en contact avec une
troisième paire d'électrodes 703₃, 703₇ disposées face à
5 face, qu'une quatrième membrane 705d est en contact
avec une quatrième paire d'électrodes 703₄, 703₈. Les
membranes 705a, 705b, 705c, 705d, ont ainsi des
orientations différentes entre elles.

Dans cet exemple, l'ensemble des électrodes
10 à un agencement formant un polygone, avec une ou
plusieurs cavités à l'intérieur du polygone, chaque
membrane de nanotubes étant disposée avec un angle
différent de celui des autres membranes.

Une telle disposition d'électrodes, par
15 paires, et ayant des orientations différentes entre
elle, peut être mise à profit pour former des membranes

En appliquant une tension adaptée sur une
première paire d'électrodes 703₁ et 703₅, situées en
regard l'une de l'autre, on peut favoriser le dépôt
20 d'une couche de nanotubes alignés et orientés selon une
première orientation déterminée par le champ électrique
entre les électrodes, afin de former la première
membrane 703a.

Puis, en appliquant une tension adaptée sur
25 une deuxième paire d'électrodes 703₂ et 703₆, situées en
regard l'une de l'autre, on peut favoriser le dépôt
d'une couche de nanotubes alignés et orientés selon une
deuxième orientation déterminée par le champ électrique
entre les électrodes 703₂ et 703₆, afin de former la
30 première membrane 703a. On procède ainsi de suite en
appliquant une tension entre les électrodes 703₃ et

703₇, pour former la troisième membrane 703c, puis en appliquant une tension entre les électrodes 703₄ et 703₈, pour former la quatrième membrane 703d.

REVENDICATIONS

1. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT comprenant : au moins une membrane (105, 205a, 205b, 705a, 705b, 705c, 705d) prévue pour osciller sous l'effet d'un champ électrique et/ou d'une onde acoustique, la membrane étant formée d'une ou plusieurs couches (301-306) de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres.

10

2. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon la revendication 1, dans lequel la membrane (105, 205, 305, 405, 505, 605) est formée d'au moins une couche, de nanotubes parallèles et/ou de nano-fils parallèles et/ou de nano-poutres parallèles.

15

3. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon la revendication 2, dans lequel la membrane (105, 205, 305, 405, 505, 605) est formée de rangées parallèles de nanotubes alignés et/ou de nano-fils alignés et/ou de nano-poutres alignés.

20

4. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la membrane est formée d'une ou plusieurs couches (301-306) de nanotubes et/ou nanofils et/ou nanopoutres, parallèles séparé(e)s d'une distance de l'ordre de la distance d'équilibre de l'interaction de van der Waals.

25

30

5. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 4, la membrane étant formée en outre : d'au moins une couche (322, 332, 420, 520) dite « de liaison », accolée aux
5 nanotubes et/ou aux nano-fils et/ou nano-poutres.

6. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon la revendication 5, la couche de liaison étant davantage déformable que l'ensemble desdits
10 nanotubes et/ou desdits nano-fils et/ou des dites nano-poutres de la membrane.

7. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 6, la membrane
15 ayant un cœur uniquement constitué de nanotubes et/ou aux nano-fils et/ou nano-poutres.

8. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 7, la membrane
20 (305) comprenant :

- une ou plusieurs couches (301, 302, 303) de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres d'une première dimension critique,
- une ou plusieurs couches (306, 307, 308)
25 de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou nano-poutres d'une deuxième dimension critique, différente de ladite première dimension critique.

9. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel
30 la membrane est formée d'au moins une première couche

(610) de nanotubes (601a) et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres orienté(e)s selon une première direction et d'au moins une deuxième couche de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres orienté(e)s selon une deuxième direction, orthogonale à la première direction.

10. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant en outre : au moins une cavité (110, 170) au-dessus de laquelle au moins une membrane est destinée à osciller.

11. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon la revendication 10, comprenant au moins une membrane, formée d'une ou plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres, et situées au dessus de plusieurs cavités.

12. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 10 ou 11, comportant une pluralité de membranes (205a, 205b, 205c) formées chacune d'une ou plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres, les membranes étant situées au-dessus d'une même cavité (710).

13. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 9 à 12, dans lequel une membrane (150) est située au-dessus de plusieurs cavités ou d'une matrice de cavités (710₁₁, 710₁₂, 710₁₃, 710₂₁, 710₂₂, 710₂₃, 710₃₁, 710₃₂, 710₃₃).

14. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 13, comportant plusieurs membranes superposées (705a, 705b, 705c, 705d), formées chacune d'une ou plusieurs couches de nanotubes et/ou de nano-fils et/ou de nano-poutres, les membranes ayant des orientations différentes.

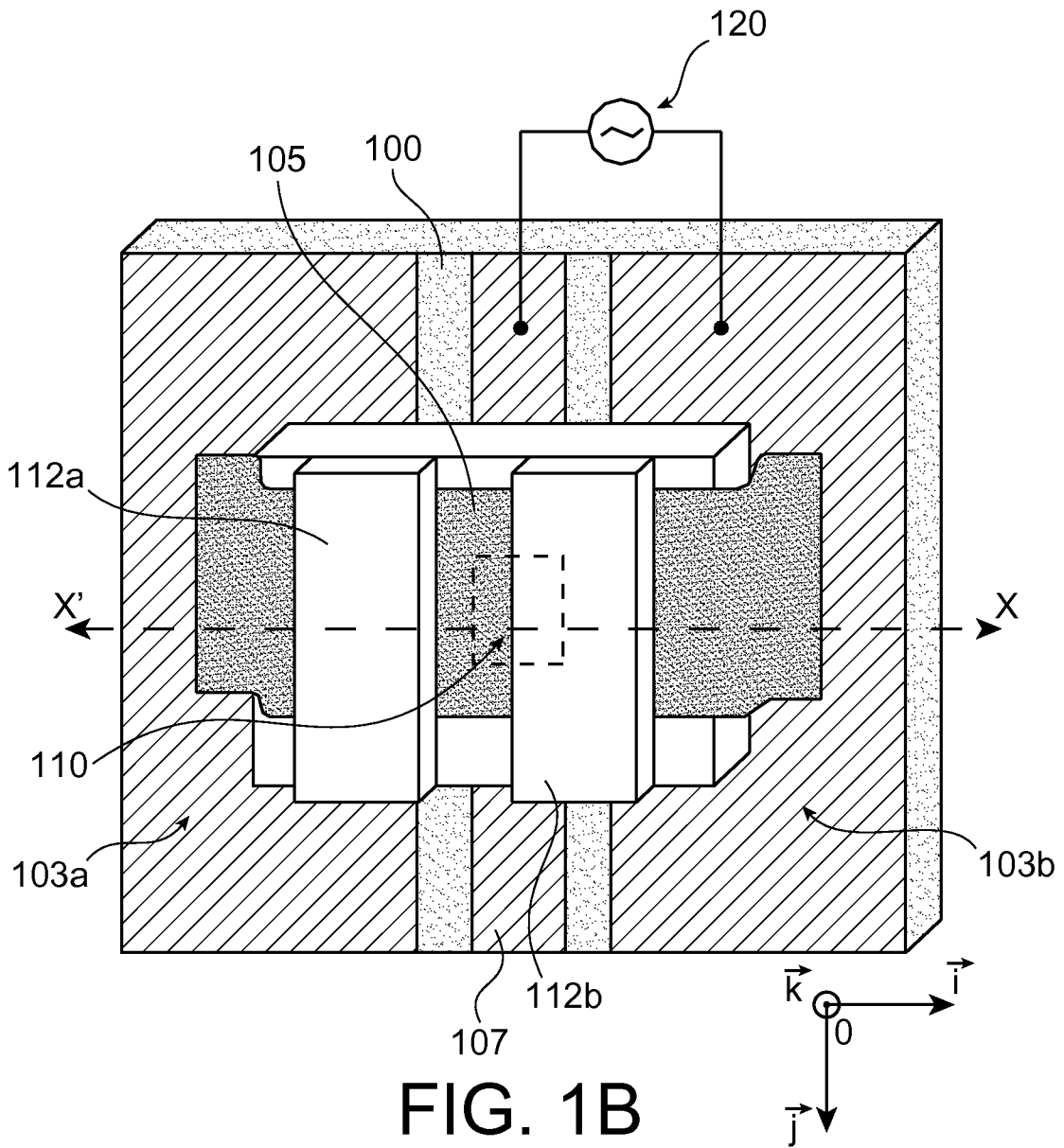
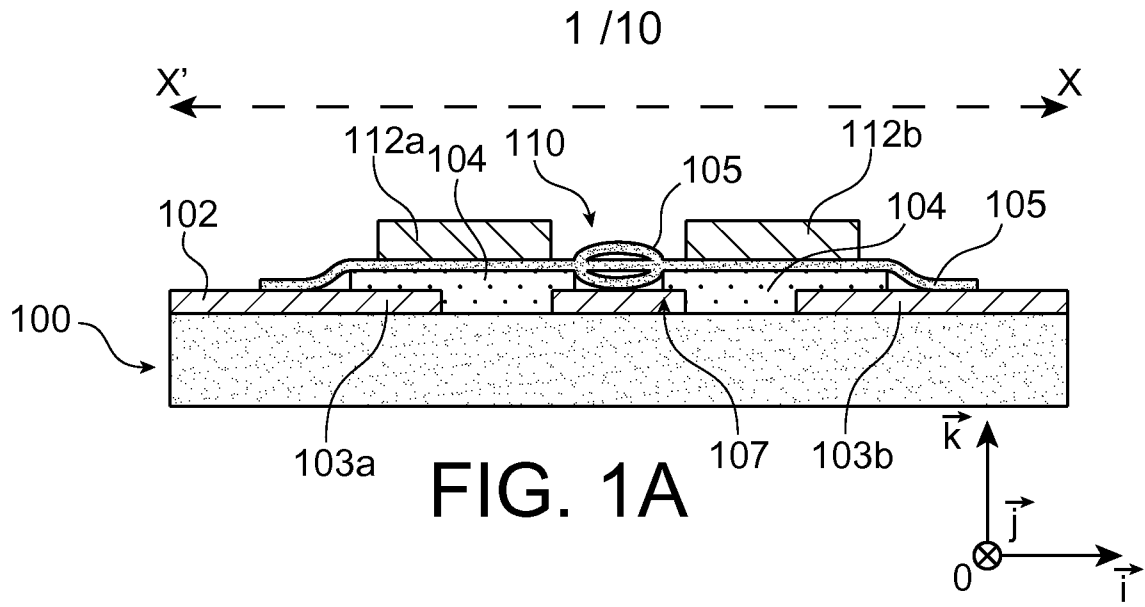
15. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 10 à 14, une ou plusieurs des dites cavités étant fermées.

16. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon l'une des revendications 1 à 15, comprenant en outre : au moins une électrode (107, 207) d'actionnement de la membrane et/ou au moins une électrode (107, 207) de détection.

17. Transducteur électro-acoustique capacitif cMUT selon la revendication 16, comprenant en outre :

- des moyens (210) pour appliquer un potentiel fixe à ladite électrode,
- et/ou des moyens (212) pour appliquer un potentiel variable à ladite électrode,
- et/ou des moyens (220) pour formant un capacimètre.

18. Dispositif d'imagerie acoustique ou sonar UHF comprenant une matrice de transducteurs électro-acoustiques capacitifs cMUT selon l'une des revendications 1 à 17.



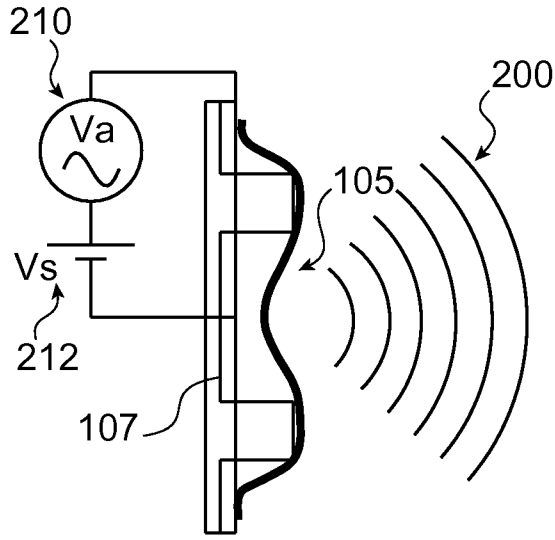


FIG. 2A

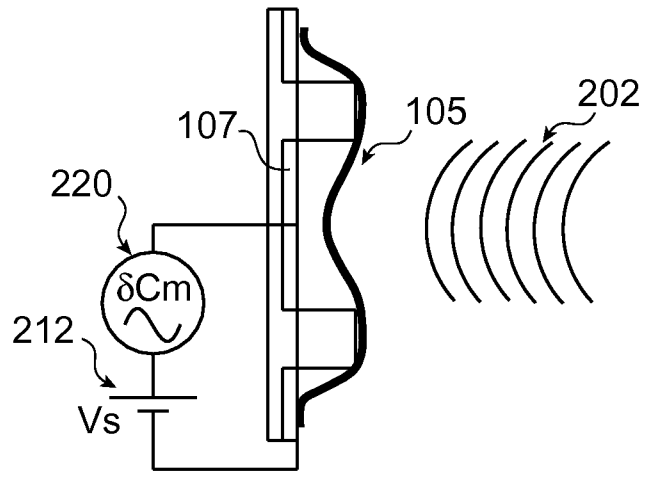


FIG. 2B

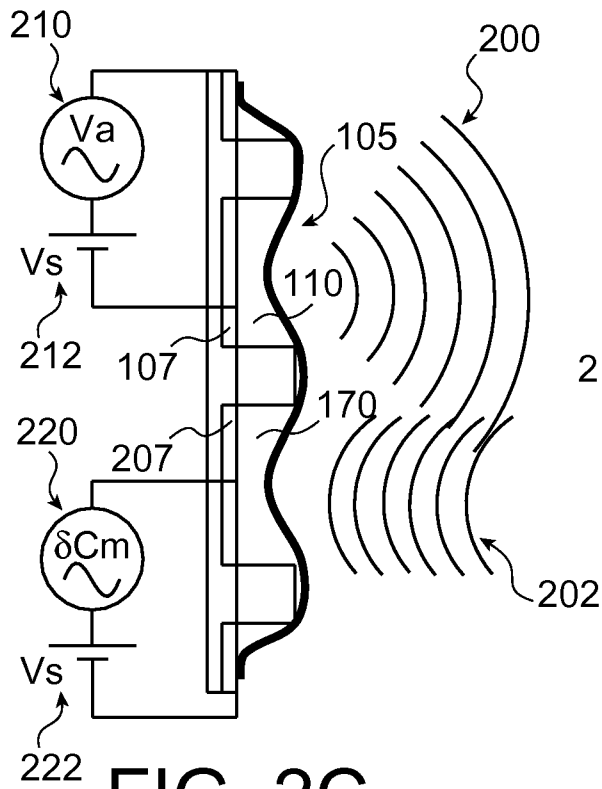


FIG. 2C

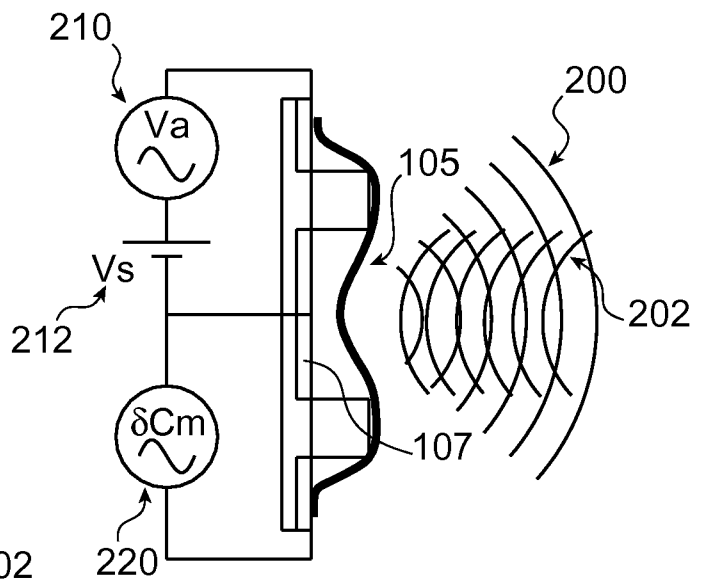


FIG. 2D

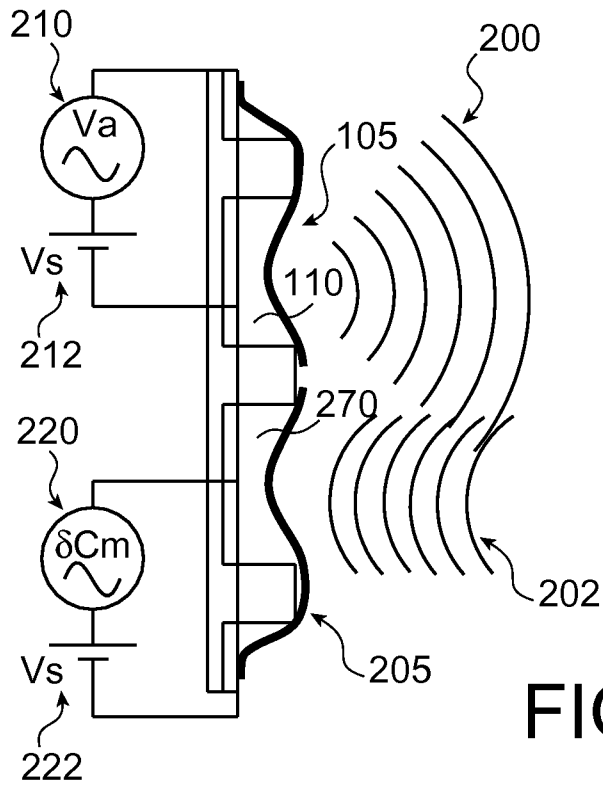


FIG. 2E

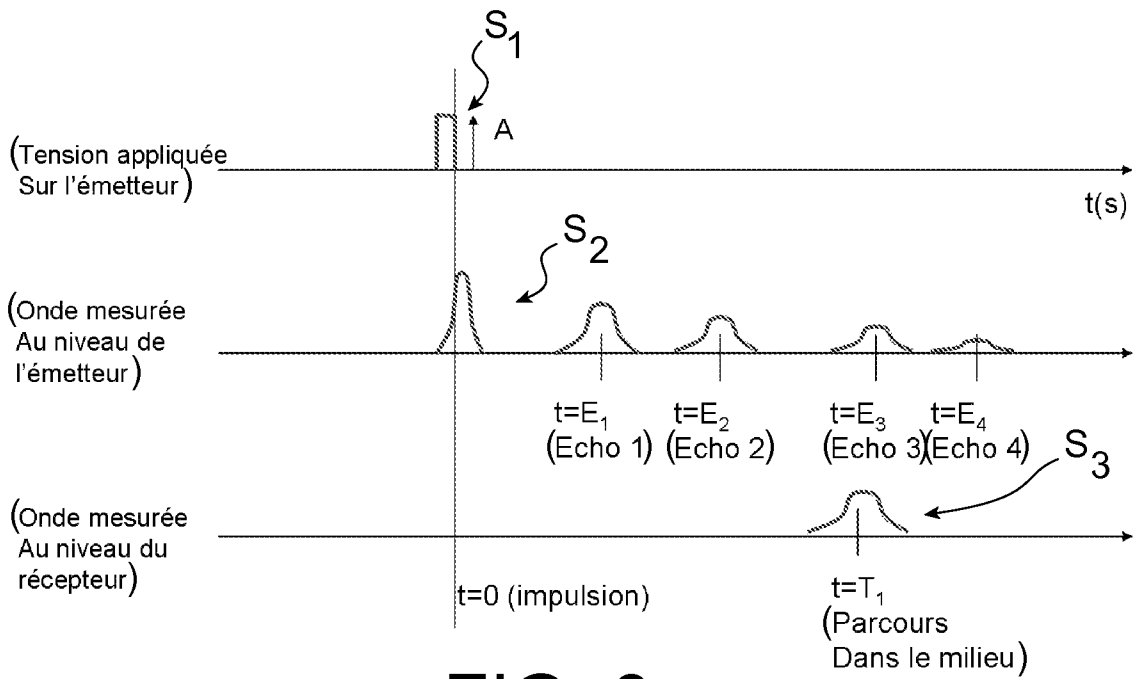


FIG. 3

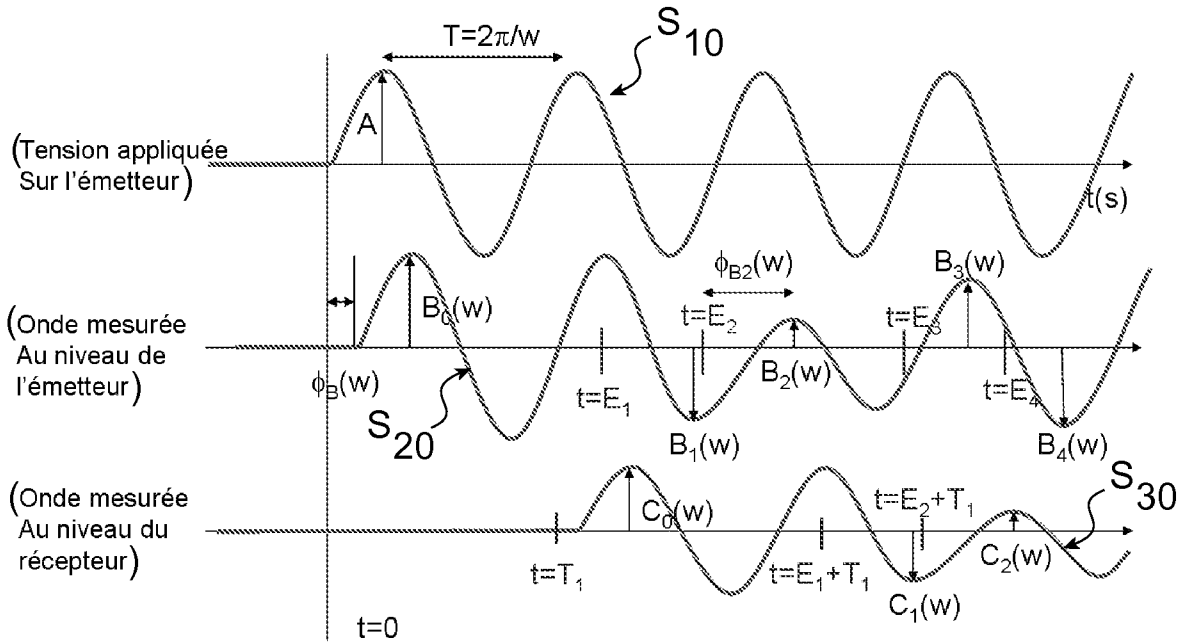


FIG. 4

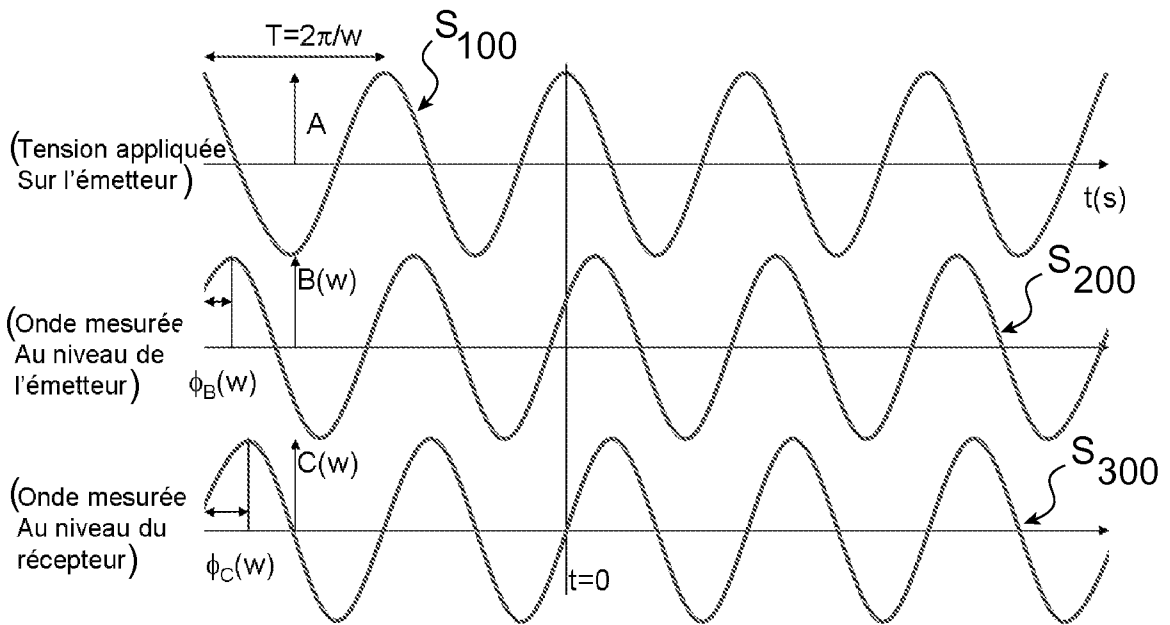


FIG. 5

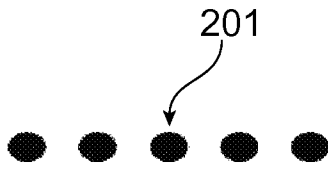


FIG. 6A

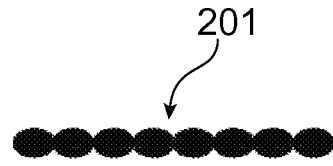


FIG. 7A

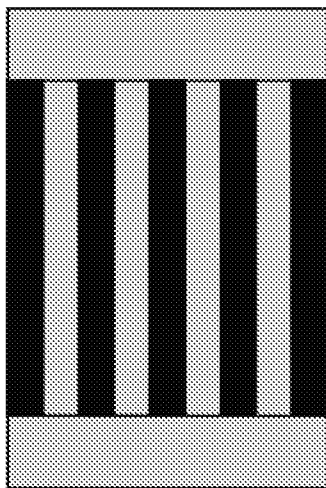


FIG. 6B

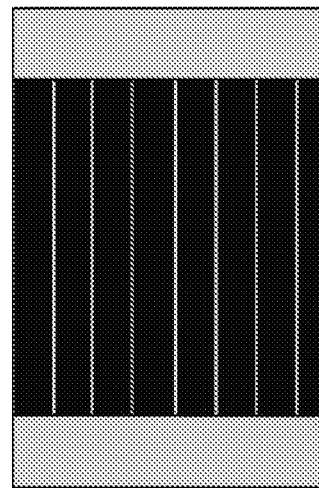


FIG. 7B

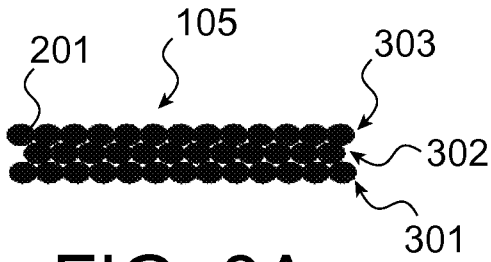


FIG. 8A

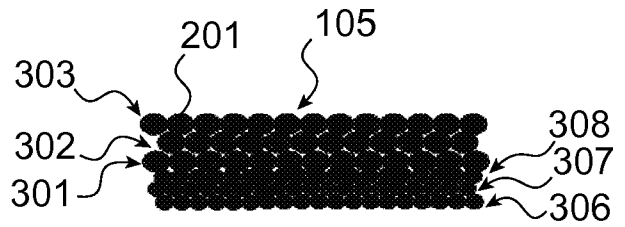


FIG. 8B

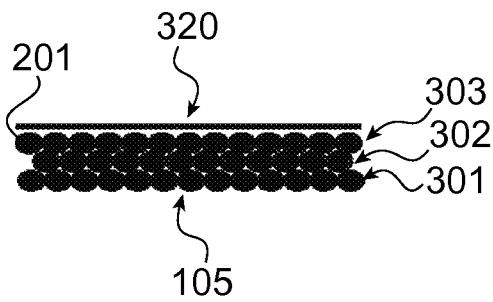


FIG. 8C

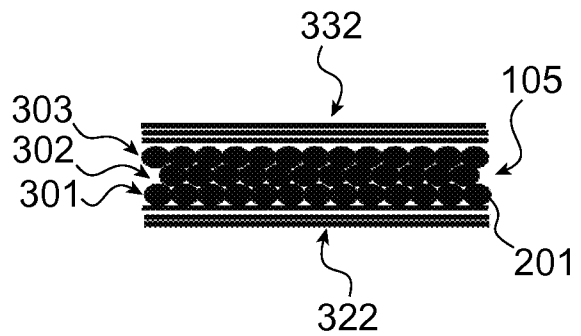


FIG. 8D

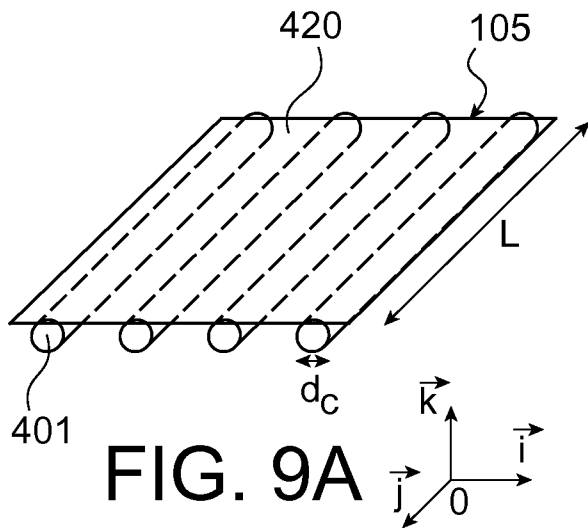


FIG. 9A

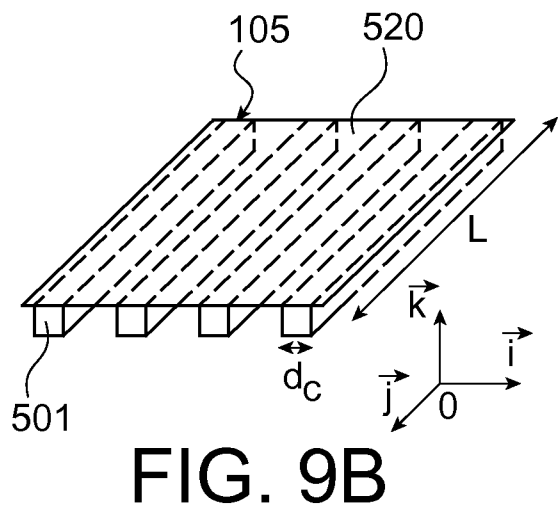
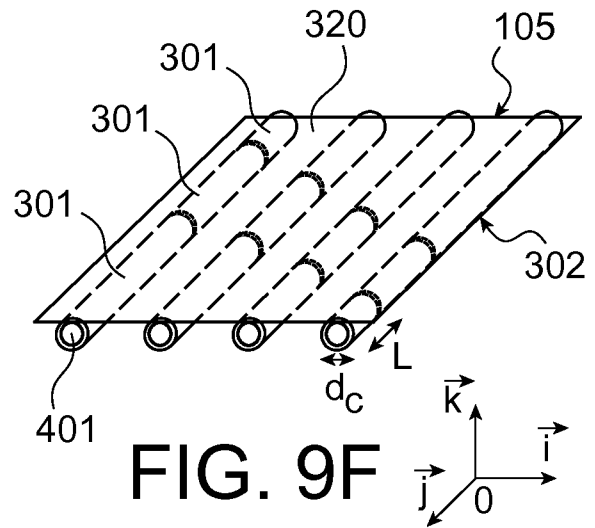
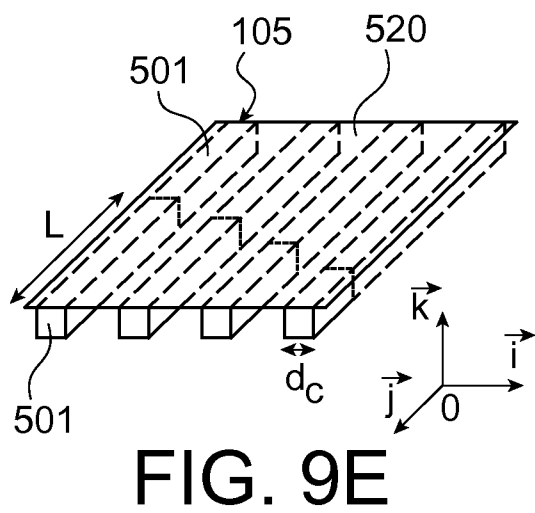
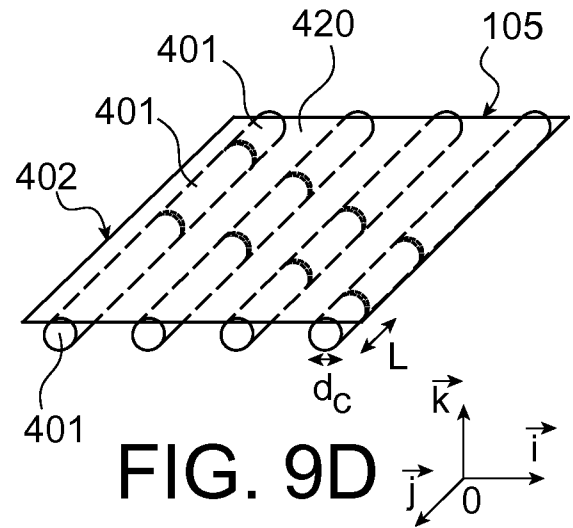
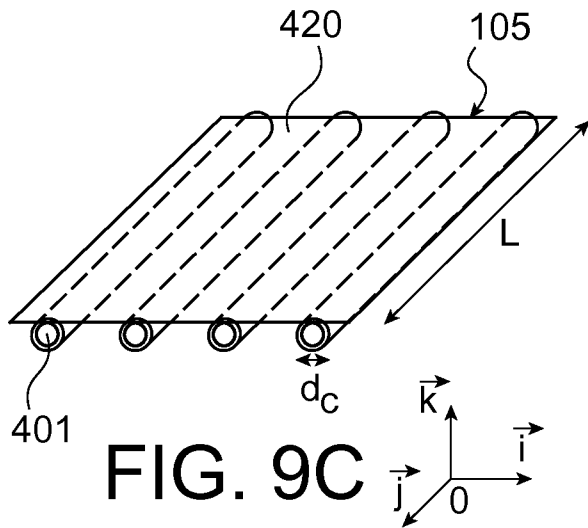


FIG. 9B



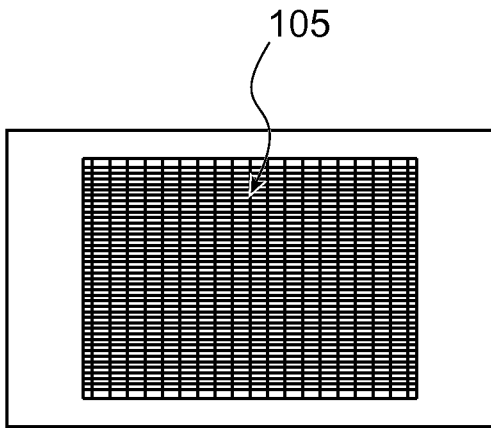


FIG. 10A

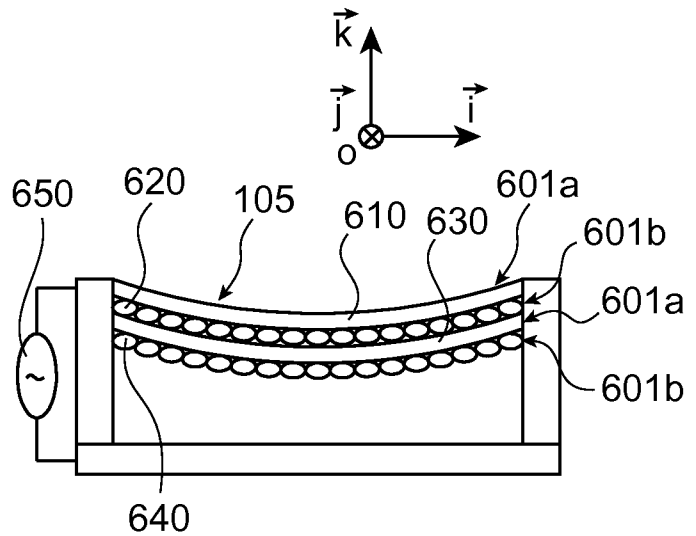


FIG. 10B

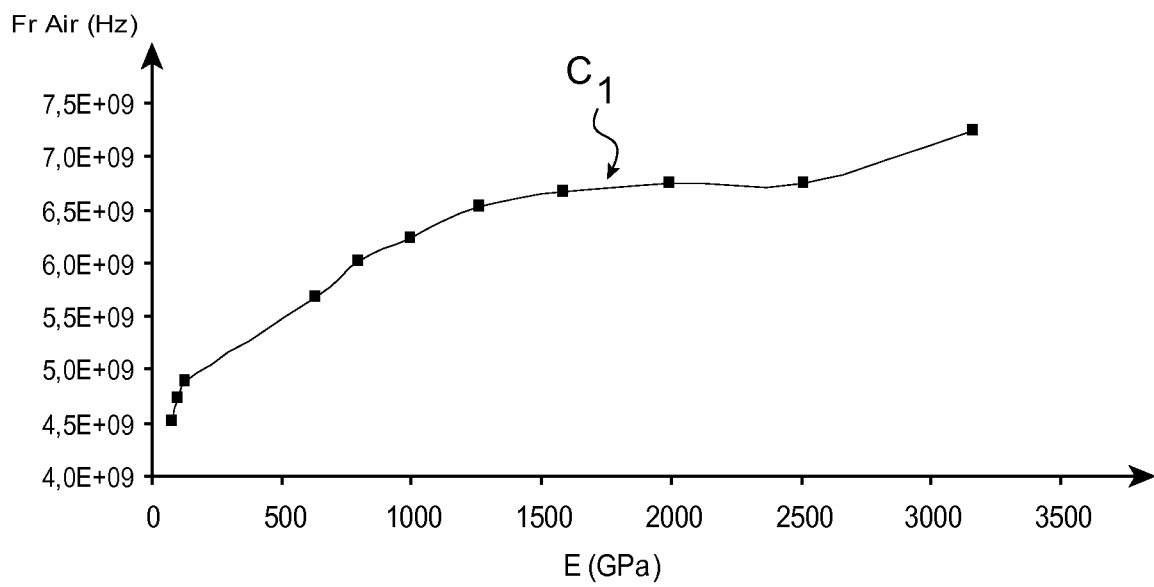


FIG. 11A

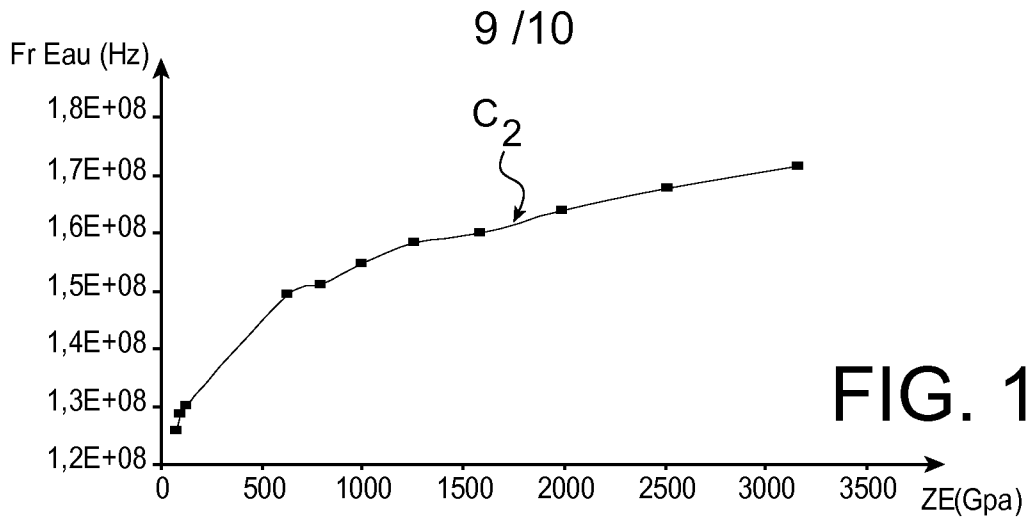


FIG. 11B

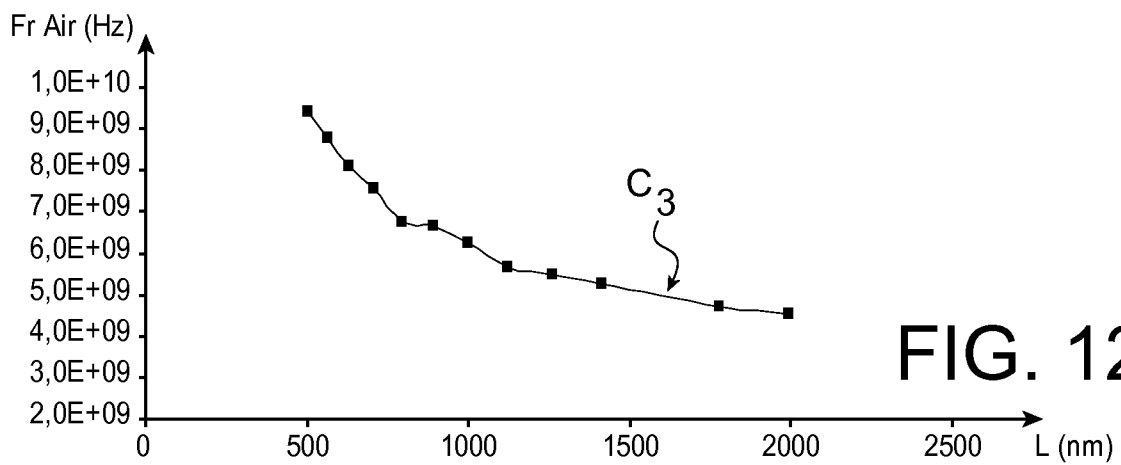


FIG. 12A

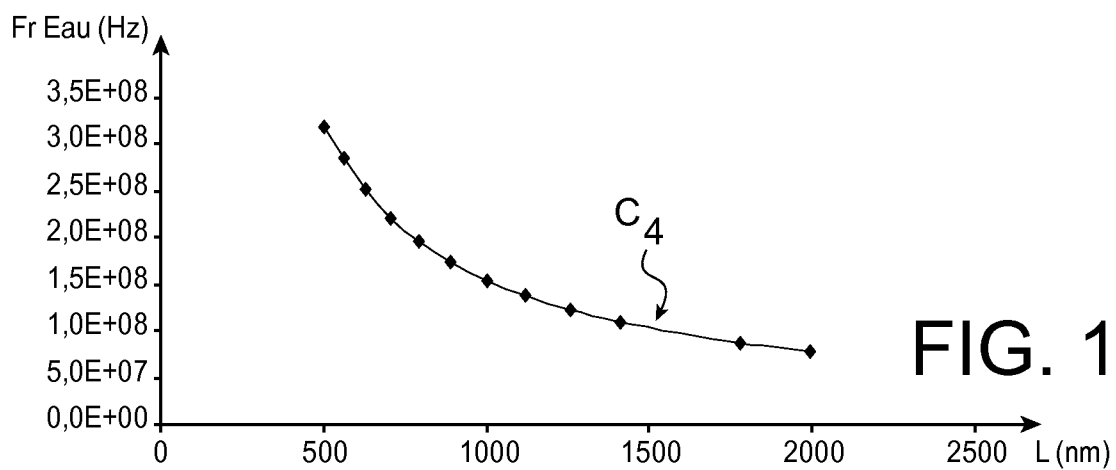


FIG. 12B

10/10

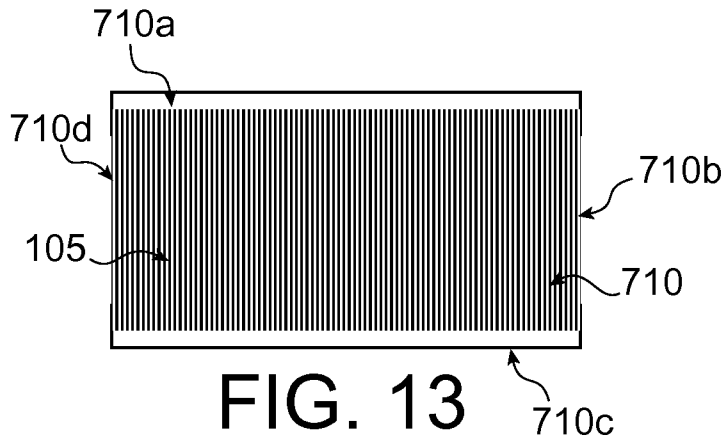


FIG. 13

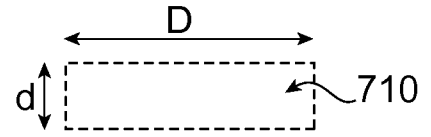


FIG. 14

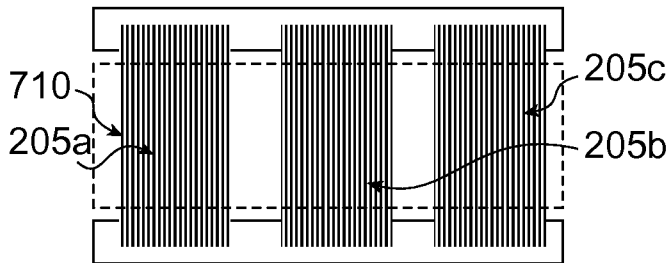


FIG. 15

FIG. 16

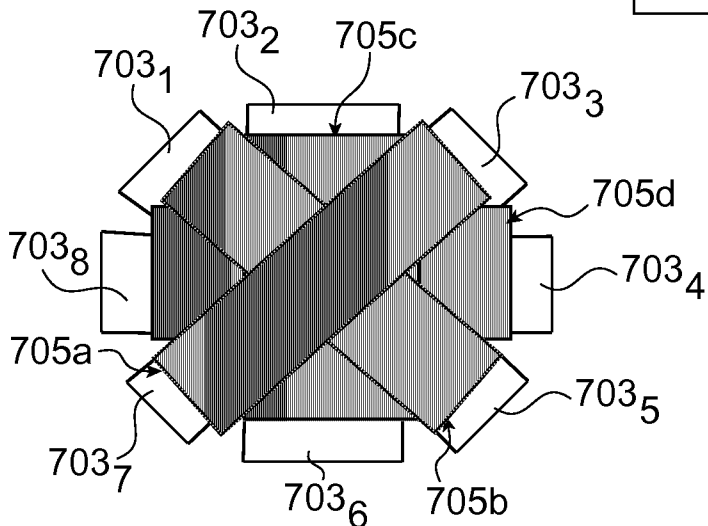
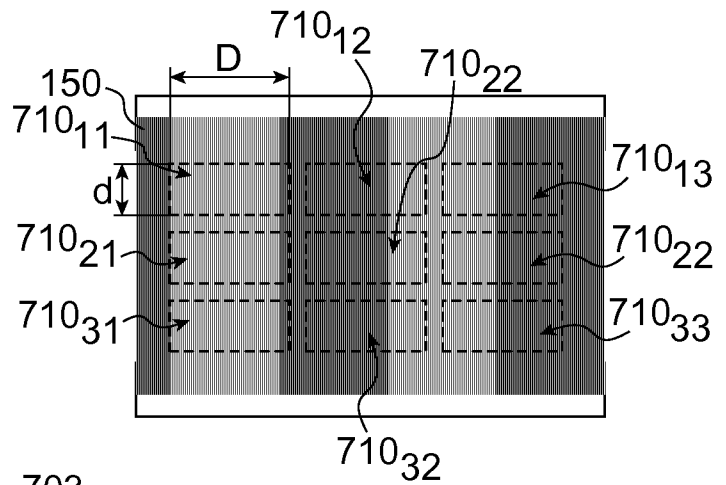


FIG. 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/065582

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B06B1/02 H04R19/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B06B H04R G10K G01H H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DATABASE WPI Week 200757 Thomson Scientific, London, GB; AN 2007-592194 XP002531902 -& JP 2007 136856 A (SEIKO EPSON CORP) 7 June 2007 (2007-06-07) abstract	1,5,6, 10,15,16
X	DATABASE WPI Week 200437 Thomson Scientific, London, GB; AN 2004-393775 XP002531903 -& JP 2003 319490 A (SONY CORP) 7 November 2003 (2003-11-07) abstract	1-3, 11-13,18

-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
14 décembre 2009	18/12/2009	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Häusser, Thomas	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/065582

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/081681 A1 (YU XUN [US] ET AL) 12 April 2007 (2007-04-12) paragraph [0020] - paragraph [0024]; figure 1 -----	1
A	WO 2007/052928 A (KH CHEMICALS CO LTD [KR]; KIM YOUNG-NAM [KR]) 10 May 2007 (2007-05-10) paragraph [0061] - paragraph [0062] paragraph [0097] - paragraph [0098]; figures 1,2 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2009/065582

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)															
JP 2007136856	A	07-06-2007	NONE															
JP 2003319490	A	07-11-2003	NONE															
US 2007081681	A1	12-04-2007	NONE															
WO 2007052928	A	10-05-2007	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 10%;">CN</td> <td style="width: 40%;">101300895 A</td> <td style="width: 50%;">05-11-2008</td> </tr> <tr> <td>EP</td> <td>1952666 A1</td> <td>06-08-2008</td> </tr> <tr> <td>JP</td> <td>2009514481 T</td> <td>02-04-2009</td> </tr> <tr> <td>KR</td> <td>20070046473 A</td> <td>03-05-2007</td> </tr> <tr> <td>US</td> <td>2008260188 A1</td> <td>23-10-2008</td> </tr> </table>	CN	101300895 A	05-11-2008	EP	1952666 A1	06-08-2008	JP	2009514481 T	02-04-2009	KR	20070046473 A	03-05-2007	US	2008260188 A1	23-10-2008
CN	101300895 A	05-11-2008																
EP	1952666 A1	06-08-2008																
JP	2009514481 T	02-04-2009																
KR	20070046473 A	03-05-2007																
US	2008260188 A1	23-10-2008																

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2009/065582

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B06B1/02 H04R19/00		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B06B H04R G10K G01H H01L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DATABASE WPI Week 200757 Thomson Scientific, London, GB; AN 2007-592194 XP002531902 -& JP 2007 136856 A (SEIKO EPSON CORP) 7 juin 2007 (2007-06-07) abrégé	1,5,6, 10,15,16
X	DATABASE WPI Week 200437 Thomson Scientific, London, GB; AN 2004-393775 XP002531903 -& JP 2003 319490 A (SONY CORP) 7 novembre 2003 (2003-11-07) abrégé	1-3, 11-13,18
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
14 décembre 2009	18/12/2009	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Häusser, Thomas	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2009/065582

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2007/081681 A1 (YU XUN [US] ET AL) 12 avril 2007 (2007-04-12) alinéa [0020] - alinéa [0024]; figure 1 -----	1
A	WO 2007/052928 A (KH CHEMICALS CO LTD [KR]; KIM YOUNG-NAM [KR]) 10 mai 2007 (2007-05-10) alinéa [0061] - alinéa [0062] alinéa [0097] - alinéa [0098]; figures 1,2 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2009/065582

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2007136856 A	07-06-2007	AUCUN	
JP 2003319490 A	07-11-2003	AUCUN	
US 2007081681 A1	12-04-2007	AUCUN	
WO 2007052928 A	10-05-2007	CN 101300895 A	05-11-2008
		EP 1952666 A1	06-08-2008
		JP 2009514481 T	02-04-2009
		KR 20070046473 A	03-05-2007
		US 2008260188 A1	23-10-2008