

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2010/023344 A1

(43) Fecha de publicación internacional
4 de marzo de 2010 (04.03.2010)

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G01H 11/06 (2006.01) *G01R 3/00* (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01) *H04R 31/00* (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2009/070354

(22) Fecha de presentación internacional:
27 de agosto de 2009 (27.08.2009)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200802498 27 de agosto de 2008 (27.08.2008) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC) [ES/ES];
C/ Serrano, 117, E-28006 Madrid (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente):
OCTAVIO MANZANARES, Alberto [ES/ES]; Instituto De Acústica (IA), C/ Serrano, 144, E-28006 Madrid (ES).
MONTERO DE ESPINOSA FREIJO, Francisco [ES/ES]; Instituto De Acústica (IA), C/ Serrano, 144, E-28006 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Ángel**; Glorieta de Rubén Darío, 4, E-28006 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): 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) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (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).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: ULTRASOUND DEVICE FOR THE EMISSION OF ACOUSTIC WAVES IN AIR IN THE ULTRASONIC RANGE

(54) Título : DISPOSITIVO ULTRASONÍCO PARA LA EMISIÓN DE ONDAS ACÚSTICAS EN AIRE EN EL RANGO DE LOS ULTRASONIDOS

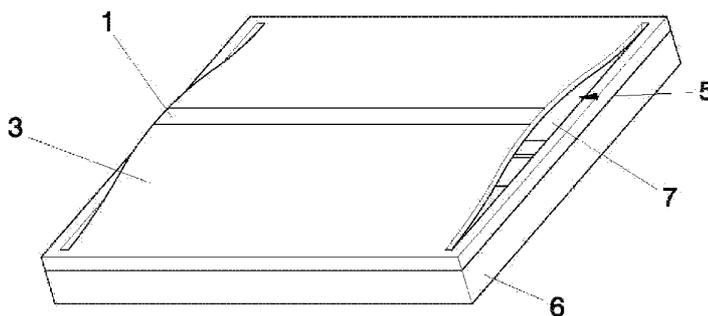


FIG. 2

(57) Abstract: The invention describes an ultrasonic device that is useful for the emission of acoustic waves in air in the ultrasonic range, which comprises, amongst other elements, a resonant cavity (5) with one or more apertures (7) for generating signal amplification upon emission and a system-exciting element such as a membrane (3). Using the resonant cavity (5) it is possible to generate a radiation in the apertures (7) in conjunction and in phase with that produced by the movement of the membrane (3). This ultrasonic device may be used to produce an emitter that comprises one or more of such cells connected in parallel, emitting thus at the same time, which is useful for the implementation of non-destructive tests without air contact.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



WO 2010/023344 A1



— *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

La invención describe un dispositivo ultrasónico útil para la emisión de ondas acústicas en aire en el rango de los ultrasonidos que comprende, entre otros elementos, una cavidad resonante (5) con una o varias aberturas (7) para provocar una amplificación de señal en emisión y un elemento que excite el sistema como puede ser una membrana (3). Gracias a la cavidad resonante (5) se puede generar una radiación en las aberturas (7) conjunta y en fase con la producida por el movimiento de la membrana (3). Este dispositivo ultrasónico puede utilizarse para fabricar un emisor, que comprende una o varias de estas celdas conectadas en paralelo emitiendo así al mismo tiempo, útil para la realización de ensayos no destructivos sin contacto en aire.

DISPOSITIVO ULTRASÓNICO PARA LA EMISIÓN DE ONDAS ACÚSTICAS
EN AIRE EN EL RANGO DE LOS ULTRASONIDOS

DESCRIPCIÓN

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

Sistemas de inspección ultrasónicos para aplicaciones de Ensayos No Destructivos (END) teniendo como medio de acople el aire. El campo de aplicación es amplio, destacando tanto el sector aeronáutico como el alimentario.

ESTADO DE LA TÉCNICA

15

Los sistemas de inspección ultrasónicos para aplicaciones de Ensayos No Destructivos (END) están siendo muy utilizados durante las últimas décadas. Gracias a estas técnicas, es posible comprobar el estado de una estructura o del contenido de un cuerpo o recipiente sin necesidad de abrirlo o destruirlo. A su vez, estas técnicas se pueden utilizar en contacto o sin tocar el cuerpo a comprobar teniendo así como medio de acople el aire.

Una de las partes más importantes de estos sistemas son los transductores ultrasónicos. Convencionalmente se han venido utilizando en mayor parte materiales piezoeléctricos para el desarrollo de los mismos. Sin embargo, en los últimos años se ha incorporado una nueva idea basada en el micromecanizado en silicio. Por estos procedimientos se han desarrollado Transductores Capacitivos Ultrasónicos Micromecanizados (cMUTs). Su unidad básica consiste en una capacidad formada por un electrodo fijo dentro de una cavidad y otro soportado sobre una micromembrana. Al aplicar una tensión de polarización y una señal de excitación, la membrana presentará un movimiento correspondiente a la frecuencia de excitación y al modo de resonancia. Esta

25
30

tecnología presenta un creciente interés debido al reducido tamaño de estos dispositivos. Gracias a esto, se abre la posibilidad de agrupación para así desarrollar complejas aperturas de array mejorando así la resolución del dispositivo en aplicaciones de imagen ultrasónica. Aún así, sectores como el aeronáutico o el alimentario, carecen de sistemas de inspección específicos que utilicen esta tecnología. De aquí la necesidad de desarrollar una nueva idea de transductor ultrasónico acoplado en aire de alta eficiencia en emisión siguiendo esta idea.

10 Concretamente, desde que apareció la primera generación de este tipo de transductores en el año 1994 (M.I. Haller and B.T. Khuri-Yakub, "A surface micromachined electrostatic ultrasonic air transducer". Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, Cannes Vol. 2 (1994), pp. 1241–1244), varios grupos han dedicado su trabajo en orientar los cMUTs a diferentes aplicaciones en el
15 rango de los ultrasonidos.

En los últimos años se han desarrollado sistemas basados en la tecnología cMUT tanto en aire como en medio líquido (David W. Shindel, David A. Hutchins, Lichun Zou and Michael Sayer, "The Design and Characterization of Micromachined Air-Coupled Capacitance Transducers". IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 42, nº 1, pp. 42-50, 1995 - Soh, H. T., Ladabaum, I., Atalar, A., Quate, C. F., and Khuri-Yakub, B. T. "Silicon micromachined ultrasonic immersion transducers". Appl. Phys. Lett., vol. 69, 3674–3676, 1996). Pocos grupos se están centrando en aplicaciones
20 para aire donde el más destacado es el grupo de David A. Hutchins de la Universidad de Warwick donde se han realizado con éxito ensayos sin contacto. Las aplicaciones en inmersión han sido el centro de las investigaciones de los grupos que han desarrollado los trabajos más importantes. El grupo de la Universidad de Stanford encabezado por Khuri-
25 Yakub es el más activo en el desarrollo de esta tecnología. Con cuatro generaciones de transductores y complejos diseños de electrónica asociada al transductor han conseguido obtener sistemas bastante mejorados para imagen
30

médica consiguiendo imágenes tridimensionales. Además de esto han conseguido realizar diferentes experiencias en aire para comprobar la viabilidad de esta tecnología en este medio obteniendo buenos resultados así como han buscado nuevas aplicaciones como sistemas para la medida de flujo de un gas.

5

Otro grupo bastante activo se encuentra en la Universidad de Georgia donde han elaborado un array anular para la obtención de un sistema ultrasónico de imagen intravascular (Joshua Knight, Jeff McLean, and F. Levent Degertekin, "Low Temperature Fabrication of Immersion Capacitive
10 Micromachined Ultrasonic Transducers on Silicon and Dielectric Substrates". IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 51, nº 10, pp. 1324-1333, 2004).

En la Universidad Roma Tre se ha desarrollado un sistema con el cual
15 se han conseguido imágenes ultrasónicas con buena resolución además de estudios bastante avanzados sobre el funcionamiento de cMUTs tanto analíticos como con elementos finitos (Giosuè Caliano, Riccardo Carotenuto, Elena Cianci, Vittorio Foglietti, Alessandro Caronti, Antonio Iula and Massimo Pappalardo, "Design, Fabrication and Characterization of a Capacitive
20 Micromachined Ultrasonic Probe for Medical Imaging". IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 52, nº 12, pp. 2259-2269, 2005). Los programas de elementos finitos se han convertido en la herramienta más utilizada para el análisis de estos dispositivos (Yongrae Roh and Butrus T. Khuri-Yakub, "Finite Element Analysis of Underwater Capacitor
25 Micromachined Ultrasonic Transducers". IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 49, nº 3, pp. 293-298, 2002).

Los problemas a los que más tiempo de investigación se está dedicando son los efectos de acoplamiento acústico (cross-talk) y de integración
30 electrónica. El cross-talk se da en mayor medida en aplicaciones de inmersión donde el medio hace que elementos colindantes a los activos tengan un movimiento no deseado. Esto se traduce en un peor funcionamiento global del

transductor provocando peor resolución en el caso de imagen. A lo largo de los años se han presentado trabajos en los que se han presentado varios estudios y mejoras tecnológicas para prevenir este efecto (Eccardt P.-C., Lohfink, A., Garssen H.-G.V. "Analysis of crosstalk between fluid coupled cMUT membranes". Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, 2005 pp. 593–596 -
5 Alessandro Caronti, Alessandro Savoia, Giosuè Caliano and Massimo Pappalardo, "Acoustic Coupling in Capacitive Microfabricated Ultrasonic Transducers: Modeling and Experiments". IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 52, nº 12, pp. 2220-2234, 2005).

10

En el caso de integración electrónica se han presentado varios diseños. El primero en desarrollar un cMUT integrado con su electrónica de acondicionamiento fue P. Eccardt de Siemens con un diseño no demasiado complejo con un coste asequible (Peter-Christian Eccardt, K. Niederer, T.
15 Scheite, C. Hierold, "Surface micromachined ultrasound transducers in CMOS technology". Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, 1996 pp. 959–962). Noble et al. de QinetiQ Ltd. Junto al grupo de Hutchins de la Universidad de Warwick desarrollaron un diseño de mayor complejidad y mayor coste (R.A. Noble, R.R. Davies, D.O. King, M.M. Day, A.R.D. Jones, J. S. McIntosh, D.A.
20 Hutchins, and P. Saul, "Low-Temperature Micromachined cMUTs with Fully Integrated Analogue Front-End Electronics". Proceedings IEEE Ultrasonics Symposium, 2002 pp. 1045–1050). La propuesta más novedosa realizada por el grupo de Khuri-Yakub de la Universidad de Standford, se basa en una tecnología donde el transductor está montado sobre la superficie de un
25 segundo chip que contiene la electrónica de acondicionamiento. Esto es posible debido a la implementación de los contactos eléctricos del cMUT en la parte posterior del mismo (Ira O. Wygant, David T. Yeh, Xuefeng Zhuang, Srikant Vaithilingam, Amin Nikoozadeh, Omer Oralkan, A. Sanli Ergun, Goksen G. Yaralioglu, and Butrus T. Khuri-Yakub, "Integrated Ultrasound Imaging
30 Systems Based on Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer Arrays" Proceedings IEEE Sensors, 2005 pp. 704-707). Es una alternativa que da una

gran flexibilidad a la hora de diseñar y un coste más bajo teniendo en cuenta que se utilizan como mínimo dos chips contando el del transductor.

Para estudiar cómo proporcionar mayor eficiencia a un transductor cMUT se debe tener especial cuidado en factores como la forma de la membrana, condiciones de contorno o la cavidad. Convencionalmente se han utilizado membranas circulares, cuadradas o hexagonales sujetas por todos sus lados debido a que su modo principal es el que más energía emite al medio. Además, se busca que la cavidad que existe entre electrodos sea de vacío y de pequeñas dimensiones para incrementar la sensibilidad.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El dispositivo ultrasónico para la emisión de ondas acústicas en aire en el rango de los ultrasonidos que constituye el objeto de esta invención cubre la necesidad de un sistema de alta eficiencia para ensayos no destructivos en aire.

Se ha comprobado que es posible mejorar la eficiencia en emisión en aire al utilizar el dispositivo objeto de la presente invención que está compuesto por una cavidad, una o varias aberturas (o puertos acústicos) y un elemento que excite el sistema como puede ser el caso de las membranas. Gracias a la cavidad resonante se puede generar una radiación en las aberturas conjunta y en fase con la producida por el movimiento de la membrana, incrementándose por tanto la superficie de radiación considerablemente.

Mientras en el cMUT convencional sólo se aprovecha la superficie central de la membrana, el dispositivo según la invención aporta una superficie cilíndrica en conjunto con la presión que tiene lugar en las aberturas y que se genera en fase gracias al resonador.

El dispositivo ultrasónico objeto de esta invención comprende al menos una celda formada por una membrana, que puede ser cuadrada con dos de sus lados libres por ejemplo. Al dejar la membrana parcialmente en condiciones de contorno libres, se le proporciona a la cavidad las aberturas necesarias. La longitud de la abertura podría ser la misma que el espesor de la membrana. En estas condiciones, el cMUT con cavidad resonante de la invención presenta un máximo de presión mayor que el máximo de presión del diseño convencional y tiene un mayor ancho de banda (Q de aproximadamente 4), lo que implica que el abanico de aplicaciones es más amplio pudiendo utilizarlo tanto excitando con señales de banda ancha como para emisión en una determinada frecuencia. La mejora en ancho de banda se debe básicamente a la reactancia que se añade al diseño al incluir la cavidad resonante. Ésta provoca además una disminución en el desplazamiento de la membrana.

El dispositivo ultrasónico de la invención puede ser utilizado en toda experiencia de ensayos no destructivos teniendo como medio de acople el aire, sin contacto, y sin necesidad de abrir o destruir la muestra para conocer su estado.

Un aspecto de la invención lo constituye un dispositivo ultrasónico para la emisión de ondas acústicas en aire en el rango de los ultrasonidos, en adelante dispositivo ultrasónico de la invención que comprende al menos una unidad básica o celda cMUT que a su vez comprende:

- i.- una membrana flexible,
- ii.- una cavidad resonante sobre la que se encuentra acoplada la membrana flexible,
- iii.- un electrodo superior de metal conductor situado en la membrana, y
- iv.- un electrodo inferior fijo situado dentro de la cavidad resonante.

A partir de esta configuración básica el dispositivo ultrasónico de la invención destaca fundamentalmente porque la membrana flexible está acoplada a la cavidad resonante definiendo una o varias aberturas para

provocar una amplificación la señal en emisión y que está ajustada para que el dispositivo se comporte como un resonador de Helmholtz, y cuyo volumen de la cavidad ha de ser tal que dicha cavidad amplifique la frecuencia correspondiente al primer modo de la membrana para lo cual debe cumplir la siguiente ecuación:

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V(l+\delta)}}$$

donde fr representa la frecuencia de Helmholtz que debe ser igual a la correspondiente al modo fundamental de la membrana, c es la velocidad de propagación de la onda en el medio, A es la superficie de las aberturas de la cavidad, V es el volumen de la cavidad, l es la longitud de las aberturas y δ es un factor de corrección de la abertura.

Se ha previsto que el electrodo interior fijo se encuentre situado en un soporte dentro de la cavidad resonante y que presente una forma acorde con la geometría de la membrana y del electrodo superior de metal conductor.

Un aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde la membrana es de un material flexible seleccionado entre silicio, nitruro de silicio y polisilicio.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde la membrana presenta una forma seleccionada entre cuadrada, rectangular y circular.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde el electrodo superior de metal conductor es de un material seleccionado entre Aluminio y oro.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde el electrodo superior de material conductor es la propia membrana si la membrana es de un material conductor seleccionado entre silicio y polisilicio.

5

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde la membrana puede estar acoplada a la cavidad por todo su contorno en el que las aberturas están definidas en un plano distinto a la superficie de dicha membrana o bien la membrana puede estar acoplada a la cavidad con parte de su contorno libre definiéndose en dichos tramos de contorno libre las aberturas por donde se emite la radiación acústica debido a la cavidad resonante.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde el electrodo inferior fijo, de forma alternativa, en lugar de estar sujeto en el soporte dentro de la cavidad, está constituido por el mismo soporte, en el caso de que dicho soporte sea de un material conductor o de un material dopado.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde adicionalmente comprende un sustrato en el que se localiza la cavidad resonante, de un material seleccionado entre silicio, vidrio y cuarzo.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde la membrana puede estar soportada por una estructura construida en el sustrato o puede estar soportada por unos soportes de un material seleccionado entre nitruro de silicio, óxido de silicio y polisilicio.

Otro aspecto particular de la invención lo constituye el dispositivo ultrasónico de la invención donde cada uno de los elementos conductores, tales como los electrodos, se pueden pasivar para prevenir problemas

eléctricos, añadiendo donde sea conveniente un aislante de un material seleccionado entre nitruro de silicio y óxido de silicio.

5 Por otro lado, el dispositivo ultrasónico de la invención puede utilizarse para fabricar un emisor que comprende varias de estas celdas conectadas en paralelo emitiendo así al mismo tiempo. De esta manera se pueden agrupar formando un único elemento o se pueden agrupar formando elementos de un array tanto unidimensional como bidimensional para conseguir una mayor resolución en imagen.

10

Otro aspecto de la invención lo constituye el uso del dispositivo ultrasónico de la invención para la realización de ensayos no destructivos sin contacto en aire.

15

Con el transductor de la presente invención, se da un paso más hacia las aplicaciones con cMUTs en aire (aplicaciones sin contacto) y más concretamente en los ensayos no destructivos. Debido a que en END en aire se suele trabajar en un rango de frecuencia distinto (menor a 1 MHz), las dimensiones del transductor de la presente invención se verán incrementadas

20

respecto a otros diseños convencionales.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

25

Figura 1.- Muestra un diseño de una celda convencional de acuerdo con una realización perteneciente al estado de la técnica.

Figura 2.- Muestra una vista completa de un emisor con membrana cuadrada, de acuerdo con la invención.

30

Figura 3.- Muestra un corte transversal del diseño representado en la figura 2 en el que se percibe con mayor claridad la forma del electrodo inferior soportado en una estructura tipo tabique.

5 Figura 4.- Muestra una gráfica en la que se observa la amplitud en función de la frecuencia de la presión a 200 micras emitida por un cMUT convencional (en línea discontinua) y por un cMUT de la invención con cavidad resonante según la invención (en línea continua) en dB referidos al máximo de presión emitida por la tipología que se presenta.

10

Figura 5.- Muestra una gráfica en la que se observa la presión en función del tiempo para un barrido de izquierda a derecha sobre la superficie de la membrana, donde se demuestra que las presiones en las aberturas de la membrana se presentan en fase con la presión correspondiente a la superficie de la misma.

15

EJEMPLO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

20 En la figura 2 se observa el dispositivo ultrasónico para la emisión de ondas acústicas en aire en el rango de los ultrasonidos que constituye el objeto de esta invención, el cual comprende en este caso una celda formada por una membrana flexible (3), un electrodo superior (1) rectangular para favorecer el movimiento del primer modo de resonancia de la membrana flexible (3), un
25 electrodo inferior (2) con la misma forma que el superior, unas aberturas (7), y una cavidad (5) ajustada para su funcionamiento como resonador de Helmholtz y un sustrato (6).

30 En la figura 3 se observa en detalle el interior de la celda donde se aprecia el electrodo inferior (2).

La figura 1 muestra una Celda cMUT convencional con forma cuadrada, perteneciente al estado de la técnica, para comparar el funcionamiento entre esta tipología y la celda de la invención, tal y como se realiza en el diagrama de la figura 4. La celda convencional se compone de membrana (3') cuadrada sujeta por todos sus lados, un electrodo superior (1') rectangular y un sustrato (6') de silicio que funciona como electrodo inferior. Aunque no se refleje en la figura, existe una pequeña cavidad entre membrana (3') y sustrato (6').

En la Figura 2 se muestra la tipología que se corresponde con la realización particular de los posibles dispositivos de la invención. Concretamente, la unidad básica o celda MUT de un transductor de la invención se compone de la mencionada membrana flexible (3), en este caso emisora, cuadrada y de nitruro de silicio con dos de sus lados libres (para proporcionar aberturas (7) a la cavidad (5)) y así conseguir un mayor desplazamiento de la misma provocando una mayor excitación al sistema resonante, mostrando en este caso unas dimensiones de 150 por 150 micras. Al dejar la membrana flexible (3) parcialmente con condiciones de contorno libres, se le proporciona a la cavidad (5) las aberturas (7) necesarias. En este caso, la longitud de la abertura (7) se corresponde con el espesor de la membrana flexible (3).

En la figura 3 se observa un soporte (4) del electrodo inferior (2) dentro de la cavidad (5) que se corresponde con una estructura tipo muro o tabique sobre el cual puede existir una metalización, o bien el mismo soporte (4) puede ser de un material conductor o estar tratado para comportarse como tal. Este caso particular se corresponde con un soporte (4) de silicio dopado para que funcione como conductor al que se le ha añadido una capa de material aislante (nitruro de silicio) por encima para evitar problemas eléctricos, de tal forma que se comporta como electrodo inferior.

30

La forma del electrodo inferior (2) se corresponde con la geometría del electrodo superior (1) situado sobre la membrana (3) para favorecer el

movimiento del primer modo de resonancia de la membrana y cavidad (5) ajustada para su funcionamiento como resonador de Helmholtz.

La celda se ha fabricado, tal como se ha comentado anteriormente, de tal forma que la cavidad (5) permita que ésta amplifique la frecuencia correspondiente al primer modo de la membrana de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V(l+\delta)}}$$

10

donde fr representa la frecuencia de Helmholtz que debe ser igual a la correspondiente al modo fundamental de la membrana (3), c es la velocidad de propagación de la onda en el medio, A es la superficie que corresponde con las aberturas (7) de la cavidad (5), V es el volumen de la cavidad (5), l es la longitud de las aberturas (7) y δ es un factor de corrección de la abertura (7).

Así, el volumen de la cavidad (5) resonante de esta realización particular es de $298800 \mu\text{m}^3$, la superficie de una abertura $375 \mu\text{m}^2$, por lo que para 2 aberturas $A = 750 \mu\text{m}^2$, $l = 2 \mu\text{m}$ y el factor de corrección correspondiente a dos aberturas rectangulares de $\delta = 0.96 \cdot (A)^{1/2}$, obteniéndose un valor de fr en aire ($c = 340 \text{ m/s}$) de aproximadamente 500 kHz .

Un elemento del emisor final se compone de un gran número de estas celdas conectadas en paralelo emitiendo así al mismo tiempo. De esta manera se pueden agrupar formando un único elemento o se pueden agrupar formando elementos de un array tanto unidimensional como bidimensional para conseguir una mayor resolución en imagen.

En la Figura 4 se muestra la presión emitida por cada una de las tipologías (celda cMUT con cavidad resonante de la invención representada en la figura 2, y celda cMUT convencional, figura 1). La presión que se dibuja en la

figura está calculada a la misma distancia para cada una (200 micras). Como el cMUT convencional presenta diferentes condiciones de contorno, su frecuencia de resonancia varía. Debido a esto, se ha diseñado una membrana de mayores dimensiones para que presente su modo principal aproximadamente en el mismo valor que la tipología con cavidad resonante (membrana de 5 dimensiones 195 por 195 micras y distancia entre membrana y electrodo inferior de 2 micras).

Para mayor igualdad, se ha alimentado el cMUT convencional para que 10 presente el mismo desplazamiento máximo de la membrana. En estas condiciones, se demuestra que el cMUT con cavidad resonante de la invención presenta un máximo de presión 11 dB mayor que el máximo de presión del diseño convencional. Además, el nuevo diseño tiene un mayor ancho de banda. Presenta un Q de aproximadamente 4 mientras que el convencional 15 tiene un valor de 7, lo que implica que el abanico de aplicaciones es más amplio pudiendo utilizarlo tanto excitando con señales de banda ancha como para emisión en una determinada frecuencia.

Estos resultados se deben principalmente a que la superficie de 20 radiación se ha incrementado considerablemente con el nuevo diseño. Cuando en el cMUT convencional sólo se aprovecha la superficie central de la membrana, el nuevo diseño aporta una superficie cilíndrica en conjunto con la presión que tiene lugar en las aberturas y que se genera en fase gracias al resonador. En la Figura 5 se puede comprobar como la presión en las 25 aberturas está en fase con la producida por la membrana.

La mejora en ancho de banda se debe básicamente a la reactancia que se añade al diseño al incluir la cavidad resonante. Ésta provoca además una disminución en el desplazamiento de la membrana. Debido a esto la tensión de 30 excitación debe ser mayor en el caso del nuevo diseño para conseguir el mismo desplazamiento máximo.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo ultrasónico para la emisión de ondas acústicas en aire en el rango de los ultrasonidos que comprende al menos una unidad básica o celda
5 cMUT que a su vez comprende:

una membrana flexible (3),

una cavidad resonante (5) sobre la que se encuentra acoplada la membrana flexible (3),

un electrodo superior (1) de metal conductor situado en la membrana
10 flexible (3), y

un electrodo inferior (2) situado dentro de la cavidad resonante (5),
caracterizado porque la membrana flexible (3) está acoplada a la cavidad resonante (5) definiendo una o varias aberturas (7) para provocar una
amplificación la señal en emisión y que está ajustada para que el dispositivo se
15 comporte como un resonador de Helmholtz, y cuyo volumen de la cavidad resonante (5) ha de ser tal que dicha cavidad resonante (5) amplifique la frecuencia correspondiente al primer modo de la membrana para lo cual debe cumplir la siguiente ecuación:

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V(l+\delta)}}$$

20 donde fr representa la frecuencia de Helmholtz que debe ser igual a la correspondiente al modo fundamental de la membrana flexible (3), c es la velocidad de propagación de la onda en el medio, A es la superficie de las aberturas (7) de la cavidad resonante (5), V es el volumen de la cavidad resonante (5), l es la longitud de las aberturas (7) y δ es un factor de corrección
25 de la abertura (7),

en el que el electrodo interior fijo (2) se encuentra situado en un soporte (4) dentro de la cavidad resonante (5) presentando una forma acorde con la geometría de la membrana flexible (3) y del electrodo superior (1).

- 2.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque el material flexible de la membrana flexible (3) se selecciona entre silicio, nitruro de silicio y polisilicio.
- 5 3.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque la membrana flexible (3) presenta una forma seleccionada entre cuadrada, rectangular y circular.
- 10 4.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque el electrodo superior (1) es de un material seleccionado entre Aluminio y oro.
- 15 5.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque el electrodo superior (1) es la propia membrana flexible (3) si la membrana flexible (3) es de un material conductor seleccionado entre silicio y polisilicio.
- 20 6.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque la membrana flexible (3) está acoplada a la cavidad resonante (5) por todo su contorno en el que las aberturas (7) están definidas en un plano distinto a la superficie de dicha membrana flexible (3).
- 25 7.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque la membrana está acoplada a la cavidad resonante (5) con parte de su contorno libre definiéndose en dichos tramos de contorno libre las aberturas (7) por donde se emite la radiación acústica debido a la cavidad resonante (5).
- 30 8.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque el electrodo inferior (2) está constituido por el mismo soporte (4), en el caso de que dicho soporte (4) sea de un material conductor o de un material dopado.
- 9.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque adicionalmente comprende un sustrato (6) en el que se localiza la cavidad resonante (5), de un material seleccionado entre silicio, vidrio y cuarzo.

- 10.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 9 caracterizado porque la membrana flexible (3) está soportada por una estructura construida en el sustrato (6).
- 5 11.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 o 9 caracterizado porque la membrana flexible (3) está soportada por unos soportes situados sobre el sustrato (6) de un material seleccionado entre nitruro de silicio, óxido de silicio y polisilicio.
- 10 12.- Dispositivo ultrasónico según la reivindicación 1 caracterizado porque cada uno de los electrodos (1, 2) se pasiva para prevenir problemas eléctricos, incorporando opcionalmente un aislante de un material seleccionado entre nitruro de silicio y óxido de silicio.
- 15 13.- Uso del dispositivo ultrasónico descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 para la realización de ensayos no destructivos sin contacto en aire.

20

25

30

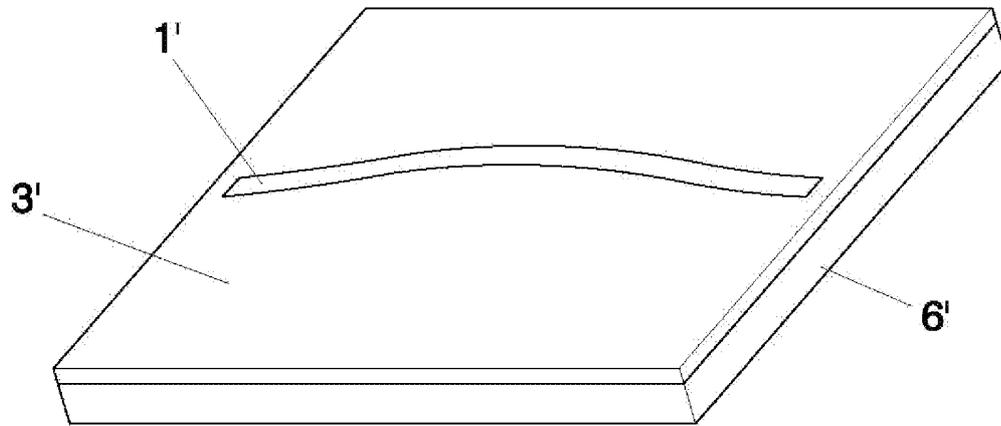


FIG. 1

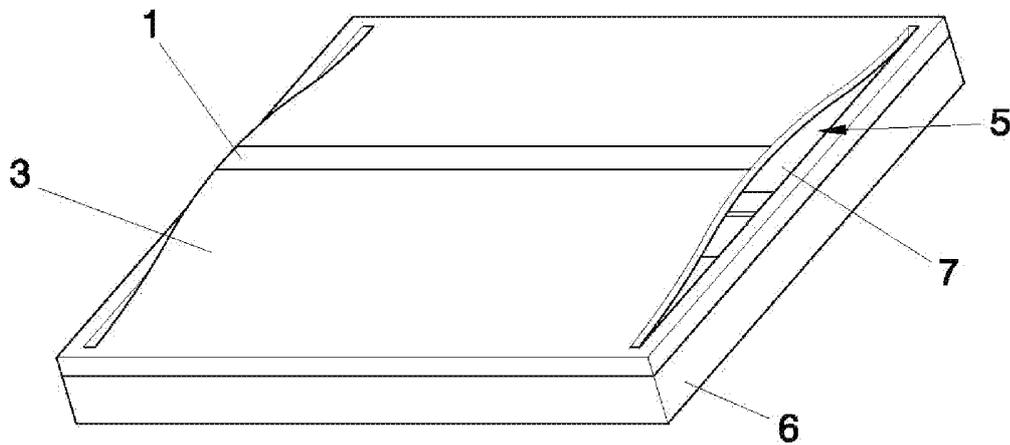


FIG. 2

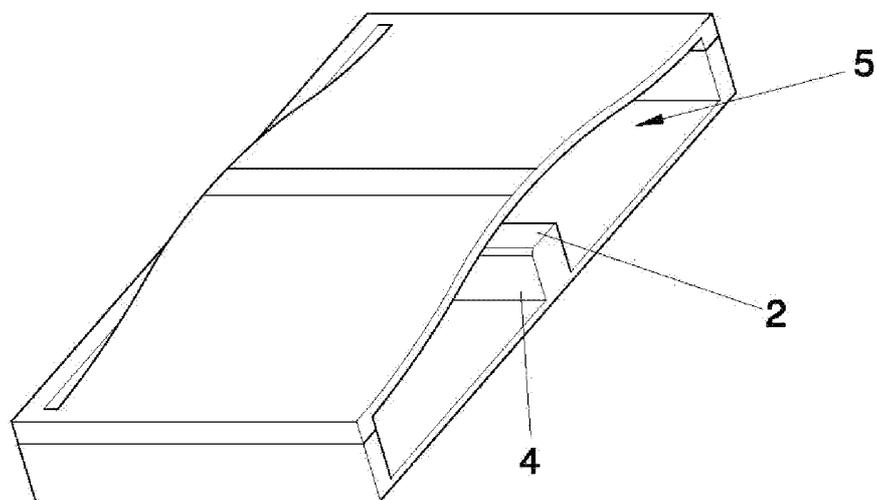


FIG. 3

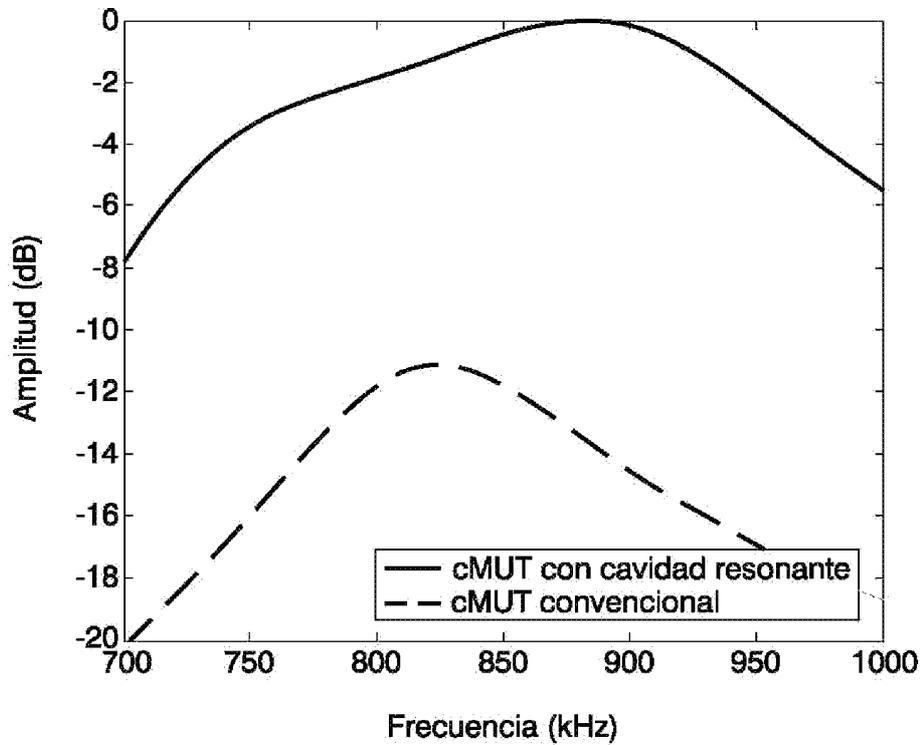


FIG. 4

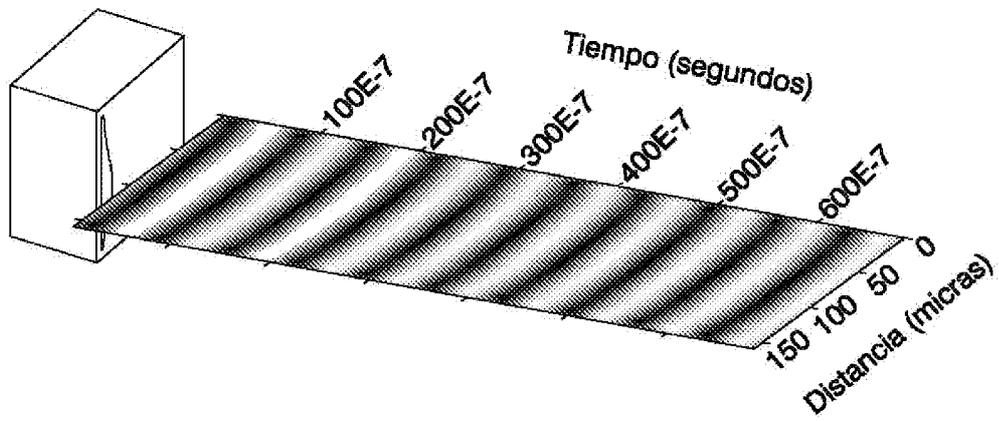


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/070354

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

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)

G01H 11/06, B81B 3/00, G01R 3/00, H04R 31/00

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)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, internet

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007/0180916 A1 (TIAN et al.) 09.08.2007, paragraphs [0003], [0005]-[0009], [0022]-[0030], [0032], [0035], [0038], [0045], [0048], [0050], [0061], [0065]; claim 12 and 21; figures.	1-13
A	J. HIETANEN et al. "A Helmholtz resonator modthe for an electrostatic ultrasonic air transducer with a V-grooved backplate". Sensors and Actuators A, 39 (1993) 129-132. XP026482351 A 19931101 (retrieved from the EPOQUE).	1,4
A	I.LEON et al. "Evaluation of MUMPS polysilicon structures for thermal flows sensors". Microelectronics Reliability 44 (2004) 651-655. (retrieved from the internet)	1

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 document 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 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

22 December 2009 (22.12.2009)

Date of mailing of the international search report

(30.12.2009)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

B. Tejedor Miralles

Telephone No. +34 91 349 68 79

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2009/070354

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007180916 A	09.08.2007	FR 2897051 A CN 101018428 A JP 2007215177 A DE 102007007178 A	10.08.2007 15.08.2007 23.08.2007 30.08.2007

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/070354

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01H 11/06 (2006.01)

B81B 3/00 (2006.01)

G01R 3/00 (2006.01)

H04R 31/00 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°
PCT/ ES 2009/070354

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01H 11/06, B81B 3/00, G01R 3/00, H04R 31/00

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, internet

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
A	US 2007/0180916 A1 (TIAN et al.) 09.08.2007, párrafos [0003], [0005]-[0009], [0022]-[0030], [0032], [0035], [0038], [0045], [0048], [0050], [0061], [0065]; reivindicaciones 12 y 21; figuras.	1-13
A	J. HIETANEN et al. "A Helmholtz resonator model for an electrostatic ultrasonic air transducer with a V-grooved backplate". Sensors and Actuators A, 39 (1993) 129-132. XP026482351 A 19931101 (recuperado de EPOQUE).	1,4
A	I.LEON et al. "Evaluation of MUMPS polysilicon structures for thermal flows sensors". Microelectronics Reliability 44 (2004) 651-655. (recuperado de internet)	1

En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

<p>* Categorías especiales de documentos citados:</p> <p>“A” documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.</p> <p>“E” solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.</p> <p>“L” documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).</p> <p>“O” documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.</p> <p>“P” documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.</p>	<p>“T” documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.</p> <p>“X” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.</p> <p>“Y” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.</p> <p>“&” documento que forma parte de la misma familia de patentes.</p>
--	--

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

22 Diciembre 2009 (22.12.2009)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

30 DICIEMBRE 2009 (30.12.2009)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
N° de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

B. Tejedor Miralles

N° de teléfono +34 91 349 68 79

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2009/070354

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 2007180916 A	09.08.2007	FR 2897051 A CN 101018428 A JP 2007215177 A DE 102007007178 A	10.08.2007 15.08.2007 23.08.2007 30.08.2007

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G01H 11/06 (2006.01)

B81B 3/00 (2006.01)

G01R 3/00 (2006.01)

H04R 31/00 (2006.01)