(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
1 décembre 2016 (01.12.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/189241 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H03H 9/02 (2006.01) *G10K 11/30* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/051217

(22) Date de dépôt international :
23 mai 2016 (23.05.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1554625 22 mai 2015 (22.05.2015) FR

(71) Déposants : **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, 75016 Paris (FR). **UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE** [FR/FR]; 58 boulevard Charles Livon, 13284 Marseille Cedex 07 (FR). **ECOLE CENTRALE DE MARSEILLE** [FR/—]; Technopôle de Château Gombert, 38 Rue Frédéric Joliot-Curie, 13013 Marseille (FR).

(72) Inventeurs : **ACHAOUI, Younes**; 26 Rue Lafon, 13006 Marseille (FR). **DIATTA, André**; 68 Avenue Frédéric Mistral, 13380 Plan-de-cuques (FR). **ENOCH, Stefan**; 15 Rue de l'Escalet, La Colline N° 17, 13013 Marseille (FR). **GUENNEAU, Sébastien**; 71 Rue du Coteau, 13007 Marseille (FR).

(74) Mandataires : **DE ROQUEMAUREL, Bruno** et al.; Omnipat, 24 Place des Martyrs de la Résistance, 13100 Aix En Provence (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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, 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, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : STRUCTURE FOR GUIDING ELASTIC WAVES FORMED ON A PLATE

(54) Titre : STRUCTURE DE GUIDE D'ONDES ÉLASTIQUES FORMÉE SUR UNE PLAQUE

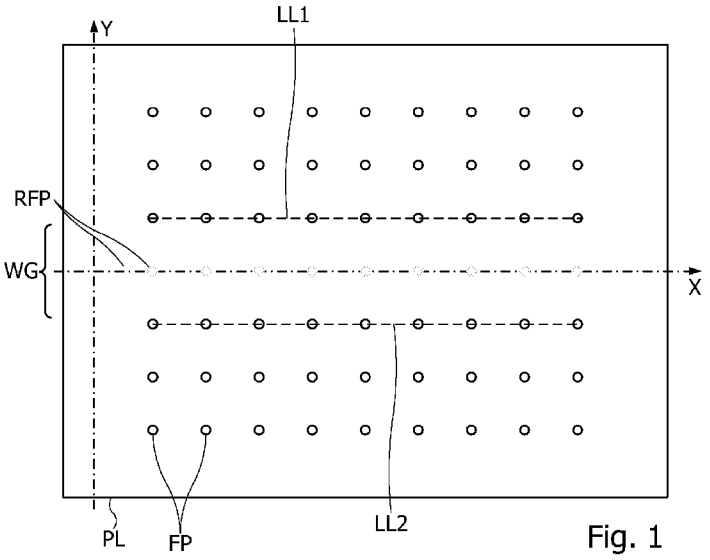


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to an elastic wave containment device including: a plate (PL) attached to a rigid mounting (SP) at fixed points (FP) distributed over the plate along two lateral lines (LL1, LL2) that therebetween define a containment region (WG) without a fixed point, outside of which the fixed points are spaced, at most, at a first distance from each other, the two lateral lines being spaced at at least a second distance from each other, which is greater than the first distance, and an excitation area (RFP) located on the plate in the containment region, where elastic waves are applied to the containment region.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/189241 A1

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

L'invention concerne un dispositif de confinement d'ondes élastiques comprenant : une plaque (PL) fixée à un support rigide (SP) en des points fixes (FP) répartis sur la plaque suivant deux lignes latérales (LL1, LL2) délimitant entre elles une région de confinement sans point fixe (WG), en dehors de laquelle les points fixes sont espacés les uns des autres au maximum d'une première distance, les deux lignes latérales étant espacées l'une de l'autre au minimum d'une seconde distance supérieure à la première distance, et une zone d'excitation (RFP) située sur la plaque dans la région de confinement, où sont appliquées des ondes élastiques à la région de confinement.

STRUCTURE DE GUIDE D'ONDES ELASTIQUES FORMEE SUR UNE PLAQUE

La présente invention concerne les structures phononiques et en particulier les dispositifs permettant de conduire et/ou de confiner les ondes élastiques ou acoustiques. La présente invention est applicable à de nombreux domaines comme notamment les actionneurs et les transducteurs piézoélectriques utilisés pour générer ou détecter des ondes acoustiques, et les lignes à retard. La présente invention peut être utilisée également pour améliorer le rendement de dispositifs à induction magnétique et de moteurs électriques, ainsi que le rendement de dispositifs à ondes acoustiques de surface SAW (Surface Acoustic Waves) ou à ondes acoustiques de volume BAW (Bulk Acoustic Waves).

Dans un milieu homogène, différents types d'ondes élastiques sont susceptibles de s'y propager. De manière générale, ces ondes sont polarisées soit suivant la direction de propagation (ondes longitudinales), soit suivant une direction orthogonale (ondes de cisaillement). Si le milieu est semi-infini, c'est-à-dire s'il présente une interface libre et une épaisseur "infinie", des ondes de surface dites de Rayleigh peuvent s'y propager. Dans le cas où le matériau constituant le milieu de propagation est anisotrope des éventuelles "pseudo ondes de surface" peuvent apparaitre.

Le cas des plaques est particulièrement intéressant étant donné que les ondes élastiques qui peuvent s'y propager sont confinées et complètement guidées. Les ondes pouvant se propager dans une plaque sont des ondes de surface de Rayleigh se propageant indépendamment sur les deux interfaces de la plaque à une même vitesse. Ces ondes présentent une longueur d'onde petite par rapport à l'épaisseur de la plaque. Pour une plaque donnée, aux plus grandes longueurs d'onde, des modes de propagation dits "de flexion" et "de compression" ont tendance à se séparer, et la différence entre les vitesses de propagation sur les deux interfaces de la plaque a tendance à augmenter.

Dans le document A. Khelif, B. Aoubiza, S. Mohammadi, A. Adibi, and V. Laude, Phys. Rev. E 74, 046610 (2006), on a démontré la possibilité de contrôler la dispersion des ondes élastiques de plaque par une structuration

de cette dernière. Cette structuration est formée par des cellules élémentaires réparties sur la plaque de manière périodique. Chaque cellule élémentaire est réalisée par une inclusion dans la plaque, la plaque et les inclusions étant réalisées dans des matériaux différents. Cette structuration interdit la propagation d'ondes élastiques ayant une longueur d'onde voisine de deux fois la distance séparant deux inclusions voisines suivant la direction de propagation des ondes. Ce phénomène est une conséquence des interférences dites de Bragg. Une telle structuration devient donc très encombrante si l'on souhaite exploiter ce phénomène aux grandes longueurs d'onde. En outre, la bande interdite aux longueurs d'ondes voisines de deux fois la distance séparant deux inclusions voisines est relativement étroite.

Dans le document T. T. Wu, Z. G. Huang, T. C. Tsai, T. C. Wu, Appl. Physic Letters 93, 111902 (2008), on a démontré la possibilité de contrôler des ondes élastiques se propageant dans une plaque, par l'intermédiaire d'une structuration périodique dont la cellule élémentaire comprend une inclusion en forme de pilier cylindrique localement résonant, s'étendant au-dessus de la plaque. La présence de tels piliers modifie profondément la répartition des longueurs d'onde pouvant se propager dans la plaque. En particulier, cette structuration permet l'ouverture de bandes interdites aux grandes longueurs d'onde (grandes par rapport à la période de la structuration). Ce principe a été par la suite étendu puis validé expérimentalement pour les ondes de Rayleigh comme cela a été décrit dans les documents Khelif et al. Phys. Rev. B 81 (21), 214303, 2010, et Achaoui et al. Phys. Rev. B 83 (10), 104201, 2011. On a en effet démontré qu'un arrangement périodique de piliers permet de contrôler la propagation de ces ondes à la surface d'un milieu semi-infini et qu'une éventuelle apparition de bandes interdites à résonance locale résiste facilement à l'arrangement aléatoire de ces piliers. Ceci a permis de démontrer que ces bandes interdites dépendent exclusivement de la résonance locale des piliers et non de leur répartition périodique (effet réseau, Achaoui et al. J. Appl. Phys. 114 (10), 104503, 2013). Cependant, comme l'effet produit par cette structuration repose sur la résonance des piliers, les bandes interdites sont relativement étroites.

Il est donc souhaitable de proposer un dispositif de confinement permettant de contrôler la propagation d'ondes élastiques dans une plaque,

qui soit capable de contrôler des ondes ayant des longueurs d'onde situées dans une large plage de longueurs d'ondes, c'est-à-dire aussi bien grandes que petites par rapport à l'épaisseur de la plaque. Il est également souhaitable d'augmenter l'efficacité d'un guide d'onde à transmettre de telles ondes élastiques.

Des modes de réalisation concernent un procédé de confinement d'ondes élastiques dans une plaque, le procédé comprenant des étapes consistant à : fixer la plaque à un support rigide en des points fixes répartis sur la plaque suivant deux lignes latérales délimitant entre elles une région de confinement sans point fixe, en dehors de laquelle les points fixes sont espacés les uns des autres au maximum d'une première distance, les deux lignes latérales étant espacées l'une de l'autre au minimum d'une seconde distance supérieure à la première distance, et appliquer des ondes élastiques à la plaque en une zone d'excitation dans la région de confinement.

Selon un mode de réalisation, la répartition des points fixes en dehors de la région de confinement est définie de manière à établir une première fréquence de coupure basse d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la plaque, en dessous de laquelle les ondes élastiques dans la région de confinement ne peuvent pas traverser les lignes latérales, et la seconde distance est définie de manière à établir une seconde fréquence de coupure basse d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, la seconde fréquence de coupure étant inférieure à la première fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les ondes élastiques appliquées à la plaque dans la région de confinement présentent une fréquence comprise entre les première et seconde fréquences de coupure.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de fixation sur la plaque dans la région de confinement de résonateurs présentant chacun une fréquence de résonance inférieure à la seconde fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les résonateurs fixés dans la région de confinement définissent une troisième fréquence de coupure basse d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, en dessous de laquelle les ondes élastiques ne se propagent pas dans la région

de confinement, les résonateurs étant configurés pour que la troisième fréquence de coupure soit inférieure à la seconde fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les ondes élastiques appliquées à la plaque dans la région de confinement présentent une fréquence comprise entre les seconde et troisième fréquences de coupure.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend des étapes de commande de points fixes amovibles pour modifier la géométrie de la région de confinement ou pour fermer et ouvrir la région de confinement.

Des modes de réalisation peuvent également concerner un dispositif de confinement d'ondes élastiques comprenant : une plaque fixée à un support rigide en des points fixes répartis sur la plaque suivant deux lignes latérales délimitant entre elles une région de confinement sans point fixe, en dehors de laquelle les points fixes sont espacés les uns des autres au maximum d'une première distance, les deux lignes latérales étant espacées l'une de l'autre au minimum d'une seconde distance supérieure à la première distance, et une zone d'excitation située sur la plaque dans la région de confinement, où sont appliquées des ondes élastiques à la région de confinement.

Selon un mode de réalisation, la répartition des points fixes en dehors de la région de confinement est définie de manière à établir une première fréquence de coupure basse en dessous de laquelle les ondes élastiques susceptibles de se propager dans la plaque ne peuvent pas traverser les lignes latérales, et la seconde distance est définie de manière à établir une seconde fréquence de coupure basse d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, la seconde fréquence de coupure étant inférieure à la première fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les ondes élastiques confinées dans la région de confinement présentent une fréquence comprise entre les première et seconde fréquences de coupure.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend des résonateurs fixés à la plaque dans la région de confinement présentant chacun une fréquence de résonance inférieure à la seconde fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les résonateurs fixés dans la région de confinement définissent une troisième fréquence de coupure basse d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, les

résonateurs étant configurés pour que la troisième fréquence de coupure étant inférieure à la seconde fréquence de coupure.

Selon un mode de réalisation, les ondes élastiques confinées dans la région de confinement d'onde présentent une fréquence comprise entre les seconde et troisième fréquences de coupure.

Selon un mode de réalisation, les points fixes présentent une répartition périodique sur la plaque en dehors de la région de confinement.

Selon un mode de réalisation, la région de confinement présente une ouverture communiquant avec une région sans point fixe de la plaque, et ayant une largeur supérieure à la première distance, de manière à former un guide d'onde dans lequel les ondes élastiques sont susceptibles de se propager vers la région sans point fixe.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend des points fixes amovibles contrôlés par un dispositif de commande.

Des exemples de réalisation de l'invention seront décrits dans ce qui suit, à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 est une vue de dessus d'une plaque formant un guide d'ondes élastiques, selon un mode de réalisation,

la figure 2 est une vue en coupe transversale de la plaque de la figure 1,

les figures 3A, 3B représentent des bandes interdites d'ondes élastiques se propageant dans une plaque, respectivement sans et avec un guide d'onde tel que celui formé dans la plaque montrée sur la figure 1, la figure 3B montrant également des courbes de dispersion de fréquence en fonction du nombre d'onde normalisé,

les figures 4A et 4B représentent des courbes de répartition de l'amplitude d'ondes ayant une première longueur d'onde, se propageant dans la plaque de la figure 1, respectivement suivant des axes X et Y situés dans le plan de la plaque,

la figure 5 représente une courbe de répartition suivant l'axe X, de l'amplitude d'ondes ayant une seconde longueur d'onde, se propageant dans la plaque de la figure 1,

la figure 6 est une vue de dessus d'une plaque dans laquelle est formé un guide d'onde selon un autre mode de réalisation,

la figure 7 est une vue en coupe transversale de la plaque de la figure 6,

la figure 8 représente des courbes de variation de la transmission d'ondes élastiques dans les plaques des figures 1 et 6, en fonction de la fréquence des ondes,

la figure 9 représente des courbes de dispersion de fréquence en fonction du nombre d'onde normalisé, d'ondes élastiques se propageant dans la plaque montrée sur la figure 6,

les figures 10 à 12 représentent des courbes de répartition suivant l'axe X, de l'amplitude d'ondes ayant différentes longueurs d'onde, se propageant dans la plaque de la figure 6.

Les figures 1 et 2 représentent une plaque PL, selon un mode de réalisation. La plaque PL est fixée à un support rigide SP par des points fixes FP. Les points fixes sont répartis de manière périodique, c'est-à-dire alignés en lignes et en colonnes, et espacés d'une même distance. Les points fixes FP délimitent une région de confinement sans point fixe formant dans l'exemple de la figure 1 un guide WG d'ondes élastiques. La plaque PL est de type encastrée dans la mesure où elle est fixée à un support fixe et rigide et par les points fixes FP. Ainsi, les points fixes FP de la plaque PL ne subissent aucun déplacement lorsque des ondes élastiques se propagent dans la plaque. A noter également que la plaque PL n'est en contact avec aucun autre objet.

Chaque point fixe FP peut être réalisé par une liaison mécanique rigide entre la plaque PL et le support SP, par exemple par un plot formé sur le support SP dont l'extrémité libre est fixée à la plaque PL par collage ou une soudure, ou encore par une vis traversant un trou formé dans la plaque et venant se visser dans le plot. Les points fixes FP peuvent être également réalisés en pinçant la plaque PL localement aux points fixes FP entre deux supports rigides.

Le guide d'onde WG est formé par un défaut réalisé en supprimant une rangée de point fixes FP. Les figures 1 et 2 montrent un axe X médian du guide d'onde WG coïncidant avec la rangée de points fixes supprimés. La figure 1 montre un axe Y perpendiculaire à l'axe X, situé dans le plan de la plaque PL. La figure 2 montre un axe Z perpendiculaire au plan de la plaque PL.

Les figures 3A, 3B représentent des graphes de bandes interdites d'ondes élastiques se propageant dans la plaque PL montrée sur la figure 1, lorsque la plaque est infinie (les effets de bord n'ont pas été pris en compte) ou entourée d'un dispositif empêchant la réflexion des ondes par les bords.

Le graphe de la figure 3A a été obtenu en présence de toutes les inclusions (en l'absence région de confinement formée par la suppression d'une rangée de points fixes), donc sans défaut. Le graphe de la figure 3A fait apparaitre que la plaque PL présente des bandes interdites FBG1, FBG2 dans lesquelles aucune onde élastique ne se propage. La bande interdite FBG1 s'étend à toutes les fréquences inférieures à une fréquence de coupure basse CF0 d'environ 74 kHz. La bande interdite FBG2 s'étend aux fréquences comprises entre environ 90 et 110 kHz. Dans une bande NBG s'étendant entre la fréquence de coupure CF0 et 90 kHz environ, les ondes élastiques se propagent dans toute la plaque PL.

Le graphe de la figure 3B a été obtenu à partir de la plaque PL de la figure 1 en présence du guide d'onde WG, en appliquant des ondes élastiques à partir d'un point d'excitation EP situé dans le guide d'onde WG. Le graphe de la figure 3B met en évidence des bandes interdites FBG3, FBG4 dans lesquelles aucune onde élastique ne se propage. La bande interdite FBG3 s'étend aux fréquences inférieures à une fréquence de coupure basse CF1 d'environ 24 kHz. La bande interdite FBG4 s'étend aux fréquences comprises entre 57 et 63 kHz environ La bande NGB s'étendant entre la fréquence de coupure CF0 et environ 90 kHz dans laquelle les ondes élastiques se propagent dans toute la plaque PL subsiste. Il en résulte que dans la bande NGB, les ondes élastiques ne sont pas guidées dans le guide d'onde WG.

La figure 3B montre également des courbes C1, C2, C3 de dispersion de fréquence en fonction du nombre d'onde normalisé. La courbe de dispersion C1 est située entre les bandes interdites FBG3 et FBG4, et les courbes de dispersion C2, C3 sont situées entre les bandes FBG4 et NBG. Aux fréquences situées entre les fréquences de coupure CF0 et CF1, correspondant à un point des courbes C1, C2, C3 (en dehors de la bande interdite FBG4), les ondes élastiques ne peuvent se propager que dans le guide d'onde WG. Elles sont donc confinées et guidées dans le guide d'onde WG. La pente en un point considéré des courbes C1, C2, C3 correspond à la

vitesse de propagation des ondes élastique à la fréquence correspondant au point considéré.

Les figures 4A et 4B représentent des courbes de variation de l'amplitude d'ondes élastiques à 32 kHz appliquées à la plaque PL dans le guide d'onde WG en un point d'excitation EP, respectivement suivant les axes X et Y. A cette fréquence, on se trouve entre les bandes interdites FBG3 et FBG4. D'après la figure 4B, les ondes se propageant dans la plaque PL sont parfaitement canalisées par le guide d'onde WG, aucune onde n'étant détectée en dehors de lignes latérales LL1, LL2 de points fixes FP délimitant le guide d'onde. Sur la figure 4A, les ondes canalisées dans le guide d'onde WG présentent une amplitude formant des ondulations depuis le point d'excitation EP. Aux sorties du guide d'onde WG, dans des régions sans point fixe, l'amplitude des ondes diminue jusqu'à disparaître, reflétant la dispersion des ondes dans toute la largeur de la plaque PL.

La figure 5 représente une courbe de variation de l'amplitude d'ondes élastiques à 18 kHz appliquées à la plaque PL dans le guide d'onde WG, suivant l'axe X du guide d'onde WG. Le point d'excitation EP se trouve à l'entrée du guide d'onde WG. A cette fréquence, on se trouve dans la bande interdite FBG3. D'après la figure 5, aucune onde ne pénètre dans le guide WG, les ondes appliquées au point d'excitation EP se dispersant dans toute la région de la plaque PL sans point fixe.

La forme et en particulier la largeur du guide d'onde WG (entre les points fixes FP), permet donc de confiner et canaliser des ondes élastiques à des fréquences relativement basses (comprises entre 24 et 74 kHz), situées dans la bande interdite FBG1 d'une plaque encastrée à points fixes périodiques sans défaut.

Les figures 6 et 7 représentent la plaque PL dans laquelle est formé un guide WG' d'ondes élastiques. Comme précédemment, la plaque PL de type encastrée comprend des points fixes FP de fixation de la plaque PL à un support rigide SP, les points fixes étant répartis de manière périodique, c'est-à-dire alignés en lignes et en colonnes et espacés d'une même distance. Le guide d'onde WG' est formé comme précédemment, par un défaut réalisé en supprimant une rangée de points fixes FP.

Selon un mode de réalisation, le guide d'onde WG' comprend des résonateurs RS fixés sur la plaque PL (par exemple aux emplacements des

points fixes supprimés), et alignés suivant l'axe X du guide d'onde. Les résonateurs RS présentent une forme, une hauteur au-dessus de la plaque, une élasticité et une densité, leur conférant une fréquence de résonance propre. Les résonateurs RS sont fixés à la plaque PL par une liaison mécanique rigide, par exemple par vissage, soudure ou collage. Les résonateurs RS peuvent également être formés dans le même matériau que la plaque par usinage ou moulage. La plaque PL avec les résonateurs RS peut également être obtenue par des techniques de photolithographie appliquées à la microélectronique, telles que des techniques de gravure, dépôt de métal et croissance électrolytique. Dans l'exemple des figures 6 et 7, les résonateurs RS présentent une forme cylindrique.

La figure 8 représente des courbes C11, C12 de variation de la transmission T d'ondes élastiques dans les guides d'onde WG et WG' des figures 1 et 6, en fonction de la fréquence F des ondes élastiques. La courbe C11, correspondant au guide d'onde WG formé dans la plaque PL de la figure 1, fait apparaitre que la transmission des ondes élastiques aux fréquences inférieures à 80 kHz ne dépasse guère 0 dB. Entre 0 et 25 kHz environ, cette transmission reste inférieure à -40 dB révélant la présence de la bande interdite FBG1. Entre 25 et 40 kHz, cette transmission présente des pics atteignant +10 dB. Entre 40 et 80 kHz environ, la transmission des ondes élastiques reste confinée entre 0 et -40 dB.

La courbe C12 a été obtenue lorsque les résonateurs RS présentent une fréquence de résonance inférieure à la fréquence de coupure basse CF1 de la bande FBG3. D'après la courbe C12, la transmission des ondes élastiques dans le guide d'onde WG' de la figure 6, peut atteindre +20dB en moyenne entre 7 et 10 kHz environ. Entre 10 et 15 kHz, la transmission dans le guide d'onde WG' reste voisine de 0 dB. Entre 15 et 25 kHz, la transmission du guide d'onde WG' présente des pics atteignant +15 à +25 dB. Au-delà de 25 kHz, la transmission du guide d'onde WG' ne dépasse guère 0 dB, avec des pics inférieurs à -40 dB entre 25 et 40 kHz et entre 65 et 80 kHz.

La figure 9 représente des courbes de dispersion de la de fréquence en fonction du nombre d'onde normalisé, d'ondes élastiques se propageant dans le guide d'onde WG' montré sur la figure 6, lorsque la plaque PL est infinie (les effets de bord de la plaque n'ont pas été pris en compte) ou

entourée d'un dispositif empêchant la réflexion des ondes par les bords de la plaque PL. Le graphe de la figure 9 fait apparaître que les bandes interdites FBG3 et FBG4 (figure 3B) sont remplacées par des bandes interdites FBG5, FBG6 dans lesquelles aucune onde élastique ne se propage. La bande interdite FBG5 s'étend aux fréquences inférieures à une fréquence de coupure basse CF2 d'environ 7 kHz. La bande interdite FBG6 s'étend entre les fréquences CF1 à environ 24 kHz et environ 39 kHz. La bande interdite FBG6 correspond à l'atténuation observée dans cette bande sur la figure 8. La bande NGB s'étendant entre les fréquences CF0 et environ 90 kHz est toujours présente. Il en résulte que dans la bande NGB, les ondes élastiques ne sont pas guidées dans le guide d'onde WG'. La figure 9 montre également des courbes de dispersion C4, C5, C6 entre les bandes interdites FBG5 et FBG6, et des courbes de dispersion C7, C8, C9 entre les bandes FBG6 et NBG. Aux fréquences correspondant à un point des courbes C4 à C9, les ondes élastiques sont guidées dans le guide d'onde WG'. La pente à un point considéré des courbes C4 à C9 correspond à la vitesse de propagation des ondes élastiques à la fréquence correspondant au point considéré.

Il en résulte que l'introduction dans le guide d'onde WG' des résonateurs RS ayant une fréquence de résonance comprise entre les fréquences de coupure CF1 et CF2, autorise le confinement et la propagation d'ondes élastiques présentant de plus grandes longueurs d'onde que dans le guide d'onde WG. Il peut également être observé que les courbes C4, C5 situées aux plus basses fréquences (entre 7 et 11 kHz environ) présentent une faible pente signifiant que dans cette bande de fréquences, les ondes élastiques se propagent dans la plaque PL avec une faible vitesse de groupe. Un phénomène de cumul d'énergie peut donc être observé à ces fréquences. Ce phénomène peut produire une exaltation de l'onde à la sortie du guide à résonateurs WG'.

Les figures 10, 11 et 12 représentent des courbes de variation suivant l'axe X, de l'amplitude d'ondes élastiques appliquées à la plaque PL dans le guide d'onde WG' en un point d'excitation EP, lorsque la fréquence d'excitation de la plaque PL se trouve située respectivement dans la bande interdite FBG6 (par exemple 32 kHz), et entre les bandes interdites FBG5 et FBG6 à environ 18 kHz et 7,5 kHz.

Sur la figure 10, le point d'excitation EP se trouve à l'entrée du guide d'onde WG' et les résonateurs RS sont placés à partir de cette entrée. La fréquence d'excitation de la plaque PL se trouve située dans la bande interdite FBG6 (par exemple 32 kHz). D'après la courbe de la figure 10, aucune onde ne pénètre dans le guide WG', les ondes appliquées au point d'excitation EP se dispersant dans toute la région de la plaque PL sans point fixe FP en dehors du guide d'onde WG'.

Sur la figure 11, le point d'excitation EP se trouve dans le guide d'onde WG', à proximité d'un premier des résonateurs RS. La fréquence d'excitation de la plaque PL est d'environ 18 kHz, c'est-à-dire sur la courbe C6 entre les bandes interdites FBG5 et FBG6. La courbe de la figure 11 montre que l'amplitude des ondes guidées dans le guide WG' forme des ondulations dans la partie du guide d'onde comportant les résonateurs RS. La valeur maximum de l'amplitude de ces ondulations excède légèrement l'amplitude d'excitation de la plaque PL. A la sortie du guide d'onde WG', les ondes présentent sensiblement la même amplitude que celle des ondes au point d'excitation EP. En dehors du guide d'onde WG', dans la région de la plaque sans point fixe, les ondes se dispersent et donc leur amplitude chute rapidement.

Sur la figure 12, le point d'excitation EP se trouve à l'entrée du guide d'onde WG', à proximité d'un premier des résonateurs RS. La fréquence d'excitation de la plaque PL est d'environ 7,5 kHz, sur la courbe C4 entre les bandes interdites FBG5 et FBG6. La courbe de la figure 12 présente deux pics à 6 unités et un creux à 2 unités pour une amplitude d'excitation à 2 unités dans la région du guide d'onde WG' équipée des résonateurs RS, ce qui représente une multiplication de l'amplitude par 3, révélant un phénomène d'accumulation d'énergie ou d'exaltation. Il peut également être observé que l'amplitude des ondes en sortie du guide d'onde WG' est plus grande que (de l'ordre de deux fois) celle des ondes au point d'excitation EP à l'entrée du guide d'onde. Ce phénomène d'exaltation peut également être observé sur la courbe C12 (figure 8) où, entre 7 et 10 kHz, la transmission T peut atteindre +20 dB en moyenne. En dehors du guide d'onde WG', dans la région de la plaque sans point fixe, les ondes se dispersent et donc leur amplitude chute rapidement.

Ce phénomène d'exaltation peut être utilement exploité pour, par exemple, transmettre des vibrations à un dispositif piézoélectrique. Ce dispositif permet d'obtenir un rapport entre l'amplitude des vibrations dans la zone d'excitation de la plaque, et l'amplitude du signal électrique produit par le dispositif piézoélectrique, notablement plus élevé qu'en l'absence des résonateurs RS.

Selon un mode de réalisation, certains points fixes FP ou tous les points fixes sont amovibles et commandés. A cet effet, la plaque PL est maintenue à chaque point fixe amovible par un électroaimant, la plaque étant réalisée dans un matériau ferromagnétique. La plaque peut également être maintenue à chaque point fixe amovible par pincement entre deux plots rétractables commandés par un dispositif mécanique. Ainsi, il est possible de modifier la géométrie de la région de confinement, notamment pour réaliser un contrôle de guidage des ondes élastiques se propageant dans la plaque, ainsi qu'un contrôle de guide de l'onde résultant du phénomène d'exaltation. Il est également possible de fermer la région de confinement à l'aide d'un ou plusieurs points fixes amovibles, appliquer des ondes élastiques à la plaque PL en un point d'excitation dans la région de confinement, de manière à obtenir un phénomène d'exaltation. Les ondes étant piégées dans la région de confinement, le phénomène d'exaltation peut se développer jusqu'au moment où l'on ouvre la région de confinement. L'amplitude du phénomène d'exaltation peut ainsi dépendre de la durée entre l'instant d'excitation de la plaque, la région de confinement étant fermée, et l'instant d'ouverture de la région de confinement.

Il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que la présente invention est susceptible de diverses variantes de réalisation et diverses applications. En particulier, l'invention n'est pas limitée à une plaque encastrée par des points fixes présentant une répartition périodique. En effet, cette répartition peut être aléatoire. Il importe simplement que les points fixes en dehors de la région de confinement soient espacés les uns des autres d'une distance inférieure à une distance maximum dépendant des fréquences traitées. Ainsi, la distance qui sépare les points fixes délimitant la zone de guide d'onde peut être nulle, de manière à former des lignes continues fixes. Pour former le guide d'ondes WG ou WG', il importe simplement que la largeur du guide d'onde soit supérieure à la distance maximum entre les points fixes de la

plaque en dehors du guide d'ondes. Par ailleurs, il peut être observé que plus la largeur du guide d'onde augmente à partir de la distance entre les points fixes délimitant le guide d'onde, plus la fréquence de coupure CF1 diminue à partir de la fréquence de coupure CF0, jusqu'à devenir nulle.

Les lignes latérales LL1, LL2 de points fixes FP délimitant le guide d'onde WG, WG' ne sont pas nécessairement rectilignes, ni parallèles. La fréquence de coupure basse CF1 du guide d'onde est alors définie par la distance minimum entre les lignes LL1, LL2.

L'invention n'est pas non plus limitée à un guide d'onde avec des ouvertures à ses extrémités. Il importe simplement que les points fixes FP délimitent une région de confinement plus large que la distance maximum entre les points fixes. En outre, un guide d'onde peut être obtenu simplement à partir d'une zone de confinement entourée de points fixes espacés d'une distance maximum inférieure à la largeur de la zone de confinement, en plaçant une zone d'excitation et une zone de capture des ondes élastiques dans la région de confinement. En effet, la région de confinement forme alors un guide d'ondes entre la zone d'excitation et la zone de capture, pour des ondes élastique ayant une fréquence comprise entre la fréquence de coupure basse des régions de la plaque encastrées par les points fixes et la fréquence de coupure basse de la région de confinement. Ainsi, un dispositif piézoélectrique peut par exemple être fixé à la zone de capture. La plaque peut aussi être formée en un matériau piézoélectrique, des électrodes étant fixées en regard l'une de l'autre sur les deux faces de la plaque dans la zone de capture.

Les longueurs d'onde des ondes élastiques se propageant dans la plaque et confinées dans le guide d'onde ne sont pas nécessairement grandes par rapport à l'épaisseur de la plaque. Ainsi, ces ondes élastiques peuvent être des ondes de surface (de Raleigh) lorsque leur longueur d'onde est voisine ou inférieure à l'épaisseur de la plaque PL. A ce sujet, il convient de préciser que les valeurs des fréquences indiquées dans les figures 3A, 3B, 8 et 9 ne sont données qu'à titre d'exemple. En effet, ces valeurs de fréquence dépendent des distances entre les points fixes FP d'encastrement de la plaque PL, et varient d'une manière inversement proportionnelle à ces distances. Ainsi, pour canaliser des ondes élastiques présentant une

fréquence dix fois plus élevée, par exemple, il suffit de réduire la distance entre les points fixes d'un rapport de dix.

REVENDICATIONS

1. Procédé de confinement d'ondes élastiques dans une plaque (PL), le procédé comprenant des étapes consistant à :

fixer la plaque à un support rigide (SP) en des points fixes (FP) répartis sur la plaque suivant deux lignes latérales (LL1, LL2) délimitant entre elles une région de confinement (WG, WG') sans point fixe, en dehors de laquelle les points fixes sont espacés les uns des autres au maximum d'une première distance, les deux lignes latérales étant espacées l'une de l'autre au minimum d'une seconde distance supérieure à la première distance, et

appliquer des ondes élastiques à la plaque en une zone d'excitation (EP) dans la région de confinement,

caractérisé en ce que la répartition des points fixes (FP) en dehors de la région de confinement (WG, WG') est définie de manière à établir une première fréquence de coupure basse (CF0) d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la plaque (PL), en dessous de laquelle les ondes élastiques dans la région de confinement ne peuvent pas traverser les lignes latérales (LL1, LL2), et la seconde distance est définie de manière à établir une seconde fréquence de coupure basse (CF1) d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, la seconde fréquence de coupure étant inférieure à la première fréquence de coupure.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les ondes élastiques appliquées à la plaque dans la région de confinement (WG) présentent une fréquence comprise entre les première et seconde fréquences de coupure (CF0, CF1).

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, comprenant une étape de fixation sur la plaque (PL) dans la région de confinement (WG') de résonateurs (RS) présentant chacun une fréquence de résonance inférieure à la seconde fréquence de coupure (CF1).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les résonateurs (RS) fixés dans la région de confinement (WG') définissent une troisième fréquence de coupure basse (CF2) d'ondes élastiques susceptibles

de se propager dans la région de confinement, en dessous de laquelle les ondes élastiques ne se propagent pas dans la région de confinement, les résonateurs étant configurés pour que la troisième fréquence de coupure soit inférieure à la seconde fréquence de coupure (CF1).

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel les ondes élastiques appliquées à la plaque dans la région de confinement (WG') présentent une fréquence comprise entre les seconde et troisième fréquences de coupure (CF1, CF2).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant des étapes de commande de points fixes (FP) amovibles pour modifier la géométrie de la région de confinement (WG, WG') ou pour fermer et ouvrir la région de confinement.

7. Dispositif de confinement d'ondes élastiques comprenant :

une plaque (PL) fixée à un support rigide (SP) en des points fixes (FP) répartis sur la plaque suivant deux lignes latérales (LL1, LL2) délimitant entre elles une région de confinement sans point fixe (WG, WG'), en dehors de laquelle les points fixes sont espacés les uns des autres au maximum d'une première distance, les deux lignes latérales étant espacées l'une de l'autre au minimum d'une seconde distance supérieure à la première distance, et

une zone d'excitation (EP) située sur la plaque dans la région de confinement, où sont appliquées des ondes élastiques à la région de confinement,

caractérisé en ce que la répartition des points fixes (FP) en dehors de la région de confinement (WG, WG') est définie de manière à établir une première fréquence de coupure basse (CF0) en dessous de laquelle les ondes élastiques susceptibles de se propager dans la plaque ne peuvent pas traverser les lignes latérales (LL1, LL2), et la seconde distance est définie de manière à établir une seconde fréquence de coupure basse (CF1) d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, la seconde fréquence de coupure étant inférieure à la première fréquence de coupure.

8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel les ondes élastiques confinées dans la région de confinement présentent une fréquence comprise entre les première et seconde fréquences de coupure (CF0, CF1).

9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, comprenant des résonateurs (RS) fixés à la plaque (PL) dans la région de confinement (WG') présentant chacun une fréquence de résonance inférieure à la seconde fréquence de coupure (CF1).

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel les résonateurs (RS) fixés dans la région de confinement (WG') définissent une troisième fréquence de coupure basse (CF2) d'ondes élastiques susceptibles de se propager dans la région de confinement, les résonateurs étant configurés pour que la troisième fréquence de coupure soit inférieure à la seconde fréquence de coupure (CF1).

11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les ondes élastiques confinées dans la région de confinement d'onde présentent une fréquence comprise entre les seconde et troisième fréquences de coupure (CF1, CF2).

12. Dispositif selon l'une des revendications 7 à 11, dans lequel les points fixes (FP) présentent une répartition périodique sur la plaque (PL) en dehors de la région de confinement (WG, WG').

13. Dispositif selon l'une des revendications 7 à 12, dans lequel la région de confinement (WG, WG') présente une ouverture communiquant avec une région sans point fixe de la plaque (PL), et ayant une largeur supérieure à la première distance, de manière à former un guide d'onde dans lequel les ondes élastiques sont susceptibles de se propager vers la région sans point fixe.

14. Dispositif selon l'une des revendications 7 à 13, comprenant des points fixes amovibles contrôlés par un dispositif de commande.

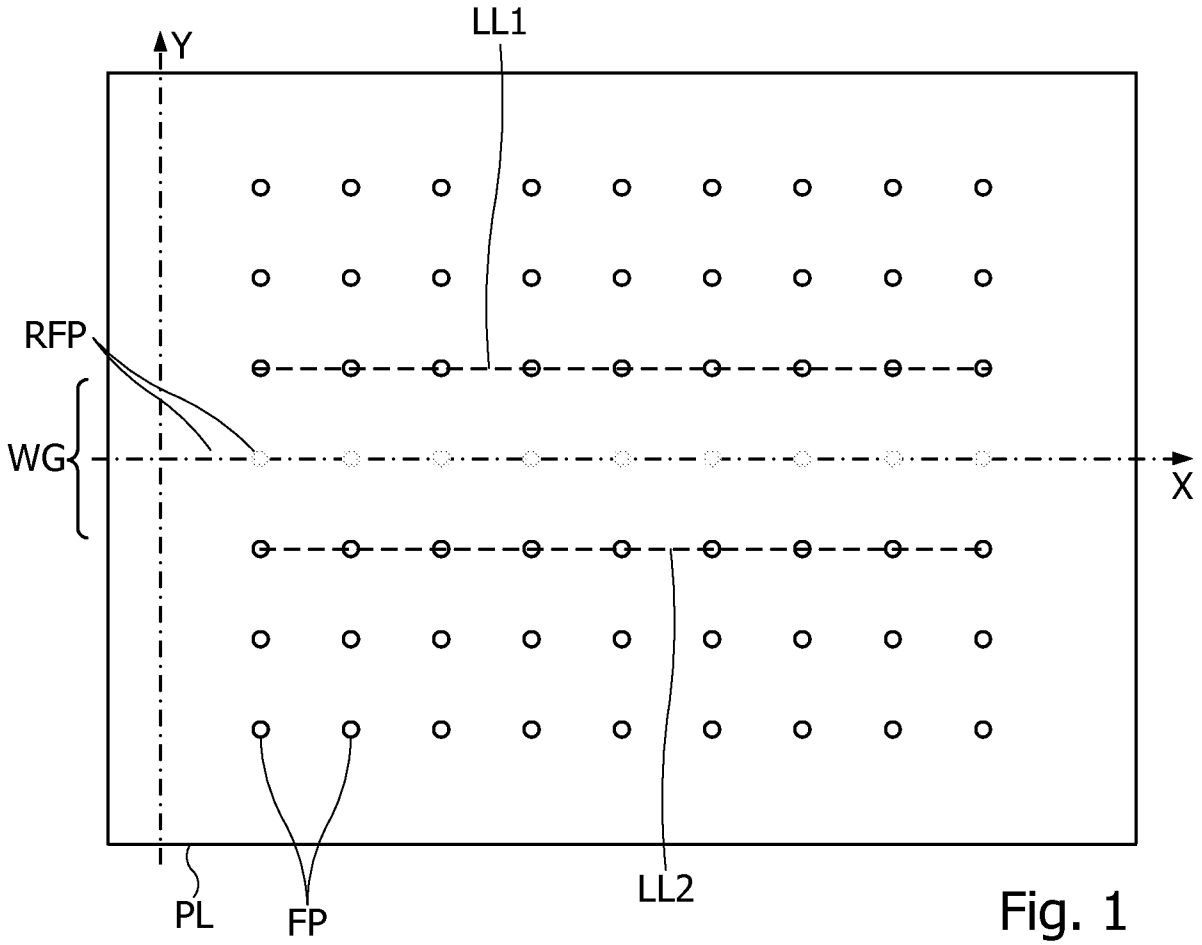


Fig. 1

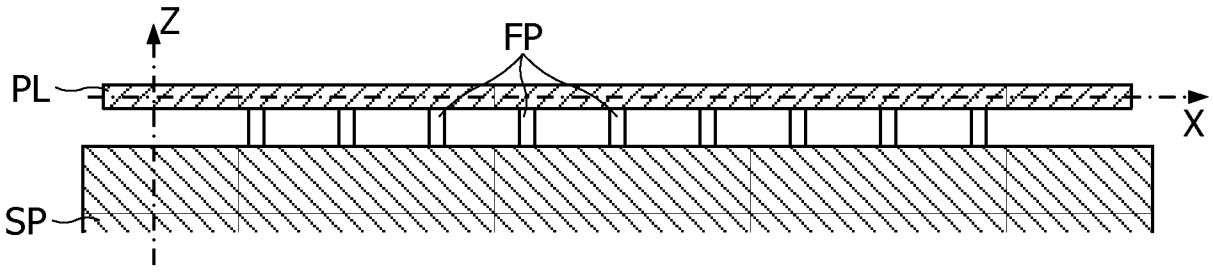


Fig. 2

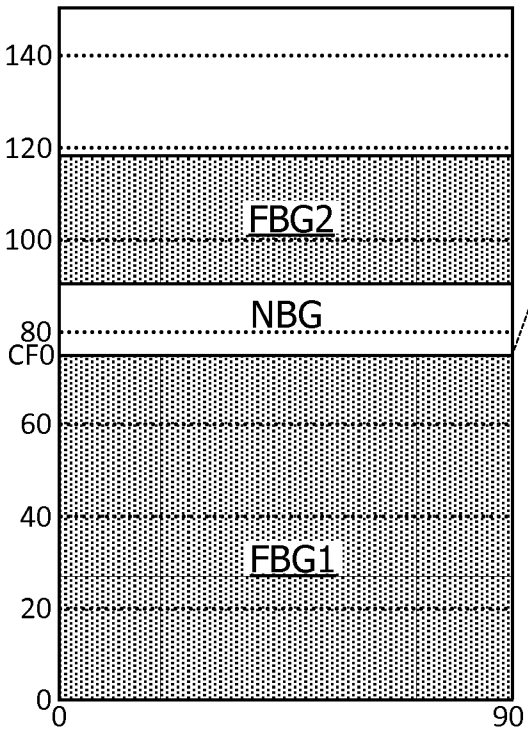


Fig. 3A

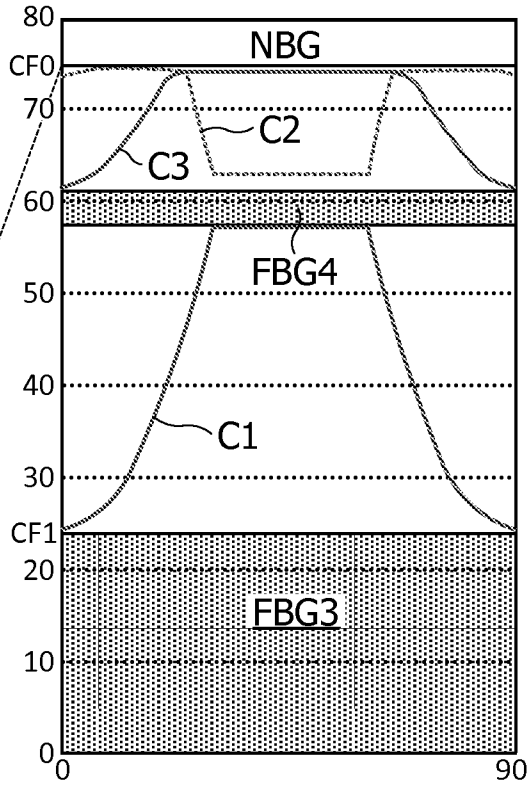


Fig. 3B

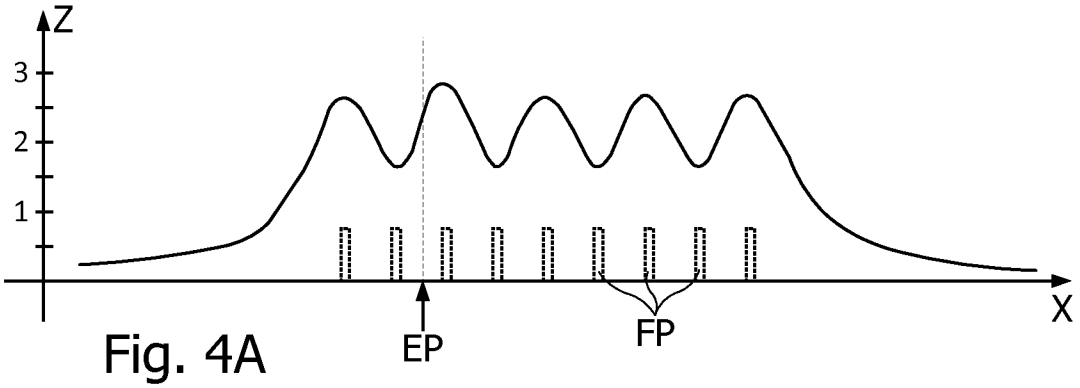


Fig. 4A

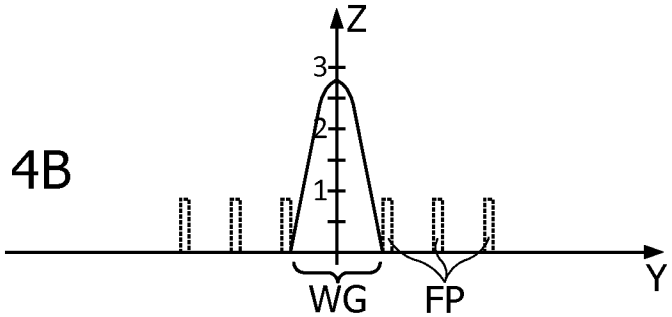


Fig. 4B

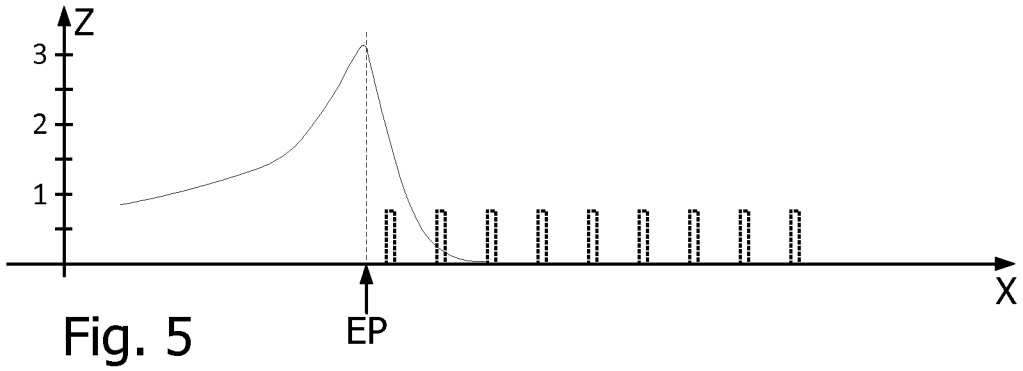


Fig. 5

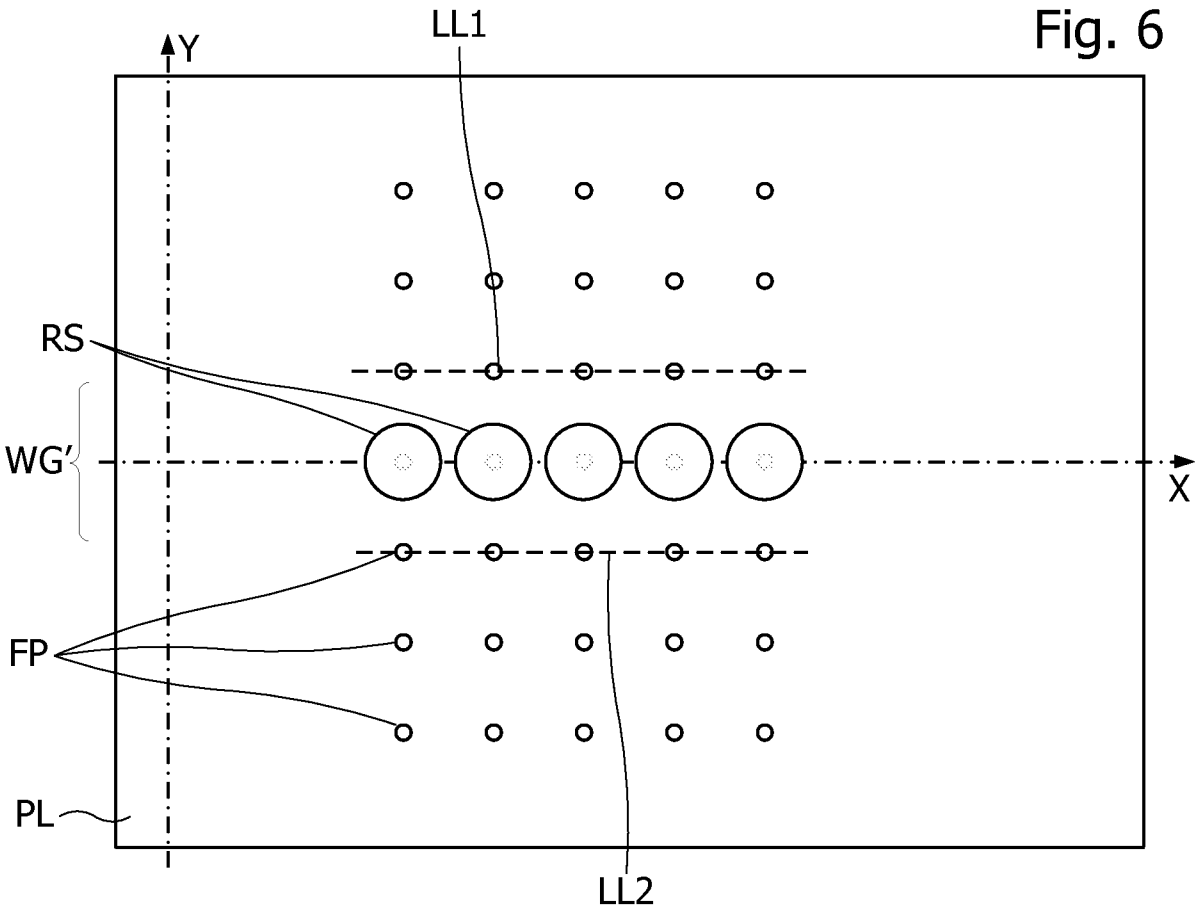


Fig. 6

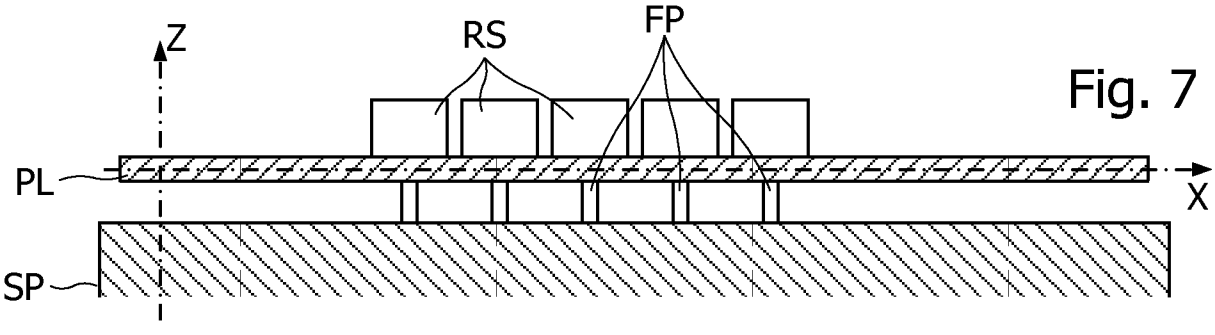


Fig. 7

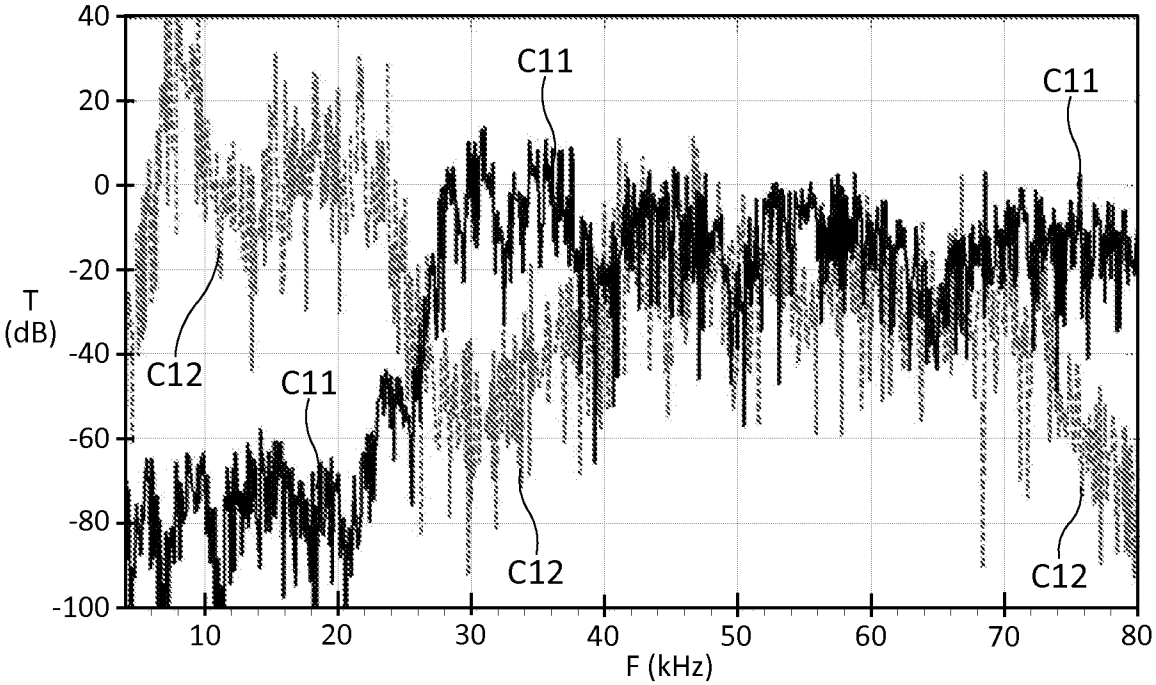

40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
T
(dB)
C11
C11
C12
C11
C12
C12
10
20
30
40
50
60
70
80
F (kHz)

Fig. 8

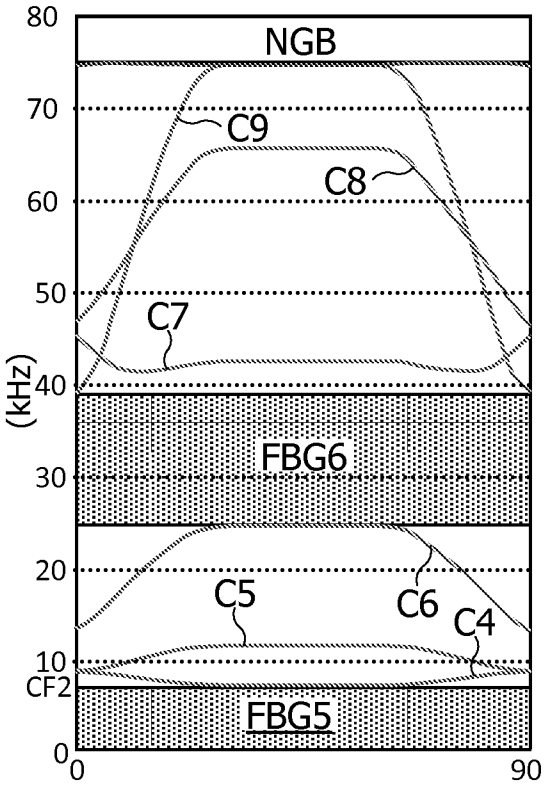

80
70
60
50
40
30
20
10
0
(kHz)
NGB
C9
C8
C7
FBG6
C5
C6
C4
CF2
FBG5
0
90

Fig. 9

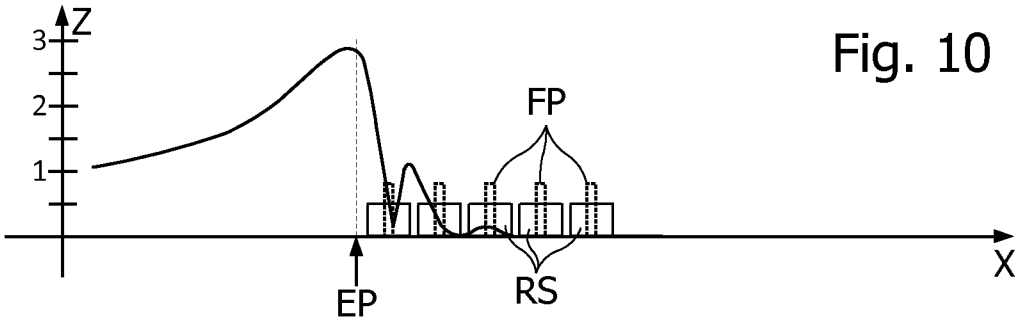


Fig. 10

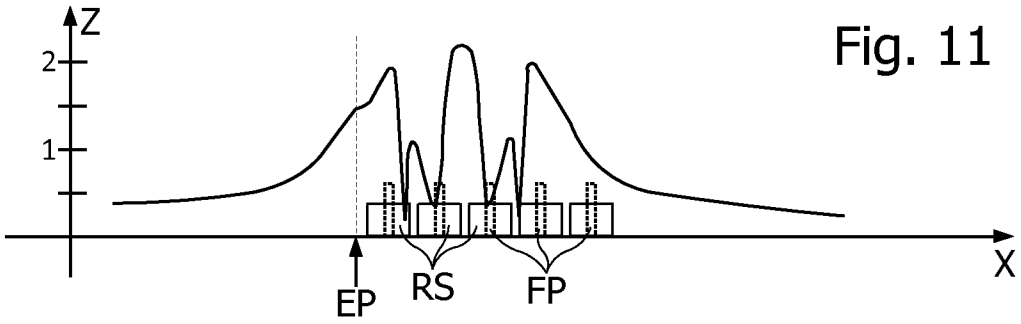


Fig. 11

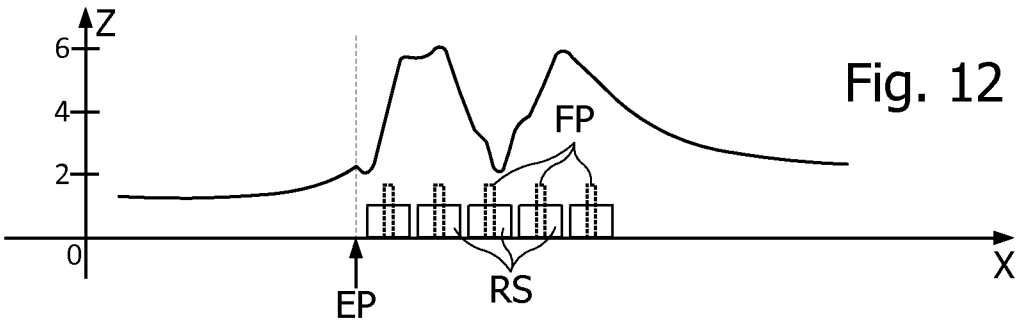


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/051217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03H9/02 G10K11/30
ADD.

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)
H03H G10K

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 practicable, 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.
A	JP 2005 057447 A (FUJITSU MEDIA DEVICE KK) 3 March 2005 (2005-03-03) figures 3, 4, 6, 7	7-14
A	KHELIF A ET AL: "Guiding and bending of acoustic waves in highly confined phononic crystal waveguides", APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US, vol. 84, no. 22, 31 May 2004 (2004-05-31), pages 4400-4402, XP012061616, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.1757642 figures 1,4	7-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ 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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 July 2016	18/08/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Naumann, Olaf

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2016/051217

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2005057447 A	03-03-2005	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2016/051217

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H03H9/02 G10K11/30
ADD.

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)
H03H G10K

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
A	JP 2005 057447 A (FUJITSU MEDIA DEVICE KK) 3 mars 2005 (2005-03-03) figures 3, 4, 6, 7 -----	7-14
A	KHELIF A ET AL: "Guiding and bending of acoustic waves in highly confined phononic crystal waveguides", APPLIED PHYSICS LETTERS, A I P PUBLISHING LLC, US, vol. 84, no. 22, 31 mai 2004 (2004-05-31), pages 4400-4402, XP012061616, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.1757642 figures 1,4 -----	7-14

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ 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
25 juillet 2016	18/08/2016

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	Naumann, Olaf

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2016/051217

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2005057447 A	03-03-2005	AUCUN	