

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 997 785**

51 Int. Cl.:

B06B 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.07.2019 PCT/CA2019/051046**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.02.2020 WO20024051**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2019 E 19845051 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024 EP 3830565**

54 Título: **Transductor ultrasónico**

30 Prioridad:

31.07.2018 US 201862712595 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

18.02.2025

73 Titular/es:

RESONANT ACOUSTICS INTERNATIONAL INC.

(100.00%)

46 Riviera Drive

Markham, ON L3R 5M1, CA

72 Inventor/es:

CHAGGARES, NICHOLAS CHRIS;

RIEDER, ERIC M. y

KARSHAFIAN, KHACHIC

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 997 785 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Transductor ultrasónico

5 Solicitud de patente relacionada

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente US 62/712,595 presentada el 31 de julio de 2018.

10 Campo técnico

El campo técnico generalmente se refiere al campo de la energía acústica y más particularmente se refiere a un transductor ultrasónico, dispositivos, aparatos, métodos y técnicas relacionados.

15 Antecedentes

15 La transmisión de energía acústica hacia y desde un transductor ultrasónico se ve afectada al menos parcialmente por el desajuste de la impedancia acústica, por ejemplo, la diferencia en la impedancia acústica entre el o los materiales incluidos en el transductor ultrasónico (por ejemplo, una piezocerámica) y el o los materiales acoplados acústicamente con el transductor ultrasónico. Generalmente, cuando las impedancias acústicas entre el transductor ultrasónico y el o los materiales se igualan, se mejora la transferencia de energía entre sí.

20 Un experto en la técnica generalmente sabe que existen técnicas de adaptación de impedancia para mejorar la eficiencia de transmisión de ondas acústicas a través de diferentes materiales. Tales técnicas de adaptación de impedancia generalmente implican una compensación entre el ancho de banda y la eficiencia y vienen con un cierto nivel de complejidad. Cuando se necesita un ancho de banda grande, el diseño del transductor ultrasónico, que incluye los sistemas de adaptación, resulta ser más complejo. Tal complejidad añade notablemente costos al transductor ultrasónico. Sigue siendo un desafío diseñar e implementar transductores ultrasónicos que tengan un ancho de banda grande, y por lo tanto las soluciones conocidas en la técnica todavía están fundamentalmente limitadas en ancho de banda.

30 A veces se requiere que una amplia variedad de materiales se acople acústicamente con un transductor ultrasónico. Tales materiales pueden usarse en muchas aplicaciones industriales y médicas. Los ejemplos comunes incluyen, pero no se limitan a, tejido biológico (por ejemplo, cuerpos humanos y animales), materiales orgánicos (por ejemplo, madera y polímeros), materiales inorgánicos (por ejemplo, metales), materiales compuestos (por ejemplo, compuestos de carbono) y cerámicas. Los materiales mencionados anteriormente tienen impedancias acústicas que varían de aproximadamente 1 MegaRayles (MR) ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) a más de 60 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

40 Los materiales que se acoplarán acústicamente con los transductores ultrasónicos pueden clasificarse en cuatro categorías: materiales que tienen una impedancia acústica mayor que los materiales piezoeléctricos (en la presente descripción denominados "primera categoría"), materiales que tienen una impedancia acústica cercana a los materiales piezoeléctricos (en la presente descripción denominados "segunda categoría"), materiales que tienen una impedancia acústica menor que los materiales piezoeléctricos (en la presente descripción denominados "tercera categoría") y materiales biológicos que tienen una impedancia acústica mucho menor que la mayoría de los materiales piezoeléctricos (en la presente descripción denominados "cuarta categoría").

45 Los ejemplos de materiales de la primera categoría son, por ejemplo y sin ser limitativos, tungsteno, molibdeno, níquel y oro. Estos materiales tienen una impedancia acústica de más de aproximadamente 45 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Los ejemplos de materiales de segunda categoría son, por ejemplo y sin ser limitativos, latón, plata, zirconio y hierro fundido. Estos materiales tienen una impedancia acústica entre aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) y aproximadamente 40 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Los ejemplos de materiales de tercera categoría son, por ejemplo y sin ser limitativos, magnesio, aluminio, indio, titanio y estaño. Estos materiales tienen una impedancia acústica que varía de aproximadamente 10 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Los ejemplos de materiales de la cuarta categoría son, por ejemplo y sin ser limitativos, grasa, músculo u órganos. Estos materiales tienen típicamente una impedancia acústica entre aproximadamente 1,2 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) y aproximadamente 1,8 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). El hueso es otro ejemplo de material de cuarta categoría y puede tener una impedancia acústica de entre aproximadamente 5 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) y aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Sin embargo, debe señalarse que este valor puede variar en gran medida.

60 El documento US 2017/065253 describe conjuntos de transductores de ultrasonido y sistemas asociados. De acuerdo con una modalidad, un conjunto de transductor de ultrasonido incluye al menos una capa de adaptación que cubre una capa del transductor. Una pluralidad de cortes se extiende al menos en la capa de coincidencia. En algunos aspectos, las ranuras están, al menos, parcialmente llenas con un material de relleno que incluye microburbujas y/o microesferas.

65 La publicación de solicitud de patente de los Estados Unidos US 2005/225211 describe capas de coincidencia fundibles que tienen una impedancia acústica deseada formada con compuestos de hafnio.

Todavía existe la necesidad de técnicas, aparatos, dispositivos y métodos que alivien o mitiguen los problemas de la técnica anterior.

Resumen

- 5
- La presente invención proporciona un transductor ultrasónico, que incluye una capa compuesta piezoeléctrica configurada para estar en comunicación acústica con una muestra y que tiene propiedades de impedancia acústica y de impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas, la capa compuesta piezoeléctrica que incluye una serie de regiones piezoeléctricas separadas, cada región piezoeléctrica separada está hecha de un material piezoeléctrico que tiene una primera impedancia acústica y una primera permitividad relativa eléctrica; un material de relleno posicionado entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas, el material de relleno incluye una matriz polimérica que tiene una segunda impedancia acústica y una segunda permitividad relativa eléctrica, la segunda impedancia acústica es menor que la primera impedancia acústica, y la segunda permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa; y un material no piezoeléctrico en contacto con la matriz polimérica, el material no piezoeléctrico tiene una tercera impedancia acústica y una tercera permitividad relativa, la tercera impedancia acústica es mayor que la segunda impedancia acústica, y la tercera permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa; y uno o más electrodos en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica.
- 10
- 15
- 20
- La matriz polimérica está hecha de epoxi y el material no piezoeléctrico es polvo de óxido de hafnio.
- En algunas modalidades, el transductor ultrasónico incluye además una o más regiones eléctricamente aislantes posicionadas entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas, estando en contacto la una o más regiones eléctricamente aislantes con el material de relleno.
- 25
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes tienen una cuarta impedancia acústica y una cuarta permitividad relativa, la cuarta impedancia acústica que es cercana a la primera impedancia acústica, y la cuarta permitividad relativa que es menor que la primera permitividad relativa.
- 30
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes se fabrican de cerámica.
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes se fabrican de vidrio.
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes tienen una forma alargada.
- 35
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes definen regiones eléctricamente aislantes en forma de barra.
- En algunas modalidades, la una o más regiones eléctricamente aislantes definen regiones eléctricamente aislantes en forma de pilares.
- 40
- En algunas modalidades, el transductor ultrasónico incluye además la una o más regiones eléctricamente aislantes que son esféricas.
- 45
- En algunas modalidades, el material no piezoeléctrico se incrusta dentro de la matriz polimérica.
- En algunas modalidades, el material piezoeléctrico es continuo a lo largo de una dirección; y el material de relleno es continuo a lo largo de tres direcciones.
- 50
- En algunas modalidades, el material piezoeléctrico es continuo a lo largo de dos direcciones; y el material de relleno es continuo a lo largo de dos direcciones.
- En algunas modalidades, la propiedad de impedancia acústica varía de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).
- 55
- En algunas modalidades, la primera impedancia acústica varía de aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 40 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).
- En algunas modalidades, la tercera impedancia acústica varía de aproximadamente 7 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).
- 60
- En algunas modalidades, el transductor ultrasónico incluye además una capa de respaldo en comunicación eléctrica con el uno o más electrodos.
- 65
- En algunas modalidades, la capa de respaldo es una capa de desajuste.

En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica y la muestra definen una trayectoria acústica entre ellas, el transductor ultrasónico que incluye además una capa acústicamente ajustada casi sin pérdidas posicionada a lo largo de la trayectoria acústica, entre la capa compuesta piezoeléctrica y la muestra.

5 En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica tiene un grosor de aproximadamente 2400 micras.

En algunas modalidades, cada región piezoeléctrica separada está separada por 200 micras una de otra y tiene una sección transversal cuadrada, la sección transversal cuadrada es de 1000 micras por 1000 micras.

10 En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica tiene una fracción de volumen piezoeléctrica que varía de aproximadamente 70 % a aproximadamente 80 %.

15 Otras características y ventajas de la presente descripción se harán más evidentes tras la lectura de la siguiente descripción no restrictiva de modalidades específicas de la misma, dadas a modo de ejemplo solo con referencia a las figuras adjuntas.

Breve descripción de las figuras

20 La Figura 1 ilustra una vista en sección transversal de un transductor ultrasónico, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 2 ilustra una vista en sección transversal de un transductor ultrasónico, de acuerdo con otra modalidad.

25 La Figura 3 muestra una vista superior de una capa compuesta piezoeléctrica para un transductor ultrasónico, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 4 muestra una vista superior de una capa compuesta piezoeléctrica para un transductor ultrasónico, de acuerdo con otra modalidad.

30 La Figura 5A representa una vista en perspectiva de un transductor ultrasónico, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 5B representa una vista en sección transversal despiezada del transductor ultrasónico de la Figura 5A.

Descripción detallada

35 En la siguiente descripción, las características similares en los dibujos se han dado con números de referencia similares y, para no sobrecargar indebidamente las figuras, algunos elementos pueden no indicarse en algunas figuras si ya se identificaron en una o más figuras anteriores. También debe entenderse en la presente descripción que los elementos de los dibujos no se representan necesariamente a escala, ya que se hace hincapié en ilustrar claramente los elementos y estructuras de las presentes modalidades. Los términos "un", "una" y "uno" se definen en la presente descripción para significar "al menos uno", es decir, estos términos no excluyen un número plural de elementos, a menos que se indique lo contrario. También debe señalarse que los términos tales como "sustancialmente", "generalmente" y "aproximadamente", que modifican un valor, condición o característica de una característica de una modalidad ilustrativa, deben entenderse como que el valor, condición o característica se define dentro de las tolerancias que son aceptables para el funcionamiento adecuado de esta modalidad ilustrativa para su aplicación prevista.

40 En la presente descripción, los términos "conectado", "acoplado" y variantes y derivados de estos, se refieren a cualquier conexión o acoplamiento, ya sea directo o indirecto, entre dos o más elementos. La conexión o acoplamiento entre los elementos puede ser acústica, mecánica, física, óptica, operativa, eléctrica, inalámbrica o una de sus combinaciones.

50 Se apreciará que los descriptores posicionales que indican la posición u orientación de un elemento con respecto a otro elemento se usan en la presente descripción para facilitar y aclarar la descripción y, a menos que se indique de cualquier otra manera, deben tomarse en el contexto de las figuras y no deben considerarse limitantes. Se entenderá que los términos relativos espacialmente (por ejemplo, "exterior" e "interior", "fuera" e "interior", "periferia" y "central", y "arriba" y "abajo") pretenden abarcar diferentes posiciones y orientaciones en el uso u operación de las presentes modalidades, además de las posiciones y orientaciones ejemplificadas en las figuras.

Descripción teórica general

60 Existen muchos métodos y materiales que pueden usarse para producir transductores acústicos electromecánicos. Algunos ejemplos incluyen cristales piezoeléctricos, cerámicas ferroeléctricas, cristales ferroeléctricos individuales, polímeros ferroeléctricos, transductores ultrasónicos micromecanizados capacitivos (CMUT), transductores ultrasónicos micromecanizados piezoeléctricos (PMUT) y sistemas dinámicos basados en bobinas.

65

Una categoría amplia de materiales piezoeléctricos de rendimiento relativamente alto se denomina materiales ferroeléctricos. Los materiales ferroeléctricos son algunos de los materiales piezoeléctricos más comúnmente usados en transductores acústicos, tales como transductores ultrasónicos. Los materiales ferroeléctricos tienen típicamente características de impedancia acústica que varían de aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 40 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Por ejemplo, una de las cerámicas ferroeléctricas más comunes, una familia de formulaciones generalmente conocida como titanato de zirconato de plomo (PZT) tiene típicamente una impedancia acústica en el intervalo de aproximadamente 33 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 35 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Otra categoría de materiales piezoeléctricos de rendimiento relativamente alto son los materiales ferromagnéticos de cristal único, que incluyen, por ejemplo y sin ser limitativos, niobato de litio (PMN-PT o PIN-PMN-PT). Estos materiales ferromagnéticos de un solo cristal tienen una impedancia acústica en el intervalo de aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 35 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Otra categoría más incluye los materiales ferroeléctricos libres de plomo emergentes, tales como, por ejemplo y sin ser limitativo, $(\text{K}_{0,5}\text{Na}_{0,5})\text{NbO}_3$ (KNN) y $(\text{K}_{0,48}\text{Na}_{0,52})_{0,96}\text{Li}_{0,04}\text{Nb}_{0,85}\text{Ta}_{0,15}\text{O}_3$ (KNLNT). Estos materiales tienen una impedancia acústica de aproximadamente 31 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) que es ligeramente menor que la mayoría de las variantes de PZT. Aún otra categoría de materiales piezoeléctricos incluye polímeros piezoeléctricos tales como PVDF y copolímeros tales como P(VDF-TrFE). Estos materiales ferroeléctricos a base de polímeros tienen una eficiencia electromecánica mucho menor que los cristales y cerámicas monocristalinos a base de relajadores, sin embargo, tienen una impedancia acústica muy baja y propiedades únicas que a menudo son muy adecuadas para funcionar como receptores en sistemas basados en inmersión.

A pesar de una amplia variedad de materiales piezoeléctricos potenciales, sigue existiendo una categoría dominante de materiales ferroeléctricos basados en PZT y relajadores relacionados que superan a la mayoría de los otros materiales en un margen suficiente para relegar a otros materiales piezoeléctricos a aplicaciones de nicho. Como resultado, la mayoría de los transductores dependen de materiales piezoeléctricos que tienen una impedancia acústica muy similar que cae en un pequeño intervalo de aproximadamente 33 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 38 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Los transductores ultrasónicos basados en un material piezoeléctrico que tiene una impedancia acústica que coincide estrechamente con el material que se somete a ultrasonido mejoran la eficiencia del sistema, ya sea mediante la reducción de los requisitos de coincidencia, o mediante el aumento de la eficiencia de transmisión general y el ancho de banda. Algunos materiales piezoeléctricos se combinan acústicamente bien con algunos materiales. Sin embargo, existe la necesidad de someter a ultrasonido, inspeccionar mediante ultrasonido y/o probar muchos materiales para los cuales no existe un material transductor acústicamente adecuado.

La impedancia acústica de un material piezoeléctrico puede reducirse junto con el potencial de mejorar la eficiencia electromecánica del material piezoeléctrico mediante la creación de un compuesto del material piezoeléctrico y otro material de impedancia acústica generalmente más bajo que actúa como un relleno y forma una matriz de soporte que rodea el material piezoeléctrico por uno de muchos medios. Sin embargo, se entiende que existen compensaciones entre la eficiencia acústica, la impedancia eléctrica y la impedancia acústica al fabricar compuestos piezoeléctricos.

Los compuestos comúnmente usados en transductores ultrasónicos son generalmente de la configuración 1 3 o 2 2, en donde el primer número indica el número de direcciones en las que el material piezoeléctrico es continuo en toda la estructura, mientras que el segundo número indica el número de direcciones en las que el material de relleno es continuo en toda la estructura. Algunos ejemplos de métodos para crear materiales piezoeléctricos compuestos incluyen el corte, grabado, moldeo o empaquetamiento aleatorio de materiales piezoeléctricos, y el relleno o unión de otros materiales tales como elastómeros, epoxis, polímeros o gases intercalados entre los pilares o vigas piezoeléctricos para formar el compuesto.

Un ejemplo de un material compuesto en la configuración 1 3 incluye un compuesto picado y relleno que tiene pilares de sección transversal cuadrada y ranuras rellenas con un material que tiene una impedancia acústica más baja. Tales compuestos pueden utilizar una resonancia de modo de barra en los pilares piezoeléctricos, lo que hace posible un coeficiente de acoplamiento electromecánico más eficiente limitado por el k_{33} propiedad del piezoeléctrico (típicamente - 0,7 para PZT) que limita el rendimiento de las vibraciones de modo de placa más típico de los transductores simples de disco o placa longitudinal. Cabe señalar que la impedancia acústica del compuesto puede reducirse en comparación con el material piezoeléctrico puro que cae en algún lugar entre el material piezoeléctrico y el relleno de matriz, en base a un número de parámetros de diseño de la geometría del compuesto y las propiedades del material de ambos el material piezoeléctrico y el material de relleno. Por lo tanto, hacer que el emparejamiento de materiales de menor impedancia acústica sea menos difícil y lograr relaciones de señal a ruido más altas.

Se ha realizado mucho trabajo en la técnica del desarrollo de transductores compuestos en el campo biomédico y se ha centrado en desarrollar compuestos eficientes diseñados para ser compatibles con tejidos biológicos. Como tal, muchos materiales compuestos y transductores disponibles comercialmente se han optimizado para tener una combinación de la menor impedancia acústica posible mientras se logra la mayor eficiencia electromecánica posible para aplicaciones a tejidos biológicos y/o aplicaciones de inmersión en agua. Tales materiales compuestos tienen típicamente impedancia acústica en el intervalo de 8 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) a 16 MR ($10^6 \text{kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Sin embargo, muchas aplicaciones prácticas requieren la transmisión eficiente de energía acústica desde y hacia un transductor ultrasónico acoplado a materiales que tienen una impedancia acústica que no se adapta bien a estos materiales piezoeléctricos. Es decir, los materiales piezoeléctricos descritos anteriormente pueden no ser adecuados para otras clases de materiales que se someten a ultrasonido. Por ejemplo, los materiales que tienen una impedancia acústica de entre

aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) y 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) son particularmente difíciles de combinar con piezocompuestos debido a la escasez de materiales ideales para el diseño de pilas acústicas tradicionales.

5 En estos casos, se conocen varias técnicas para superar la discontinuidad acústica inherente entre el material piezoelectrico y el medio. Por ejemplo, un método común para igualar la impedancia acústica de un material piezoelectrico al medio deseado es el uso de capas de coincidencia de $1/4$ de onda. Otro ejemplo es usar un sistema de capas de coincidencia de masa de resorte que se aplica a altas frecuencias. Aún un ejemplo adicional es el diseño de estructuras de trompeta. Tales tecnologías de adaptación de impedancia acústica pueden aplicarse a los diseños de transductores piezoelectricos para facilitar la transmisión eficiente de la radiación acústica desde el transductor al medio que se somete a ultrasonido y típicamente funcionan de manera recíproca. Sin embargo, una cosa es común a todos los enfoques de adaptación de impedancia acústica, es decir, tienen un ancho de banda finito sobre el cual son efectivos. Fuera de este ancho de banda, su efectividad disminuye rápidamente y puede dar lugar a artefactos no deseados cuando se opera lo suficientemente lejos de la frecuencia central prevista.

15 Si bien el ajuste de la impedancia acústica en el diseño del transductor es importante, en muchas aplicaciones del mundo real también es necesario aislar eléctricamente el conjunto del transductor piezoelectrico del material que se somete a ultrasonido. En estos escenarios, también debe incluirse una capa de aislamiento eléctrico en la pila de transductores. Por ejemplo, en campos tales como la prueba no destructiva (NDT) a veces es necesario aislar eléctricamente el transductor ultrasónico de conjuntos, dispositivos o estructuras eléctricamente sensibles mientras que también se hace coincidir la impedancia acústica del transductor con el material u objeto que se escanea. Esto es especialmente importante en aplicaciones médicas. De hecho, aislar eléctricamente el conjunto del transductor de un cuerpo humano (el medio que se somete a ultrasonido) es importante para ayudar a prevenir lesiones al paciente. Por ejemplo, en el caso del ultrasonido diagnóstico médico (y otras aplicaciones de ultrasonido médico que incluyen, pero no se limitan a, aplicaciones terapéuticas tales como HIFU) por razones de eficiencia, la impedancia acústica del transductor debe coincidir con el tejido vivo mientras que también se aísla eléctricamente del paciente. En otros dispositivos médicos que usan energía acústica para la ablación acústica o la mejora mecánica de las herramientas quirúrgicas, por ejemplo, también es conveniente por razones de eficiencia igualar la impedancia acústica del transductor con el medio (ya sea tejido biológico, o en algunos casos componentes de dispositivos médicos acústicos) mientras se aísla eléctricamente el transductor del paciente.

30 En muchos casos, cuando el material objetivo tiene una impedancia acústica por debajo de aproximadamente 10 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), existe un cuerpo de tecnología bien desarrollado disponible para el diseñador para hacer frente a la necesidad de igualar acústicamente el transductor con el objetivo mientras se aísla simultáneamente eléctricamente.

35 Una solución típica aplicada en ultrasonido de diagnóstico médico para el contacto de pacientes con transductores ultrasónicos es elegir una lente o material de cubierta que se ajuste bien al tejido vivo, tal como silicona o poliuretano, por ejemplo, ambos de los cuales pueden diseñarse para tener una impedancia acústica que coincida estrechamente con la del tejido (aproximadamente $1,5 \text{ MR}$ ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)) mientras aún actúan como lentes efectivos y materiales aislantes eléctricos. Otra práctica común es usar capas de adaptación eléctricamente aislantes que se adaptan acústicamente. Estos materiales coincidentes incluyen varios vidrios, polímeros, elastómeros, polímeros cargados con potencia y epoxis. Por ejemplo, epoxis cargados con polvo cerámico, tales como, por ejemplo, epoxi relleno de polvo de alúmina que puede formar varias capas coincidentes mientras retiene la resistividad excelente requerida para el aislamiento eléctrico. Sin embargo, los compuestos cargados de polvo tales como epoxis, siliconas y polímeros cargados de energía típicamente exhiben una atenuación mayor que los materiales homogéneos y pueden no ofrecer un compromiso adecuado entre los parámetros de diseño de la capa de coincidencia (tales como el grosor) y las pérdidas aceptables en la trayectoria acústica del dispositivo y el aislamiento eléctrico requerido.

45 Además, la fabricación de materiales compuestos cargados de polvo alcanza limitaciones cuando se alcanzan fracciones de alto volumen de polvo a polímero. Por ejemplo, la práctica común de cargar epoxi en polvo para elevar la impedancia acústica es poco práctica por encima de aproximadamente 12 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Adicionalmente, los materiales sinterizados porosos rellenos de epoxi son costosos de diseñar y difíciles de controlar con precisión. También pueden ser con pérdidas si no están perfectamente llenos. Esto es especialmente cierto para las capas de coincidencia eléctricamente aislantes de 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) y por debajo de 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).

55 Cabe señalar que el uso de capas coincidentes en los diseños de transductores ultrasónicos es problemático cuando se requiere un transductor de banda ancha, porque se requieren múltiples soluciones de capas coincidentes para un rendimiento de banda ancha. Es difícil diseñar un transductor ultrasónico de banda ancha para acoplarse en el 10 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) objetivo. Estos desafíos se agravan cuando existe un requisito de aislar eléctricamente el transductor del material objetivo.

60 Es cada vez más difícil aplicar soluciones existentes con un alto grado de efectividad cuando el material diana tiene una impedancia acústica que varía de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Esto se debe a que hay relativamente pocos materiales eléctricamente aislantes que pueden usarse como capas de coincidencia tradicionales que satisfacen las propiedades acústicas, térmicas y eléctricas para materiales diana que tienen una impedancia acústica en el intervalo de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).

5 Existe la necesidad de transductores ultrasónicos capaces de transmitir pulsos acústicos de alta potencia y banda ancha en materiales que tienen impedancia acústica en el intervalo de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) en campos tales como, por ejemplo y sin ser limitativo, NDT y desarrollo de dispositivos médicos. También existe la necesidad de una capa eléctricamente aislante que tenga una impedancia acústica sustancialmente similar (o casi idéntica) al material diana y la capa piezoeléctrica. Actualmente, el diseño de compuestos piezoeléctricos y las soluciones existentes no permiten cambiar la impedancia acústica del piezocompuesto sin afectar también su impedancia eléctrica (y viceversa).

10 Lo que se ha encontrado es que la impedancia eléctrica y la impedancia acústica pueden manipularse independientemente (es decir, al menos parcialmente desacopladas) al incorporar material no piezoeléctrico de alta impedancia acústica en el diseño de material piezocompuesto además de los materiales tradicionales usados para fabricar piezocompuestos, lo que contrasta con el enfoque típico que generalmente incorpora materiales de relleno de corte de baja impedancia acústica usados como en el diseño tradicional de piezocompuesto.

15 Transductor ultrasónico

Ahora, al girar hacia las Figuras, se describirán diferentes modalidades de un transductor ultrasónico. Las Figuras 1 y 2 ilustran dos modalidades de un transductor ultrasónico 100 que incluye una capa compuesta piezoeléctrica 102.

20 La capa compuesta piezoeléctrica 102 se configura para estar en comunicación acústica con una muestra o un material objetivo. La capa compuesta piezoeléctrica 102 tiene propiedades de impedancia acústica e impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas, es decir, que la combinación de materiales incluidos en la capa piezoeléctrica 102 permite el desacoplamiento parcial de la impedancia eléctrica de la impedancia acústica. La capa compuesta piezoeléctrica 102 se fabrica típicamente a partir de al menos tres materiales. Como se ilustra en las Figuras 3 y 4, la capa piezoeléctrica 102 incluye una serie de regiones piezoeléctricas separadas 10, un material de relleno 12 y un material no piezoeléctrico 15. Cada región piezoeléctrica separada 10 está hecha de un material piezoeléctrico que tiene una primera impedancia acústica y una primera permitividad relativa eléctrica. El material de relleno 12 se posiciona entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas 10 e incluye una matriz polimérica 13 que tiene una segunda impedancia acústica y una segunda permitividad eléctrica. La segunda impedancia acústica es menor que la primera impedancia acústica y la segunda permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa. El material no piezoeléctrico 15 está en contacto con la matriz polimérica y tiene una tercera impedancia acústica y una tercera permitividad relativa. La tercera impedancia acústica es mayor que la segunda impedancia acústica, y la tercera permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa. En algunas modalidades, el material no piezoeléctrico 15 se incrusta dentro de la matriz polimérica. Con referencia a las Figuras 1 y 2, el transductor ultrasónico 100 incluye uno o más electrodos 112 en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica 102.

40 Con referencia ahora a las Figuras 1 y 2, se proporciona una vista en sección transversal de una modalidad del transductor ultrasónico 100. Como se ilustra, el transductor de ultrasonido 100 tiene un diseño de pila acústica (es decir, una pluralidad de capas) que incluye un elemento/capa piezocompuesto picado y relleno 102 que se acopla acústicamente al material objetivo 104. En algunas modalidades que se describirán con mayor detalle a continuación, el transductor de ultrasonido 100 puede estar eléctricamente aislado del material diana 104. El elemento piezocompuesto 102 tiene una superficie proximal 106 y una superficie distal 108 con relación a la fuente de señal de ultrasonido 110. La trayectoria acústica se extiende entre la capa compuesta piezoeléctrica 102 a través del material objetivo 104.

50 En algunas modalidades, tales como las representadas en las Figuras 3 y 4, la capa compuesta piezoeléctrica 102 puede fabricarse de un material piezoeléctrico ferroeléctrico tal como, por ejemplo y sin ser limitativo, PZT. En la variante ilustrada, las regiones piezoeléctricas 10 forman pilares o vigas 130 y están separadas entre sí de la manera típica de los compuestos 1 3 o 2 2, lo que significa que el material piezoeléctrico 10 es continuo a lo largo de una dirección y el material de relleno 12 es continuo a lo largo de tres direcciones o que el material piezoeléctrico 10 es continuo a lo largo de dos direcciones y el material de relleno 12 es continuo a lo largo de dos direcciones.

55 Esta modalidad permite notablemente aumentar la impedancia eléctrica del compuesto piezoeléctrico, mientras que mantiene la impedancia acústica deseada. En la Figura 4, los espacios proporcionados entre regiones piezoeléctricas adyacentes 10 son los cortes 128. Las ranuras 128 se rellenan con epoxi 12. El epoxi 12 incluye material de matriz relleno de polvo de HFO.

60 Cabe señalar que, aunque las regiones piezoeléctricas 10 se muestran como cuadradas, pueden tener cualquier forma, tal como, por ejemplo y sin ser limitativo, triangular, cilíndrica o hexagonal.

65 En algunas modalidades, puede ser conveniente reducir la fracción de volumen del material piezoeléctrico (por ejemplo, la fracción de PZT) en la capa compuesta piezoeléctrica 102 para lograr mejores, mejoradas o requisitos de impedancia eléctrica más ideales del transductor. Sin embargo, se puede requerir que el requisito de impedancia acústica del transductor ultrasónico 10 sea mayor, lo que sugiere que sería conveniente una mayor fracción de volumen de PZT. En tales modalidades, el uso de material de matriz relleno de polvo de HFO no es suficiente para

lograr las características requeridas. En estos escenarios, que se representan, por ejemplo, en la Figura 4, el material de matriz relleno de polvo de HFO puede reemplazarse o reemplazarse parcialmente con un material no piezoeléctrico, tal como, por ejemplo y sin ser limitativo, barras de alúmina. Tales materiales permiten una impedancia acústica más alta en la capa compuesta piezoeléctrica 102, mientras que reducen la permitividad relativa efectiva. En otra modalidad, pueden usarse otros materiales de impedancia acústica relativamente alta.

En algunas modalidades, las ranuras 128 se rellenan con barras de alúmina 14. La alúmina tiene típicamente una impedancia acústica de aproximadamente 35 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) y una constante dieléctrica de aproximadamente 10. En la modalidad ilustrada de la Figura 4, las barras están dimensionadas para llenar aproximadamente el 70 % del ancho de las ranuras 128, dejando el 30 % restante para llenar con epoxi de relleno de ranura 12. Se apreciará que pueden usarse diferentes materiales de relleno y diferentes materiales epóxicos, así como también otras relaciones, para lograr las propiedades acústicas y/o de impedancia eléctrica deseadas, que dependen notablemente del material objetivo que se somete a ultrasonido.

Cabe señalar que el material no piezoeléctrico 15 no se limita necesariamente a la barra de alúmina. Por ejemplo, y sin ser limitativo, las barras de alúmina pueden reemplazarse por esferas de alúmina mezcladas en el epoxi HFO o cortes de un material compuesto hecho de epoxi HFO que contiene las esferas de alúmina. También debe señalarse que se pueden lograr resultados similares mediante el ajuste de la relación (es decir, la fracción de volumen) de los cortes, el relleno y el epoxi, lo que permite ajustar independientemente la impedancia eléctrica y acústica de la capa compuesta piezoeléctrica 102, para que coincida con las propiedades acústicas y/o eléctricas deseadas (por ejemplo, de un material objetivo). Se apreciará que las relaciones de los materiales que forman la capa compuesta piezoeléctrica 102 pueden variar en gran medida en dependencia de los resultados deseados. El resultado de este diseño es un piezoeléctrico compuesto que puede diseñarse, ajustarse y adaptarse para tener un rango más amplio de impedancia eléctrica para un tamaño dado mientras se mantiene una impedancia acústica deseada. El tercer material añadido, específicamente el material no piezoeléctrico 15, tiene preferentemente una impedancia acústica alta, es decir, una impedancia acústica similar o comparable a la del material piezoeléctrico (si es posible) y una permitividad relativa mucho menor que la del material piezoeléctrico. Como tal, la capa compuesta piezoeléctrica 102 puede diseñarse o ajustarse para tener una impedancia acústica deseada y una permitividad deseada, lo que hace innecesarios tanto las técnicas de adaptación de impedancia acústica como los circuitos de adaptación de impedancia eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, el transductor ultrasónico 100 incluye uno o más electrodos, por ejemplo un electrodo de señal 112, como se representa en las Figuras 1 y 2. En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica 102 se configura para generar una señal acústica de sondeo hacia la muestra 104 y los electrodos (por ejemplo, el electrodo de señal 112) son operables para enviar una señal eléctrica de sondeo a la capa compuesta piezoeléctrica 102, de esta manera se genera la señal acústica de sondeo. En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica 102 se configura además para recibir una señal acústica de muestra que emana de la muestra 104, de esta manera se genera una señal eléctrica de muestra hacia uno o más electrodos (por ejemplo, el electrodo de señal 112), la señal eléctrica de muestra es representativa de la señal acústica de muestra. Como tal, el transductor ultrasónico 100 puede usarse para transmitir y/o recibir ultrasonido.

En algunas modalidades, tales como las representadas en las Figuras 1 y 2, los electrodos 112 se ubican en una superficie proximal 106 de la capa compuesta piezoeléctrica 102. El electrodo 112 puede tener una capa de respaldo 114 que conduce eléctricamente ubicada en una superficie proximal 116 del electrodo de señal 112. En aún otras modalidades, la capa de respaldo puede ser eléctricamente aislante. La capa de respaldo 114 puede conectarse operativa o eléctricamente al electrodo de señal 112. En una modalidad, la capa de respaldo 114 está hecha de titanio y puede tener un grosor de aproximadamente 200 micras. La capa de respaldo 114 puede fabricarse de un material de impedancia acústica suficientemente alta para también actuar como una capa de desajuste. Tales capacidades de desajuste generalmente requieren que la capa de respaldo tenga una impedancia acústica de al menos dos veces la impedancia acústica del material piezoeléctrico, lo que proporciona de esta manera un ancho de banda y sensibilidad mejorados. Por ejemplo, la capa de desajuste 114 puede estar hecha de, por ejemplo y sin ser limitativa, molibdeno, tungsteno o carburo de tungsteno.

En algunas modalidades, el material piezoeléctrico se selecciona del grupo que consiste en materiales ferroeléctricos, materiales ferroeléctricos de cristal único, materiales ferroeléctricos libres de plomo y materiales poliméricos piezoeléctricos. Por ejemplo, y como se ha mencionado anteriormente, el material piezoeléctrico puede ser titanato de zirconato de plomo (PZT).

La matriz polimérica está hecha de epoxi y el material no piezoeléctrico es polvo de óxido de hafnio.

El transductor ultrasónico 100 también puede proporcionarse con una o más regiones eléctricamente aislantes posicionadas entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas 10, estando una o más regiones eléctricamente aislantes en contacto con el material de relleno 12. Las regiones eléctricamente aislantes tienen una cuarta impedancia acústica y una cuarta permitividad relativa. En algunas modalidades, la cuarta impedancia acústica que está cerca de la primera impedancia acústica, y la cuarta permitividad relativa que es menor que la primera permitividad relativa. Por ejemplo, y sin ser limitativo, las regiones eléctricamente aislantes pueden fabricarse de cerámica o vidrio. La forma de

las regiones eléctricamente aislantes puede variar. Pueden tener, por ejemplo y sin ser limitativos, una forma alargada, definir regiones de aislamiento eléctrico en forma de barra, definir o pueden ser esféricas.

5 Ahora, al volver a los materiales usados en el transductor ultrasónico, se entenderá que el uso de diferentes fracciones volumétricas de polvo de relleno y/o diferentes polvos de relleno en el material de matriz permitirá rellenos de diferentes impedancias acústicas. Por ejemplo, un experto en la técnica entenderá que al mezclar epóxido epotek 301 y polvo de HFO en fracciones de volumen variables, se puede realizar prácticamente un material epóxido cargado de polvo que tiene una impedancia acústica entre aproximadamente 3 y aproximadamente 10 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). En una modalidad, el material de relleno 12 está diseñado para tener una impedancia acústica de aproximadamente 7 a 10 aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). También se apreciará que la capa compuesta piezoeléctrica 102 exhibirá características diferentes a las de un piezoeléctrico no compuesto. Por ejemplo, un piezoeléctrico no compuesto puede tener un factor Q relativamente alto, lo que lo convierte inherentemente en un material de ancho de banda relativamente bajo. En esta modalidad, sin embargo, el uso de un material de matriz de menor impedancia para formar el compuesto piezoeléctrico de 1 3 PZT proporciona un ancho de banda y una eficiencia mejorados en comparación con un elemento simple basado en placa de PZT. Además, el PZT compuesto 1 3 también presenta una constante dieléctrica más baja en comparación con el PZT puro, lo que permite una impedancia eléctrica más práctica a partir de un diseño de elemento único grande. Se apreciará que otros materiales piezoeléctricos podrían usarse en otras modalidades sin apartarse del alcance de la descripción actual. Tales materiales piezoeléctricos incluyen, pero no se limitan a, niobato de litio, varios materiales a base de PZT (por ejemplo, PZT 8 o PZT 5H), cerámicas a base de relajadores ferroeléctricos y cristales individuales a base de relajadores (por ejemplo, PMN-PT), cuarzo y otros materiales piezoeléctricos que tienen propiedades adecuadas para la aplicación deseada, tales como mayor ancho de banda, mayor sensibilidad o menor costo. Como tal, el uso de rellenos de corte cargados con polvo de impedancia acústica relativamente alta entre pilares piezoeléctricos permite una relación de compensación más adecuada entre la impedancia acústica, la impedancia eléctrica y las relaciones de aspecto del pilar con mayor libertad en comparación con los compuestos piezoeléctricos existentes que se construyen típicamente mediante el uso de rellenos que varían de 1 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a 3 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$), por ejemplo y sin ser limitativo cuando uno desea igualar el transductor piezocompuesto a materiales que tienen una impedancia acústica relativamente mayor tal como, por ejemplo, titanio o zirconio. En algunos escenarios, los rellenos de corte de impedancia acústica más alta pueden dar como resultado una reducción del aislamiento acústico entre los pilares, lo que reduce así el coeficiente de acoplamiento electromecánico del compuesto. Sin embargo, la compensación propuesta puede considerarse aceptable a la luz de la coincidencia acústica mejorada y el ancho de banda de la trayectoria acústica resultante del compuesto al material diana o DUT. Mediante el uso del material de matriz relleno de polvo de HFO, puede usarse una fracción de volumen relativamente baja de un material piezoeléctrico (por ejemplo, 73 % de PZT vol/vol) para lograr un 27,4 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) impedancia acústica promedio. Como comparación, los piezocompuestos existentes requieren aproximadamente 78 % para un 3 MR típico ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) epoxi sin rellenar. La menor fracción de volumen del material piezoeléctrico en la capa compuesta piezoeléctrica 102 permite lograr una mayor impedancia eléctrica sin sacrificar el ajuste acústico. Además, la fracción en volumen del 73 % hace que el corte sea más eficiente al permitir el uso de cuchillas más grandes, lo que facilita el proceso de fabricación, así como también mejora la libertad del diseñador para optimizar la relación de aspecto de la columna para lograr una resonancia óptima en modo barra. Otro beneficio de usar una matriz cargada de polvo en el compuesto es la capacidad de alterar la matriz epoxi cargada de polvo para ajustar la impedancia acústica del compuesto piezoeléctrico sin requerir cambios en las dimensiones de los pilares y el corte. Se sabe que tales cambios en el diseño de los pilares y las dimensiones de los pilares y el corte relacionado son costosos.

45 Ahora, al girar hacia la impedancia acústica del transductor ultrasónico 100, en algunas modalidades, la propiedad de impedancia acústica de la capa compuesta piezoeléctrica 102 varía de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Como se ha establecido anteriormente, esta propiedad de impedancia es una combinación de la impedancia de cada material que forma la capa compuesta piezoeléctrica 102. Con respecto a esto, en algunas modalidades, la primera impedancia acústica varía de aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 40 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) y la tercera impedancia acústica varía de aproximadamente 7 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). Cabe señalar que la capa compuesta piezoeléctrica se acopla acústicamente con la muestra y puede estar, en algunas modalidades, eléctricamente aislada de la muestra mediante la inclusión de una capa compuesta no piezoeléctrica de aislamiento eléctrico 122.

55 En algunas modalidades, el transductor ultrasónico 100 incluye además una capa de respaldo 114 en comunicación eléctrica con uno o más electrodos 112. La capa de respaldo puede en algunos escenarios actuar como una capa de desajuste.

60 El transductor ultrasónico puede incluir un electrodo de tierra 118, como se ilustra en las Figuras 1 y 2. El electrodo de tierra 118 se ubica en una superficie distal 108 del elemento piezocompuesto 102. En algunas modalidades, el electrodo de tierra 118 también puede actuar como un distribuidor de calor para distribuir el calor generado por el transductor de ultrasonido 100. Cabe señalar que el electrodo de tierra 118 no actúa necesariamente como un distribuidor de calor.

65 La capa compuesta piezoeléctrica 102 y la muestra o material diana 104 definen una trayectoria acústica entre ellos. En algunas modalidades, el transductor ultrasónico 100 incluye además una capa acústicamente adaptada casi sin

pérdidas 120 posicionada a lo largo de la trayectoria acústica, entre la capa compuesta piezoeléctrica 102 y la muestra 104. La capa acústicamente adaptada casi sin pérdidas 120 se posiciona adyacente a y en contacto con la superficie distal del electrodo de tierra 118. La capa acústicamente adaptada casi sin pérdidas 120 es eléctricamente conductora y tiene una impedancia térmica sustancialmente baja. Cuando el transductor ultrasónico se usa para someter a ultrasonido titanio, la capa 120 acústicamente adaptada puede estar hecha de titanio. Cabe señalar que la capa 120 acústicamente adaptada es opcional y puede actuar, en algunas modalidades, como un distribuidor de calor térmico, así como también una capa de soporte mecánico. El soporte mecánico refuerza la capa de tierra y también puede ser beneficioso durante la fabricación del transductor ultrasónico 100. Generalmente no es posible tener la capa 120 acústicamente coincidente, pero debido al hecho de que todas las capas en el transductor de ultrasonido 100 son acústicamente coincidentes. La capa 120 acústicamente adaptada es un distribuidor de calor eficaz que no podría incluirse normalmente en un diseño acústico justo al lado del elemento piezoeléctrico 102. Típicamente, se espera que el material para la capa acústicamente adaptada sea el mismo que el material del DUT. Es decir, el mismo material al que se diseñó el transductor 100. Es posible seleccionar otro material bien adaptado, sin embargo, con propiedades convenientes, por ejemplo y sin ser limitativo, cuando el DUT es de titanio, elegir el material de capa 120 acústicamente adaptado para que sea de zinc, que tiene una conductividad térmica relativamente mejor que el titanio, pero con una impedancia acústica casi equivalente al titanio. Esto es posible en una pila acústicamente emparejada con desafíos de diseño mínimos, ya que el grosor de las capas y las propiedades distintas de la impedancia acústica pueden acomodarse fácilmente en el diseño.

En algunas modalidades, el transductor ultrasónico 100 incluye además una capa de desgaste 124. La capa de desgaste 124 se acopla acústicamente con la capa compuesta piezoeléctrica 102. La capa de desgaste 124 puede coincidir acústicamente con las otras capas del transductor ultrasónico 100. En algunas modalidades, la capa de desgaste 124 está en contacto acústico con la superficie distal de la capa compuesta cerámica de aislamiento eléctrico 122. La capa de desgaste 124 podría ser el mismo material que el DUT, especialmente si ese material es casi sin pérdidas como con muchos metales. Por ejemplo, en una modalidad diseñada para someter a ultrasonido titanio, la capa de desgaste 124 está hecha de una capa de titanio de 3 mm de grosor. En esta modalidad, la capa de desgaste 124 se configura para estar eléctricamente aislada de la señal del transductor y la tierra, lo que permite que el conjunto del transductor esté eléctricamente aislado del DUT.

En algunas modalidades, se proporciona una estructura de soporte térmica y mecánica robusta para admitir y facilitar el enfriamiento de la capa compuesta piezoeléctrica 102. En una modalidad no limitativa, la capa compuesta piezoeléctrica 102 se adhiere a un disco de titanio de 3 mm de grosor, lo que establece una trayectoria de enfriamiento térmico hacia los conductores eléctricos a tierra y establece un electrodo de puesta a tierra. La base también puede actuar como un soporte mecánico que ayuda en la fabricación del compuesto piezoeléctrico y la pila. En algunas modalidades, el disco conductor puede elegirse para que coincida con los materiales diana y/o la impedancia acústica o los materiales diana para una amplia gama de aplicaciones del transductor ultrasónico 100 que cubre el intervalo de impedancia acústica de aproximadamente 10 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a más de 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). En algunos escenarios, cuando el material diana 104 es eléctricamente conductor, por ejemplo, cuando el material diana es un metal, el disco puede, de hecho, ser el mismo material que el material diana. A continuación, se puede unir una placa de desgaste de baja pérdida a la cara distal de la capa de aislamiento eléctrico para proporcionar soporte mecánico adicional para la capa aislante, así como también una resistencia a la humedad superior. Generalmente, la placa de desgaste puede fabricarse del propio material objetivo, y en el caso de la modalidad ilustrativa se elige que sea de titanio de 3 mm de grosor.

En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica 102 tiene un grosor de aproximadamente 2400 micras. Cabe señalar que los transductores ultrasónicos de la técnica anterior normalmente tienen restricciones en el grosor de cada capa que se proporciona. Debido a que el transductor ultrasónico 100 tiene todas las capas con la misma impedancia acústica, no hay limitaciones o limitaciones reducidas en el grosor de las capas. Las capas pueden ser más gruesas o más delgadas según lo requiera la aplicación. En una modalidad, la capa 120 acústicamente adaptada es más gruesa para proporcionar suficiente masa para funcionar como disipador de calor. Por lo tanto, las capas del transductor distales a la capa piezoeléctrica 102 pueden ser de grosor arbitrario siempre que la impedancia acústica de las capas distales a la capa piezoeléctrica coincida o casi coincida. Tales configuraciones permiten la posibilidad de optimizar otras propiedades de las capas distales independientemente del grosor de la capa. En un ejemplo, la capa emparejada 120 puede espesarse para lograr una robustez mecánica con menos preocupaciones sobre el rendimiento acústico o adelgazarla para reducir el costo sin afectar el rendimiento acústico. Además, las capas del transductor ultrasónico 100 adyacente y en el lado proximal de la capa piezoeléctrica 102 deben ser de grosor y material apropiados para mejorar la eficiencia de salida del transductor 100.

En algunas modalidades, cada región piezoeléctrica separada 10 se separa por 200 micras una de otra y tiene una sección transversal cuadrada, la sección transversal cuadrada es de 1000 micras por 1000 micras. La capa compuesta piezoeléctrica 102 puede tener diferentes fracciones volumétricas piezoeléctricas, en dependencia del material objetivo 104. En algunas modalidades, la capa compuesta piezoeléctrica 102 tiene una fracción de volumen piezoeléctrica que varía de aproximadamente 70 % a aproximadamente 80 %.

El transductor ultrasónico 100 o sus componentes pueden alojarse en una carcasa de aislamiento eléctrico.

También puede proporcionarse un conector eléctrico de RF 138. El conector eléctrico RF 138 se conecta operativamente, a través de una conexión eléctrica (por ejemplo, un cable) al electrodo 112. Esto proporciona una conexión eléctrica a la fuente de señal de ultrasonido 110.

5 En algunas modalidades, también se proporciona un retorno a tierra de cobre (Cu) y un retorno térmico 132. El retorno a tierra de Cu y el retorno térmico 132 proporcionan una carcasa para alojar, al menos en parte, una tapa de Cu 132, la capa de respaldo y/o la capa de desajuste 114, el electrodo 112, la capa compuesta piezoeléctrica 102 y la tierra 118. Se apreciará que el retorno térmico y la tierra de Cu 132 pueden tener cualquier forma apropiada para alojar los elementos antes mencionados. En las modalidades ilustradas representadas en las Figuras, el retorno a tierra de Cu y el retorno térmico 132 tienen forma anular. El cobre Cu lid 134 es útil para conducir calor y/o electricidad. En algunas modalidades, el tapón de Cu 134, el retorno a tierra de Cu y el retorno térmico 132, la capa de desacoplamiento/respaldo 114, el electrodo 112, el compuesto de PZT 102 y la tierra 118 pueden encajar a presión para formar una sola unidad. El suelo 118 puede incluir opcionalmente un borde estriado para garantizar un buen contacto térmico y eléctrico con el retorno de tierra de Cu y el retorno térmico 132.

15 Como se mencionó anteriormente, las técnicas, dispositivos, aparatos y métodos descritos en la descripción actual pueden implementarse para generar y transmitir ultrasonido ("modo de transmisión"), detectar y recibir ultrasonidos ("modo de detección"), o ambos. En algunas implementaciones, el transductor ultrasónico de acuerdo con la presente descripción también podría usarse para suministrar energía acústica para otros propósitos, tales como, por ejemplo y sin ser limitativo, transductores diseñados para accionar sistemas de terapia de ondas de choque médica. En estas implementaciones, el transductor ultrasónico 100 se configura para emitir una señal acústica hacia un objetivo. En estas modalidades, el transductor ultrasónico también incluye una capa compuesta piezoeléctrica 102 que tiene propiedades de impedancia acústica e impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas. La capa compuesta piezoeléctrica 102 incluye una serie de regiones piezoeléctricas separadas 10, un material de relleno y un material no piezoeléctrico 15. Cada región piezoeléctrica separada 10 está hecha de un material piezoeléctrico que tiene una primera impedancia acústica y una primera permitividad relativa eléctrica. El material de relleno 12 se posiciona entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas 10 e incluye una matriz polimérica 13 que tiene una segunda impedancia acústica y una segunda permitividad eléctrica. El material no piezoeléctrico 15 está en contacto con la matriz polimérica 13 y tiene una tercera impedancia acústica y una tercera permitividad relativa.

30 La segunda impedancia acústica es menor que la primera impedancia acústica (del material piezoeléctrico), y la segunda permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa, y la tercera impedancia acústica es mayor que la segunda impedancia acústica, y la tercera permitividad relativa es menor que la primera permitividad relativa. El transductor ultrasónico de acuerdo con esta implementación incluye además uno o más electrodos 112 en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica 102. Los electrodos 112 son operables para enviar una señal eléctrica a la capa compuesta piezoeléctrica 102, de esta manera se genera la señal acústica hacia el objetivo.

35 Como se ha mencionado anteriormente, a veces puede ser útil que un transductor ultrasónico 100 esté eléctricamente aislado del material que se somete a ultrasonido, por ejemplo y sin ser limitativo, en el contexto de aplicaciones médicas o cuando el material sometido a ultrasonido podría dañarse fácilmente por electricidad. Tales implementaciones de los transductores ultrasónicos 100 pueden ser similares a las modalidades que se han descrito previamente e incluyen la capa compuesta piezoeléctrica 102 configurada para estar en comunicación acústica con la muestra 104 y que tiene propiedades de impedancia acústica e impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas. La capa compuesta piezoeléctrica 102 de acuerdo con esta implementación incluye una serie de regiones piezoeléctricas separadas 10, en donde cada región piezoeléctrica separada 10 está hecha de un material piezoeléctrico, un material de relleno 12 posicionado entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas 10, en donde el material de relleno 12 incluye una matriz polimérica 13 y un material no piezoeléctrico 15 en contacto con la matriz polimérica 13. Como se ejemplifica en las Figuras 1 y 2, el transductor ultrasónico 100 de acuerdo con esta implementación incluye además una capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 que se extiende sobre o en contacto con la capa compuesta piezoeléctrica 102 para aislar eléctricamente la capa compuesta piezoeléctrica 102 de la muestra 104. La capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 se acopla acústicamente a la capa compuesta piezoeléctrica 102 y a la muestra 104. En estas implementaciones, los electrodos 112 están en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica 102.

40 Como se ha mencionado anteriormente, a veces puede ser útil que un transductor ultrasónico 100 esté eléctricamente aislado del material que se somete a ultrasonido, por ejemplo y sin ser limitativo, en el contexto de aplicaciones médicas o cuando el material sometido a ultrasonido podría dañarse fácilmente por electricidad. Tales implementaciones de los transductores ultrasónicos 100 pueden ser similares a las modalidades que se han descrito previamente e incluyen la capa compuesta piezoeléctrica 102 configurada para estar en comunicación acústica con la muestra 104 y que tiene propiedades de impedancia acústica e impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas. La capa compuesta piezoeléctrica 102 de acuerdo con esta implementación incluye una serie de regiones piezoeléctricas separadas 10, en donde cada región piezoeléctrica separada 10 está hecha de un material piezoeléctrico, un material de relleno 12 posicionado entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas 10, en donde el material de relleno 12 incluye una matriz polimérica 13 y un material no piezoeléctrico 15 en contacto con la matriz polimérica 13. Como se ejemplifica en las Figuras 1 y 2, el transductor ultrasónico 100 de acuerdo con esta implementación incluye además una capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 que se extiende sobre o en contacto con la capa compuesta piezoeléctrica 102 para aislar eléctricamente la capa compuesta piezoeléctrica 102 de la muestra 104. La capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 se acopla acústicamente a la capa compuesta piezoeléctrica 102 y a la muestra 104. En estas implementaciones, los electrodos 112 están en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica 102.

45 En algunas modalidades, la capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 se ajusta acústicamente y es una capa compuesta de cerámica eléctricamente aislante 122 picada y rellena. La capa compuesta cerámica 122 puede ubicarse y/o estar en contacto mecánico con la superficie distal de la capa acústica sin pérdidas 120 que se ha descrito anteriormente. Cabe señalar que la capa aislante 122 generalmente no es sin pérdidas y el grosor es un compromiso entre el aislamiento eléctrico y la pérdida acústica aceptable. En una modalidad no limitativa, el grosor de la capa de aislamiento eléctrico 122 es de 1,4 mm y tiene un paso de 950 um con pilares de 750 um y cortes de 200 um. El material de relleno de la ranura para la capa de aislamiento eléctrico 122 puede ser el epoxi HFO. En otra modalidad no limitativa, la capa eléctricamente aislante 122 incluye una base cerámica fabricada a partir de alúmina. En aún otra modalidad no limitativa, la base cerámica puede ser cualquier otra cerámica que tenga una impedancia acústica superior a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Se apreciará que, en el contexto de esta modalidad, el problema general que se resolverá es que hay una falta de materiales eléctricamente aislantes que tienen una impedancia acústica de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) a 30 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Mediante el uso de una capa

de aislamiento eléctrico 122 se abordó este problema general porque el grado de aislamiento y la pérdida acústica aceptable son las únicas consideraciones en cuanto al grosor de la capa. Cabe señalar que no se incurre en ningún impacto significativo en el ancho de banda del dispositivo o la respuesta de frecuencia con los cambios de grosor a la capa de aislamiento eléctrico 122. En algunas modalidades, el transductor ultrasónico 100 incluye una carcasa de aislamiento eléctrico 136 para contener el transductor de ultrasonido.

En algunas modalidades, el transductor de ultrasonido 100 incluye además una capa aislante 122 acústicamente adaptada ubicada adyacente a y en contacto con la cara distal de la capa de electrodo de tierra 118. La capa 122 puede estar hecha de un material aislante sólido o un compuesto y debe presentar tanto la impedancia acústica deseada como las pérdidas acústicas aceptables, así como también tener suficiente resistencia dieléctrica y permitividad para lograr el aislamiento eléctrico requerido para el dispositivo. En una modalidad, la capa aislante está compuesta por una capa compuesta 1 3 de epoxi relleno con HFO y alúmina para lograr una impedancia acústica de aproximadamente 27 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), lo que lo convierte en un partido acústico para el titanio. Debe entenderse que esta capa aislante emparejada 122 no es una capa de coincidencia, sino que se adapta a su vez de una manera similar a la capa compuesta piezoeléctrica, de modo que tiene efectivamente la misma impedancia acústica que el material objetivo. La capa aislante emparejada 122 es inherentemente de banda ancha y tiene un coeficiente de transmisión de frecuencia plana por debajo de una frecuencia de corte superior determinada por el tamaño y el paso del pilar, como es el caso habitual con los compuestos acústicos. El grosor de la capa de aislamiento eléctrico no depende de la frecuencia y es solo un factor de diseño en relación con la gestión de la atenuación aceptable frente a las corrientes de fuga eléctricas aceptables.

Ejemplo de implementaciones

Ahora se describirán diferentes implementaciones posibles del transductor ultrasónico.

En una implementación, el transductor de ultrasonido 100 es un transductor de un solo elemento. El transductor de un solo elemento puede tener las siguientes características: una abertura acústica de un solo elemento de 50 mm, una impedancia eléctrica de magnitud de 50 Ohmios a la frecuencia central, una respuesta de frecuencia de banda ancha (unidireccional - ancho de banda fraccionado de 6 dB de aproximadamente 100 %), una frecuencia central de aproximadamente 0,6 MHz, y una impedancia acústica adaptada al titanio (aproximadamente 27,4 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) +/- aproximadamente 0,5 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)). Además de estas características, esta implementación presenta una capacidad de manejo de alta potencia y características de disipación térmica debido a la inclusión de una capa térmicamente conductora relativamente gruesa que refuerza la efectividad del electrodo de tierra tanto eléctricamente como térmicamente. Por ejemplo, si el DUT es metálico, titanio, por ejemplo, esta capa podría estar hecha del mismo material que el material DUT. Esta inclusión es posible debido a toda la porción de la pila acústica adyacente al lado distal del elemento piezoeléctrico e incluye el elemento piezocompuesto que tiene la misma impedancia acústica que el material DUT. En esta implementación, la capa compuesta piezoeléctrica 102 puede ser un compuesto 1 3 de PZT y el material de relleno 12 está hecho de epoxi cargado de polvo de HFO diseñado para tener una impedancia acústica muy cercana a aproximadamente 27,4 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), lo que da como resultado un ajuste acústico con el titanio. Debe entenderse que esto es comparativamente menor que la impedancia acústica de un PZT no compuesto, que es de aproximadamente 34,5 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), y mucho mayor que un piezocompuesto típico lleno de polímero de PZT que está típicamente entre 8 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) y 16 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). En esta implementación, se selecciona PZT por su combinación de eficiencia y robustez térmica. El epoxi cargado con polvo HFO se elige como material de matriz usado para llenar las ranuras en la placa de PZT para crear el compuesto. El epoxi cargado con polvo de HFO tiene una impedancia acústica relativamente alta de aproximadamente 7 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) a aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) para permitir que el compuesto 1 3 resultante tenga una impedancia acústica que coincida estrechamente con la de titanio. En esta implementación, la capa compuesta piezoeléctrica 102 tiene pilares de PZT de 1000 um por 1000 um (que tienen una sección transversal cuadrada) que ocurren en un paso de 1200 micras, y están separados regularmente por cortes de 200 micras. El elemento/capa piezoeléctrico compuesto 102 tiene un grosor de 2400 um.

En otra implementación, se proporciona un transductor eléctricamente aislado que tiene un mecanismo de acoplamiento de banda ancha y baja pérdida al medio de carga acústica previsto, que puede optimizarse para la frecuencia central y la respuesta de frecuencia casi exclusivamente mediante la optimización de la capa compuesta piezoeléctrica y el diseño de la capa de respaldo y/o desacoplamiento. No es necesario un emparejamiento en el lado distal del compuesto piezoeléctrico, y se logra una respuesta de frecuencia casi perfectamente plana de la pila acústica en todas las frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte efectiva dictada por los tamaños y la separación de los pilares elegidos para los elementos piezocompuestos y cerámicos compuestos. Esta implementación permite que el transductor ultrasónico que tiene anchos de banda fraccionarios unidireccionales superiores al 140 % se diseñe sin necesidad de ninguna capa de coincidencia de cara distal siempre que se use junto con el medio objetivo designado. Existen muchos metales diferentes y otras cargas conductoras que podrían beneficiarse de un transductor ultrasónico que puede adaptarse a su impedancia acústica respectiva, tal como, por ejemplo y sin ser limitativo, titanio y sus aleaciones, estaño, aluminio y muchas aleaciones de aluminio, zinc, zirconio, plomo y otras aleaciones que tienen impedancia acústica en el intervalo de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Además, los materiales no metálicos que tienen impedancia acústica en el intervalo anterior también podrían beneficiarse de esta implementación para coincidir estrechamente con su impedancia acústica respectiva.

Métodos

5 También se proporciona un método para fabricar las modalidades del transductor ultrasónico 100 que se han descrito anteriormente. En una modalidad, el transductor ultrasónico 100 fabricado está diseñado para funcionar a una frecuencia centrada en aproximadamente 600 kHz. El método incluye una etapa de corte de ranura de una placa de PZT que tiene un grosor de aproximadamente 2600 μm de grosor. Las ranuras se hacen a partir de cortes paralelos. En una modalidad, esta etapa da como resultado surcos de 700 μm de centro a centro de aproximadamente 1,7 mm, dejando aproximadamente 1 mm de material sin cortar entre los surcos. El método también incluye una etapa de proporcionar barras de alúmina (por ejemplo, que tiene un ancho de aproximadamente 400 μm) para incrustarse en las ranuras y pegarse en su lugar con tiras de epoxi de relleno de ranura de 150 μm en ambos lados de la alúmina (por ejemplo, epoxi cargado de polvo y dejarlo curar). El método también incluye una etapa de corte de la placa a 90 grados con respecto al primer conjunto de cortes, de esta manera se definen las ranuras similares (que tienen una separación de aproximadamente 1,7 mm de centro a centro y aproximadamente 700 μm de ranuras). Las ranuras cortadas subsecuentemente pueden rellenarse con las barras de alúmina de 400 μm de ancho similares y el epoxi cargado de polvo de relleno de ranura. La capa compuesta piezoeléctrica resultante tiene una impedancia acústica equivalente a un compuesto de PZT al 82 %, y puede coincidir acústicamente con, por ejemplo y sin ser limitativo, titanio. Sin embargo, la impedancia eléctrica de tal compuesto está cerca de la encontrada en un compuesto de PZT al 59 %.

10 Varias modalidades y ejemplos alternativos se han descrito e ilustrado en la presente descripción. Las modalidades descritas anteriormente pretenden ser solo ilustrativas. Un experto en la técnica apreciaría las características de las modalidades individuales, y las posibles combinaciones y variaciones de los componentes. Se debe señalar y entender que pueden hacerse mejoras y modificaciones de las modalidades descritas anteriormente, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

REIVINDICACIONES

1. Un transductor ultrasónico (100), que comprende:
 - 5 una capa compuesta piezoeléctrica (102) configurada para estar en comunicación acústica con una muestra y que tiene propiedades de impedancia acústica e impedancia eléctrica al menos parcialmente desacopladas, la capa compuesta piezoeléctrica (102) que comprende:
 - 10 una serie de regiones piezoeléctricas separadas (10), cada región piezoeléctrica separada (10) está hecha de un material piezoeléctrico que tiene una primera impedancia acústica y una primera permitividad relativa eléctrica;
 - un material de relleno (12) posicionado entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas (10), el material de relleno (12) que comprende una matriz polimérica (13) que tiene una segunda impedancia acústica y una segunda permitividad relativa eléctrica, la segunda impedancia acústica es menor que la primera impedancia acústica, y la segunda permitividad relativa eléctrica es menor que la primera permitividad relativa eléctrica; y
 - 15 un material no piezoeléctrico (15) en contacto con la matriz polimérica (13), el material no piezoeléctrico (15) que tiene una tercera impedancia acústica y una tercera permitividad relativa eléctrica, la tercera impedancia acústica que es mayor que la segunda impedancia acústica, y la tercera permitividad relativa eléctrica que es menor que la primera permitividad relativa eléctrica; y
 - 20 uno o más electrodos (112) en comunicación eléctrica con la capa compuesta piezoeléctrica (102), caracterizado porque:
 - 25 la matriz polimérica (13) se fabrica a partir de epoxi y el material no piezoeléctrico (15) es polvo de óxido de hafnio.
 2. El transductor ultrasónico (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además una o más regiones eléctricamente aislantes posicionadas entre regiones piezoeléctricas adyacentes separadas (10), estando en contacto la una o más regiones eléctricamente aislantes con el material de relleno (12).
 - 30 3. El transductor ultrasónico (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la una o más regiones eléctricamente aislantes tienen una cuarta impedancia acústica y una cuarta permitividad relativa eléctrica, la cuarta impedancia acústica que es cercana a la primera impedancia acústica, y la cuarta permitividad relativa eléctrica que es menor que la primera permitividad relativa eléctrica
 - 35 4. El transductor ultrasónico (100) de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, o 06, en donde la una o más regiones eléctricamente aislantes se fabrican de cerámica o vidrio.
 5. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde la una o más regiones eléctricamente aislantes tienen una forma alargada, definen regiones eléctricamente aislantes en forma de barra, definen regiones eléctricamente aislantes en forma de columna, o son esféricas.
 - 40 6. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el material no piezoeléctrico (15) está integrado dentro de la matriz polimérica (13).
 - 45 7. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde:
 - el material piezoeléctrico es continuo a lo largo de una dirección; y
 - el material de relleno (12) es continuo a lo largo de tres direcciones.
 - 50 8. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde:
 - el material piezoeléctrico es continuo a lo largo de dos direcciones; y
 - el material de relleno (12) es continuo a lo largo de dos direcciones.
 - 55 9. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde:
 - la propiedad de impedancia acústica comprende una impedancia acústica que varía de aproximadamente 15 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$);
 - la primera impedancia acústica varía de aproximadamente 30 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 40 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$); y/o
 - 60 la tercera impedancia acústica varía de aproximadamente 7 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) a aproximadamente 8 MR ($10^6 \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).
 - 65 10. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende además una capa de respaldo (114) en comunicación eléctrica con uno o más electrodos (112), la capa de respaldo (114) es preferentemente una capa de desajuste.

- 5
11. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la capa compuesta piezoeléctrica (102) y la muestra definen una trayectoria acústica entre ellas, el transductor ultrasónico (100) que comprende además una capa acústicamente ajustada casi sin pérdidas posicionada a lo largo de la trayectoria acústica, entre la capa compuesta piezoeléctrica (102) y la muestra.
- 10
12. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la capa compuesta piezoeléctrica (102) tiene un grosor de aproximadamente 2400 micras.
13. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde cada región piezoeléctrica separada (10) está separada por 200 micras una de otra y tiene una sección transversal cuadrada, la sección transversal cuadrada es de 1000 micras por 1000 micras.
- 15
14. El transductor ultrasónico (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde la capa compuesta piezoeléctrica (102) tiene una fracción de volumen piezoeléctrico que varía de aproximadamente 70 % a aproximadamente 80 %.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

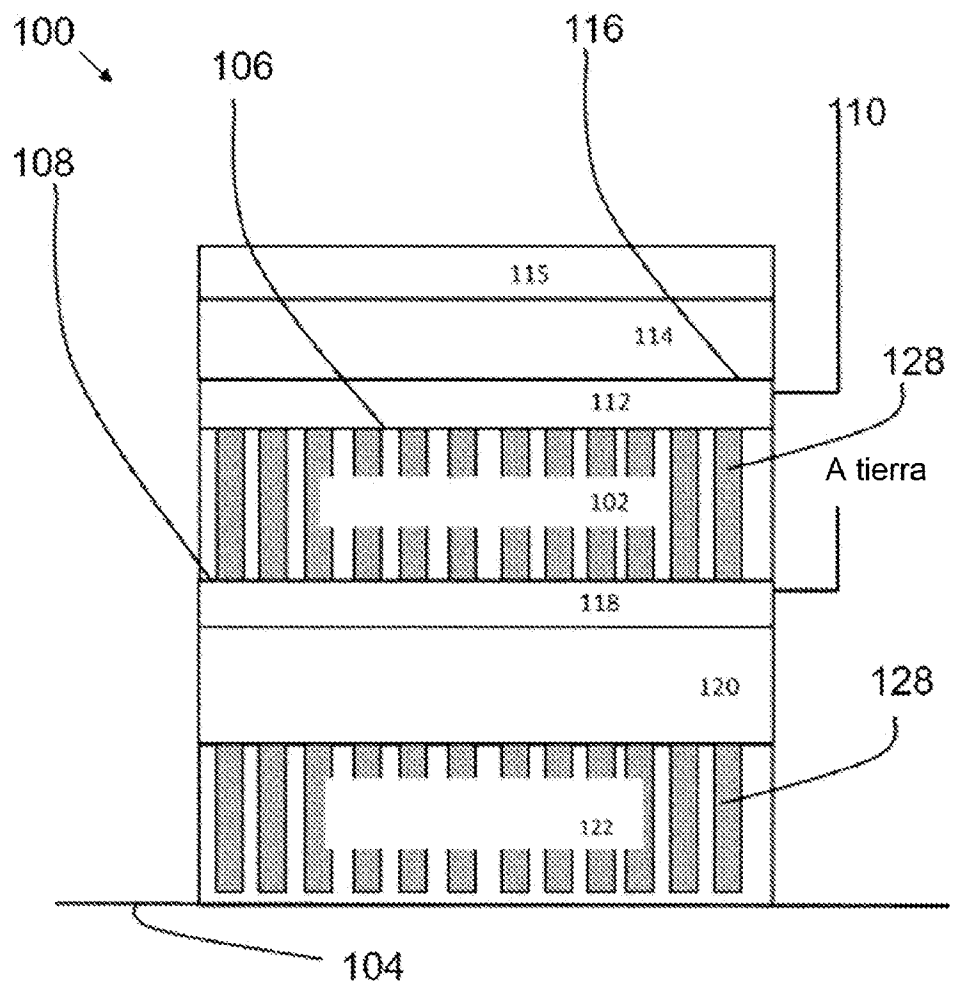


Figura 1

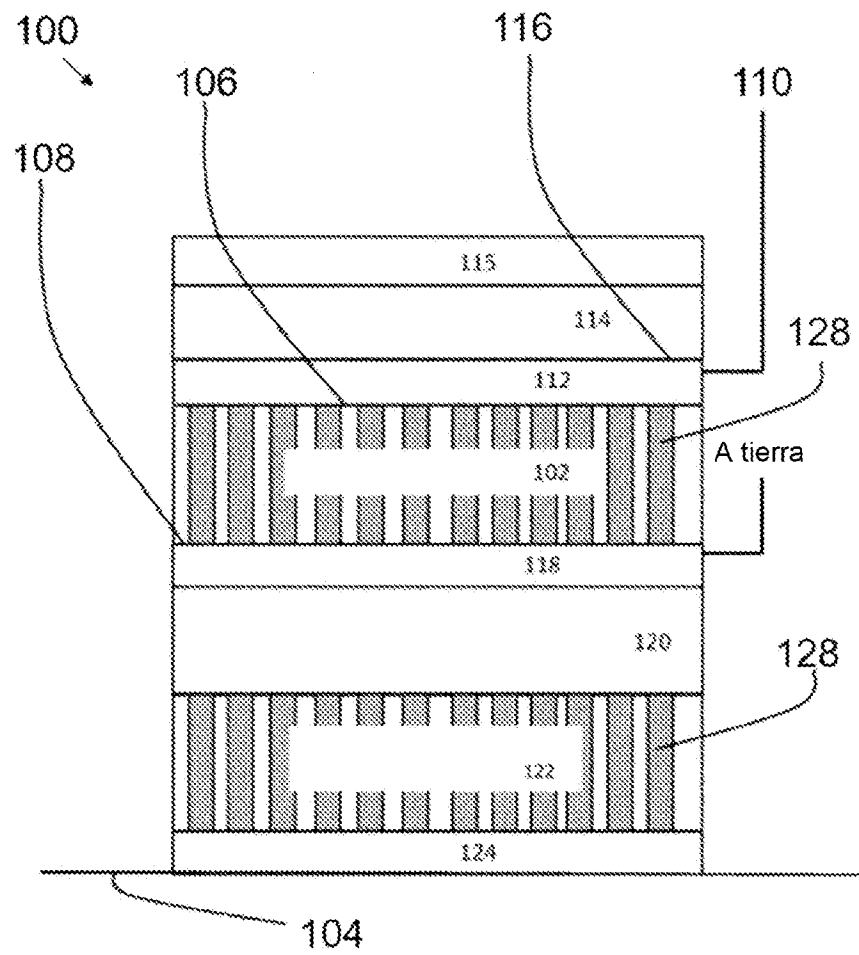


Figura 2

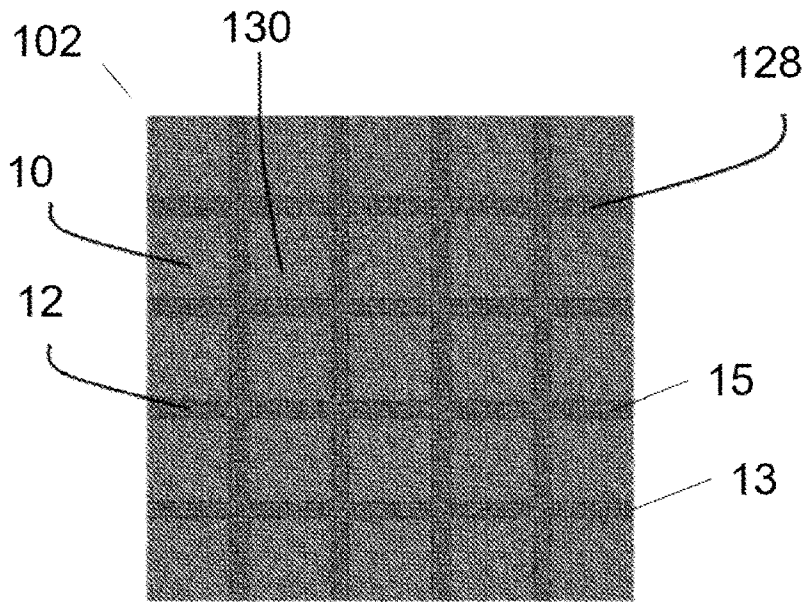


Figura 3

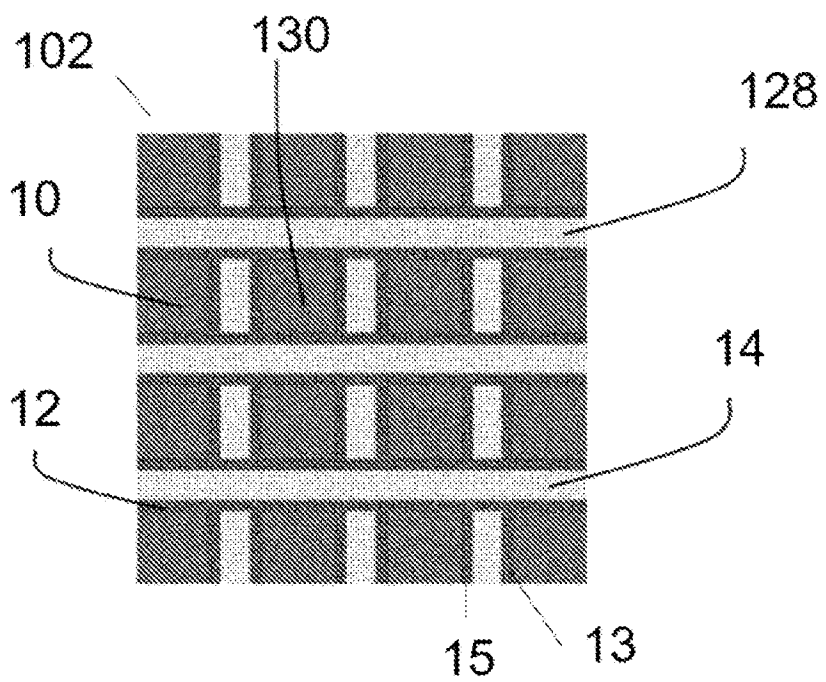


Figura 4

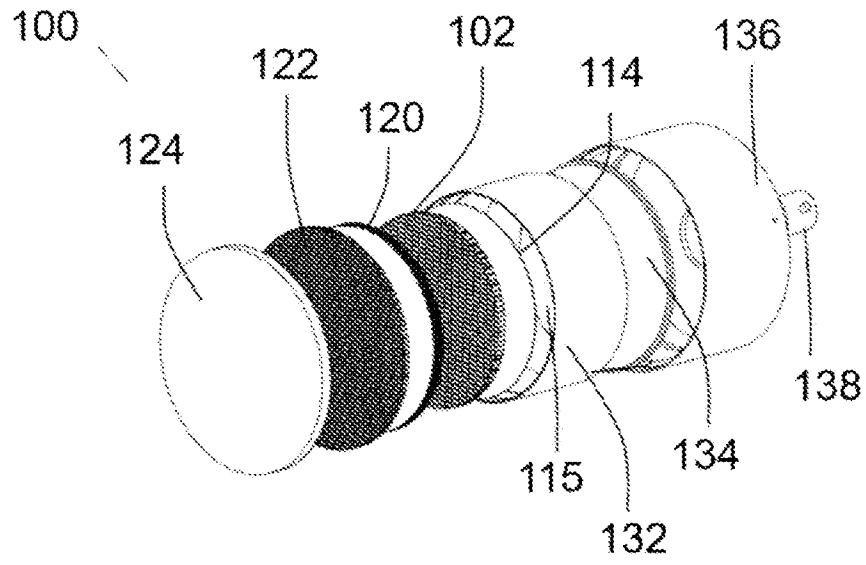


Figura 5A

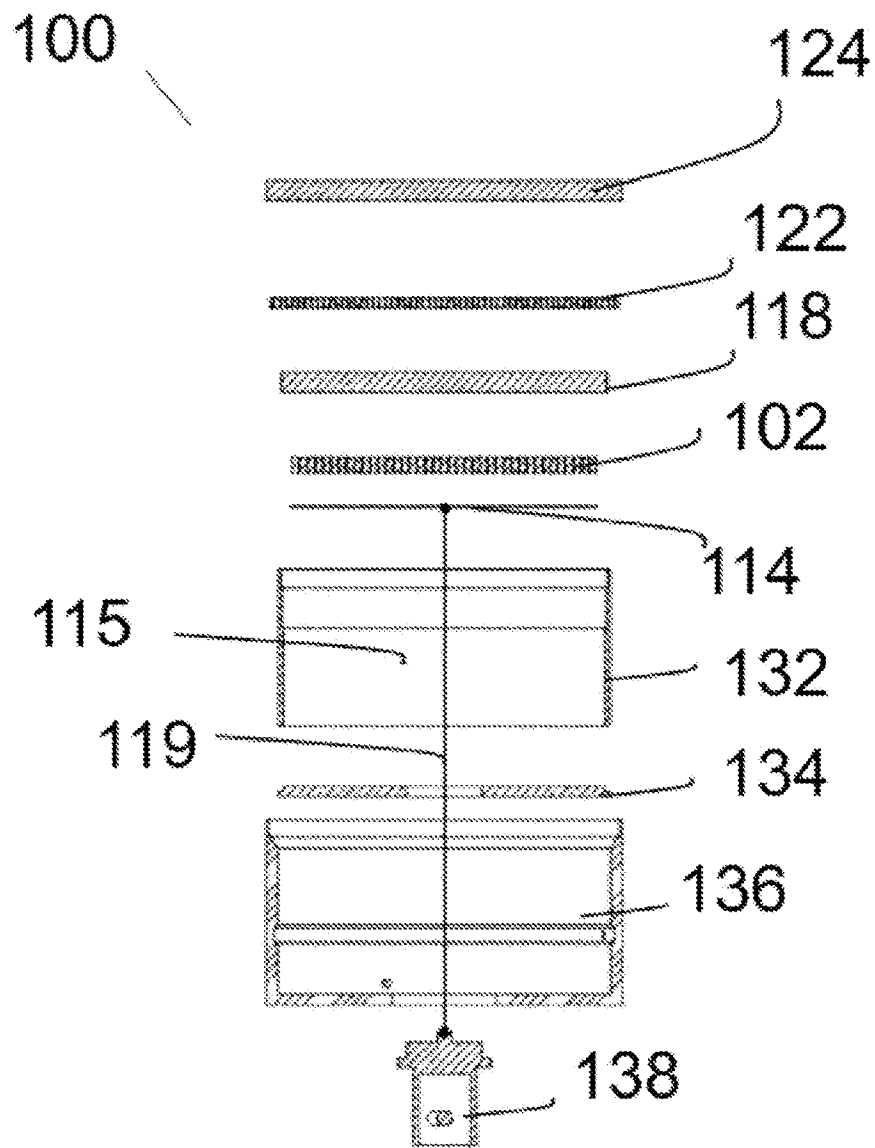


Figura 5B