

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 054**

51 Int. Cl.:

B01L 3/00 (2006.01)

B01L 99/00 (2010.01)

B06B 1/06 (2006.01)

H03H 9/145 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2020 PCT/EP2020/086031**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.06.2021 WO21122479**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2020 E 20829568 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2024 EP 4076749**

54 Título: **Dispositivo electroacústico**

30 Prioridad:

18.12.2019 EP 19306682

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2024

73 Titular/es:

UNIVERSITÉ DE LILLE (16.6%)

42 rue Paul Duez

59800 Lille, FR;

CENTRALE LILLE INSTITUT (16.6%);

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DES HAUTS DE FRANCE (16.6%);

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (16.6%);

YNCREA HAUTS DE FRANCE (16.6%) y

SORBONNE UNIVERSITÉ (16.6%)

72 Inventor/es:

BAUDOIN, MICHAËL;

THOMAS, JEAN-LOUIS;

RIAUD, ANTOINE y

BOU MATAR, OLIVIER

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 988 054 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

Dispositivo electroacústico

5 La invención se refiere a una batería con una pila de celdas que comprende capas apiladas unas sobre otras en una dirección de apilado, en donde las capas están formadas alternativamente por un electrodo o un separador. La invención se refiere además a un módulo de batería con varias baterías.

La presente invención se refiere a dispositivos electroacústicos principalmente para manipular objetos cuyo tamaño es inferior a 10^{-2} m, sumergidos en un medio fluido, principalmente líquido y en particular siendo más denso y/o más rígido que el medio fluido.

10 La manipulación selectiva de objetos de tamaño nanométrico y micrométrico es una operación compleja en varios ámbitos técnicos, tales como la biología celular, la microfluídica, ensamblaje de sistemas nanométricos y micrométricos.

15 La manipulación podría realizarse usando una herramienta, por ejemplo, pinzas o una micropipeta. El objeto se manipula después a través del desplazamiento de la herramienta. Tal método de manipulación que generalmente se denomina método de "contacto directo" no es deseable, en particular cuando el objeto es blando, o pegajoso, o incluso quebradizo. Por lo demás, puede alterar el objeto manipulado. Por último, la introducción de la herramienta en un sistema en donde el objeto está situado puede modificar las propiedades del sistema. Por ejemplo, en el caso de que el objeto esté sometido a un campo electromagnético, la introducción de la herramienta podría crear una perturbación de dicho campo. Puede introducirse también algo de polución. En el caso de que el sistema sea un medio biológico
20 que comprende células, el comportamiento celular puede modificarse mediante la introducción de la herramienta.

25 Se han desarrollado métodos sin contacto alternativos, tales como dielectroforesis, magnetoforesis, u optoforesis, también llamado método de "pinzas ópticas". Sin embargo, todas estas técnicas tienen graves inconvenientes. Por ejemplo, la dielectroforesis depende de la polarizabilidad del objeto y requiere la instalación de electrodos en la proximidad del objeto que va a manipularse. La magnetoforesis requiere el injerto de marcadores sobre el objeto. La optoforesis puede usarse con o sin injerto pero está limitada a fuerzas muy pequeñas por el importante calentamiento y fototoxicidad inherente a este método.

30 Se ha desarrollado otro método, llamado "acustoforesis de onda estacionaria" que consiste en implementar ondas acústicas superficiales (SAW) generadas en un sustrato para manipular un objeto situado o superpuesto al sustrato. Ejemplos de tal método se presentan en los documentos US 7,878,063 8B1, WO 2013/116311 A1, WO 2015/134831, el artículo "*Fast acoustic tweezer for the bi-dimensional manipulation of individual particles in microfluidic channels*", S.B.Q. Tran, P. Marmottant y P. Thibault, Applied Physics Letters, American Institute of Physics, 2012, 101, págs.114103 y el artículo "*On-chip manipulation of microparticles, cells, and organisms using surface acoustic waves*", X. Ding y col., Proc. Nat. Ac. Sci., 2012, 109, págs.11105-11109.

35 Todos los métodos conocidos de acustoforesis de onda estacionaria consisten en generar ondas acústicas estacionarias para manipular objetos. Sin embargo, la selectividad de estos métodos está limitada. En particular, todos los objetos se mueven hacia los nodos o antinodos de las ondas. Como consecuencia, los métodos de acustoforesis de onda estacionaria no permiten la manipulación selectiva de un objeto con independencia de sus vecinos.

40 El documento WO 2017/157426 A1 enseña un dispositivo que comprende un sustrato y que está configurado para generar una onda acústica superficial en remolino, denominada en lo sucesivo como una "SSAW", que se propaga en el sustrato. Un soporte puede estar acoplado acústicamente sobre el sustrato y un medio líquido que comprende un objeto denso y/o rígido puede estar dispuesto sobre el soporte. La SSAW generada en el sustrato se transmite al soporte y se propaga en él como vórtice acústico o un vórtice acústico degenerado en la masa del soporte. El objeto que está sometido a la presión de radiación del vórtice está atrapado por tanto y puede manipularse.

45 Sin embargo, un inconveniente del dispositivo electroacústico del documento WO 2017/157426 A1 es que cuando un objeto se desplaza mediante traslación a través del atrapamiento por el vórtice acústico opcionalmente degenerado, la traslación viene acompañada de la rotación del objeto. La rotación no puede desacoplarse de la traslación y así no puede controlarse. Esta rotación puede ser perjudicial dado que las fuerzas de fluido ligadas a la combinación de la traslación y rotación del objeto puede dar como resultado el desprendimiento del objeto. Además, para algunas aplicaciones es necesario controlar la orientación de un objeto que no puede conseguirse con el dispositivo descrito
50 en el documento WO 2017/157426 A1.

Existe por tanto la necesidad de un dispositivo electroacústico que supere los inconvenientes del dispositivo del documento WO 2017/157426 A1, cuando se manipula a través de la traslación de un objeto incrustado en un medio fluido acoplado acústicamente con el dispositivo.

55 El documento WO 2019/081521 A1 describe un dispositivo electroacústico que comprende un cuerpo con una parte piezoeléctrica, un electrodo caliente que va a alimentarse eléctricamente y un electrodo de puesta a tierra que va a ponerse a tierra eléctricamente, estando dispuestos el electrodo caliente y el electrodo de puesta a tierra sobre la parte piezoeléctrica de tal manera para definir un transductor de onda.

El documento WO 2007/069574 A1 describe un elemento de circuito de alta frecuencia con características de buen aislamiento.

La invención se refiere a un dispositivo electroacústico para generar al menos una onda acústica, comprendiendo el dispositivo un sustrato piezoeléctrico y primeros y segundos grupos de electrodos dispuesto sobre el sustrato, comprendiendo cada electrodo del primer y segundo grupo una pista,

girando en espiral las pistas de los electrodos del primer grupo alrededor de un mismo eje de espiral a lo largo del a primera dirección de devanado, y

girando en espiral las pistas de los electrodos del segundo grupo alrededor de dicho eje de espiral a lo largo de una segunda dirección de devanado opuesta a la primera dirección de devanado.

Cuando se alimentan eléctricamente, las señales eléctricas en los primeros y segundos grupos de electrodos generan tensión en el sustrato piezoeléctrico. La deformación resultante del sustrato viene acompañada del desarrollo de ondas acústicas. La interacción del primer grupo de electrodos con el sustrato genera una onda acústica cuya fase rota en una dirección alrededor del eje de espiral mientras que la interacción del segundo grupo de electrodos con el sustrato genera una onda acústica cuya fase rota en una dirección opuesta a lo largo del eje de espiral. En otras palabras el primer grupo de electrodos, el segundo grupo de electrodos respectivamente y el sustrato definen un primer, respectivamente un segundo transductor de onda.

Alimentando selectivamente los electrodos del primer y segundo grupo, la forma de onda, lo que resulta de la interacción de las ondas generadas por tanto el primer como el segundo grupo de electrodos, puede adaptarse durante la manipulación del objeto para controlar, y principalmente para impedir, la rotación y su efecto no deseado relacionado descrito en el presente documento más arriba. Así, la orientación del objeto y/o traslación del objeto mientras se bloquea la rotación del objeto puede realizarse fácilmente.

Preferiblemente, el número de vueltas del primer y segundo grupo de electrodos se ajusta de manera que cuando se accionan mediante la misma señal eléctrica, la intensidad y/o el par aplicados en el objeto atrapado se diferencia en menos de 10%. Al hacer esto, es posible reducir el desequilibrio en la intensidad del vórtice acústico generado por cada grupo de electrodos, siendo así más fácil controlar la dirección de rotación del vórtice acústico.

En la presente memoria, se considera que una onda acústica tiene una frecuencia comprendida entre 1 MHz y 10000 MHz.

El dispositivo electroacústico puede presentar además una o más de las siguientes características opcionales, consideradas solas o como una combinación.

Cada electrodo del primer grupo puede comprender una escobilla de contacto, dispuesta sobre el sustrato, que está conectada a la pista correspondiente del electrodo del primer grupo.

Las escobillas de contacto están destinadas a suministrar energía eléctrica a las pistas a las que están conectadas, al estar conectadas por ejemplo, a un aparato de suministro de energía.

En una realización cada escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo puede conectarse adicionalmente a la pista de un electrodo correspondiente del segundo grupo. En otra realización, cada electrodo del segundo grupo puede comprender una escobilla de contacto, dispuesta sobre el sustrato que está conectada con la pista correspondiente del electrodo del segundo grupo.

Las pistas de los electrodos del primer grupo pueden estar dispuestas remotamente con respecto a las escobillas de contacto de los electrodos del segundo grupo.

Las escobillas de contacto de los electrodos del primer grupo pueden ser diferentes de las escobillas de contacto de los electrodos del segundo grupo.

La pista de cada electrodo del primer grupo puede estar en contacto con la pista del electrodo correspondiente del segundo grupo.

En particular, la pista de cada electrodo del segundo grupo puede estar en contacto por uno de sus extremos con una de las escobillas de contacto correspondiente del electrodo del segundo grupo y por uno de sus extremos opuestos con la pista del electrodo correspondiente del primer grupo.

La pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede estar parcialmente superpuesta a la escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo y/o la pista de uno de los electrodos del primer grupo puede estar parcialmente superpuesta a la escobilla de contacto de uno de los electrodos del segundo grupo.

Las pistas de los electrodos del primer grupo pueden girar en espiral en una dirección en sentido contrario a las agujas del reloj y las pistas de los electrodos del segundo grupo pueden girar en espiral en una dirección en el sentido de las agujas del reloj. Como alternativa, las pistas de los electrodos del primer grupo pueden girar en espiral en una dirección en el sentido de las agujas del reloj y las pistas de los electrodos del segundo grupo puede girar en espiral en una dirección en sentido contrario a las agujas del reloj.

El sustrato puede comprender una parte piezoeléctrica y una capa dieléctrica que cubre la parte piezoeléctrica y acoplada acústicamente con la parte piezoeléctrica. La capa dieléctrica puede estar destinada a proteger la parte piezoeléctrica.

La capa dieléctrica puede estar hecha de sílice.

5 El grosor de la capa dieléctrica preferiblemente oscila entre 0,1 μm y 200 μm .

10 Dos porciones de la escobilla de contacto de uno de los electrodos del segundo grupo, respectivamente primer grupo, pueden estar previstas en la cara de la capa dieléctrica que es opuesta a la capa dieléctrica que mira a la parte piezoeléctrica. Las dos porciones pueden estar dispuestas en ambos lados de la pista de uno de los electrodos del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, estando prevista dicha pista en el mismo lado de la capa dieléctrica. Las dos porciones están conectadas una con la otra con una tercera porción de la escobilla de contacto que está enterrado en un túnel formado en la capa dieléctrica. El túnel es tal que una porción de la capa de sílice está prevista entre la pista del electrodo del primer, respectivamente segundo grupo de electrodos, y la tercera porción.

15 Una porción de la capa dieléctrica puede estar intercalada entre una porción de la escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo, y otra porción de la capa dieléctrica puede estar intercalada entre la escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo y una porción de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo, y/o una porción de la capa dieléctrica puede estar intercalada entre una porción de la escobilla de contacto de uno de los electrodos del segundo grupo, y otra porción de la capa dieléctrica puede estar intercalada entre la escobilla de contacto de uno de los electrodos del segundo grupo y una porción de la pista de uno de los electrodos del primer grupo.

20 Una porción de la escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, puede estar prevista en una cara de la capa dieléctrica y otra porción de dicha escobilla de contacto puede estar prevista en la cara opuesta, estando puenteadas las porciones de dicha escobilla de contacto una con la otra a través de una ventana dispuesta en la capa dieléctrica.

25 Preferiblemente, al menos uno de los electrodos del primer grupo, y principalmente cada electrodo del primer grupo, puede comprender al menos una pista, y/o al menos uno de los electrodos del segundo grupo, y principalmente cada electrodo del segundo grupo, puede comprender al menos una pista.

30 En algunas realizaciones, cada electrodo del primer grupo puede comprender una única pista que puede comprender principalmente múltiples bobinas. La pista de uno de los electrodos del primer grupo, principalmente la pista de cada electrodo del primer grupo, y/o la pista de electrodos del segundo grupo, principalmente la pista de cada electrodo del segundo grupo, puede comprender varias bobinas que giran en espiral alrededor del eje de espiral. El aumento del número de bobinas mejora la focalización y aumenta la fuerza de atrapamiento.

El electrodo del primer grupo puede comprender una bobina radialmente interna que rodea completamente el eje de espiral, y/o el electrodo del segundo grupo puede comprender una bobina radialmente interna que rodea completamente el eje de espiral.

35 En otras realizaciones, cada electrodo del primer grupo puede comprender al menos dos pistas, incluso al menos cuatro, incluso más al menos seis pistas. Cada electrodo del primer grupo puede comprender al menos dos pistas, incluso al menos cuatro, incluso más al menos seis pistas. Cada electrodo del primer grupo puede comprender el mismo número de pistas y/o cada electrodo del segundo grupo puede comprender el mismo número de pistas.

El aumento del número de pistas aumenta la fuerza de atrapamiento.

40 Las pistas de uno de los electrodos pueden estar todas conectadas a la escobilla de contacto del electrodo.

El primer grupo de electrodos puede comprender al menos dos electrodos. Puede comprender al menos tres, o incluso al menos cuatro electrodos. Cada electrodo del primer grupo puede estar destinado a alimentarse con una señal eléctrica que es diferente, y más especialmente fuera de fase, desde la señal eléctrica que está destinada aplicarse a los otros electrodos del primer grupo.

45 Principalmente, en algunas realizaciones el primer grupo de electrodos consiste en dos electrodos.

El segundo grupo de electrodos puede comprender al menos dos electrodos. Puede comprender al menos tres, o incluso al menos cuatro electrodos. Cada electrodo del segundo grupo puede estar destinado a alimentarse con una señal eléctrica que es diferente, y más especialmente fuera de fase, desde la señal eléctrica que está destinada a aplicarse a los otros electrodos del segundo grupo.

50 Principalmente, en una realización el segundo grupo de electrodos consiste en dos electrodos.

En una realización, el primer grupo de electrodos consiste en dos electrodos y el segundo grupo de electrodos consiste en dos electrodos.

El primer grupo de electrodos y el segundo grupo de electrodos puede definir un conjunto de electrodos interdigitados. Principalmente, en una realización, cada electrodo del primer y segundo grupo comprende varias pistas que están interdigitadas entre sí.

55

En una variante, el primer grupo de electrodos está previsto radialmente interno al segundo grupo de electrodos.

La pista de uno de los electrodos del primer grupo puede estar dispuesta entre dos pistas de otro de los electrodos del primer grupo.

5 La pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede estar dispuesta entre dos pistas de otro de los electrodos del primer grupo.

Las pistas de uno de los electrodos del primer grupo y las pistas de otro de los electrodos del primer grupo pueden estar dispuestas radialmente en una manera alterna y preferiblemente en una manera adyacente, alrededor del eje de espiral.

10 Las pistas de uno de los electrodos del segundo grupo y las pistas de otro de los electrodos del segundo grupo pueden estar dispuestas radialmente en una manera alterna y preferiblemente en una manera adyacente, alrededor del eje de espiral.

Las pistas de al menos uno, incluso al menos dos electrodos del segundo grupo pueden estar dispuestas entre las pistas de uno de los electrodos del primer grupo y las pistas de otro electrodo del segundo grupo.

15 Las pistas de uno de los electrodos del primer grupo pueden estar dispuestas radialmente dentro de las pistas de uno de los electrodos del segundo grupo, o viceversa.

La etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo y/o la etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser constante.

20 La etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo y/o la etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser constante.

La etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo y/o la etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo puede disminuir radialmente del eje de espiral.

25 La etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo y la etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede disminuir radialmente desde el eje de espiral.

30 La tasa de disminución radial de la etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo la tasa de disminución de la etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser diferente. La "tasa de disminución radial" de la etapa radial corresponde a la derivada matemática de la etapa radial con respecto a una dirección radial predeterminada. El primer y segundo transductor de onda pueden presentar de este modo diferente frecuencia de resonancia.

35 Los electrodos del primer grupo y/o los electrodos del segundo grupo pueden estar dispuestos en una misma cara del sustrato. Como variante, los electrodos del primer grupo pueden estar previstos en una primera cara sobre el sustrato y los electrodos de los segundos grupos pueden estar previstos en una segunda cara del sustrato que es opuesta a la primera cara.

La pista de uno de los electrodos del primer grupo puede estar prevista en una primera cara sobre el sustrato y la pista de otro de los electrodos del primer grupo puede estar prevista en una segunda cara del sustrato que es opuesta a la primera cara.

40 La pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede estar prevista en una primera cara sobre el sustrato y la pista de otro de los electrodos del segundo grupo puede estar prevista en una segunda cara del sustrato que es opuesta a la primera cara.

45 La pista de uno de los electrodos del primer grupo, principalmente la pista de cada electrodo del primer grupo, y/o la pista de uno de los electrodos del segundo grupo, principalmente la pista de cada electrodo del segundo grupo, pueden extenderse angularmente alrededor del eje de espiral con un ángulo mayor de 90°, principalmente mayor de 180°, preferiblemente mayor de 270°, incluso mayor de 300°.

En una primera realización específica, el dispositivo puede estar configurado para generar una onda acústica superficial en remolino que se propaga en el sustrato.

La onda acústica superficial en remolino puede presentar una longitud de onda λ fundamental que oscila entre 10^{-7} m y 10^{-3} m.

50 La onda acústica superficial en remolino puede ser una onda Lamb generalizada o preferiblemente una onda Rayleigh generalizada.

Principalmente, el dispositivo puede comprender un soporte, tal como se describe en la presente memoria, acoplado acústicamente con el sustrato, estando configurado el dispositivo además para transmitir la onda acústica superficial en remolino al soporte y se propaga en ella, como un vórtice acústico opcionalmente degenerado.

Una onda acústica superficial en remolino (SSAW) es una onda que se propaga girando alrededor de una singularidad de fase en donde las interferencias destructivas conducen a una cancelación de la amplitud de onda. Una SAW en remolino puede propagarse en un sustrato isotrópico y/o en un sustrato anisotrópico, como se describe en el documento WO 2017/157426 A1. Cada pista de cada electrodo del primer grupo y del segundo grupo puede girar en espiral a lo largo de una línea definida por la ecuación

$$R(\theta) = \frac{\phi_0 - \omega\mu_0(\theta) + \alpha \left(\psi(\theta) \right) - \frac{\pi}{4} \operatorname{sgn} \left(h''(\psi(\theta), \theta) \right) - l\theta}{\omega s_r \left(\psi(\theta) \right) \cos(\psi(\theta) - \theta)}$$

en donde:

$R(\theta)$ es la coordenada polar de la línea con respecto al ángulo azimut θ ,

10 ϕ_0 es un parámetro libre,

1 es el orden de vórtice de un SAW en remolino de pulsación ω , siendo 1 un número entero tal que $|| \geq 1$.

$\mu_0(\theta)$ viene dado por:

$$\mu_0(\theta) = \sum_{i=1}^n s_z^{(i)}(\theta)(z_i - z_{i-1})$$

15 donde $z_i - z_{i-1}$ es la distancia entre dos interfaces sucesivas que separan los materiales pilados sobre el sustrato, siendo z_0 la altura de la interfaz entre el sustrato y la capa en contacto con el sustrato, $\mu_0(\theta) = 0$ en caso de ausencia de las capas apiladas

$$h''(\psi) \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} [s_r(\psi) \cos(\psi - \theta)] \quad \text{se evalúa en } \psi = \psi$$

20

donde ψ depende de θ como sigue:

$$\psi(\theta) = \theta + \operatorname{atan2} \left(\frac{s_r'(\theta)}{\sqrt{s_r'^2(\theta) + s_z^2(\theta)}}, \frac{s_r(\theta)}{\sqrt{s_r'^2(\theta) + s_z^2(\theta)}} \right)$$

25 $s_r(\psi)$ es la lentitud de onda en el plano de superficie del sustrato en la dirección de propagación ψ , y $s_z(\psi)$ es la lentitud de onda en la dirección fuera del plano, siendo una lentitud de onda en una dirección i r o calculándose z a partir del número de onda k_i as $s_r(\psi) = k_r(\psi)/\omega$: y $s_z(\psi) = k_z(\psi)/\omega$

$s_r'(\psi)$ es la derivada de $s_r(\psi)$ con respecto a la dirección de propagación,

$\alpha(\psi)$ es la fase del movimiento vertical de la onda que se propaga en la dirección ψ contra el campo eléctrico asociado.

30 El primer transductor puede estar configurado para generar una primera SSAW y el segundo transductor puede estar configurado para generar una segunda SSAW. En algunas realizaciones, las longitudes de onda fundamentales de la onda SSAW generadas por el primer y segundo transductor pueden ser iguales. En otras realizaciones, pueden ser diferentes.

35 El primer transductor de onda puede presentar una frecuencia de resonancia que es diferente del segundo transductor de onda. Como se verá más adelante, eligiendo adecuadamente la frecuencia de la(s) señal(es) eléctrica(s) que van a aplicarse al primer y al segundo grupo de electrodos, se puede controlar fácilmente la rotación del objeto cuando este está sometido a la onda acústica generada por el dispositivo.

La etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo y/o etapa radial entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser constante.

40 En una variante, la etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo y/o etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser constante. Además, la etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo y etapa radial entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo puede ser constante y diferente.

45 Dicha etapa radial (Δ) puede estar comprendida entre $0,48 \lambda$ y $0,52 \lambda$, preferiblemente igual a $\lambda/2$, λ estando generada la longitud de onda fundamental de la onda superficial ultrasónica en remolino por el primer transductor de onda, respectivamente el segundo transductor.

5 En una segunda realización específica, el dispositivo está configurado para generar un vórtice acústico focalizado. El dispositivo puede estar configurado para propagar el vórtice acústico focalizado en el soporte. En una variante, el dispositivo comprende un soporte, tal como se describe en el presente documento, acoplado acústicamente con el sustrato, propagándose el vórtice acústico focalizado en el soporte. En una última variante, el vórtice acústico focalizado se propaga en un medio fluido, principalmente un líquido cuando el medio fluido está acoplado acústicamente con el dispositivo.

10 El dispositivo electroacústico no está configurado para sintetizar una onda acústica de superficie que se propaga en el sustrato piezoeléctrico como se compara con el vórtice descrito en el documento WO 2017/157426 A1. El dispositivo electroacústico es tal que la magnitud de anillos secundarios de vórtice acústico focalizado disminuye más rápido radialmente que el vórtice acústico cilíndrico o vórtice acústico degenerado generado por el dispositivo del documento WO 2017/157426 A1. Por lo demás, cuando un objeto está atrapado en la zona de su intensidad acústica más baja del vórtice acústico focalizado, puede manipularse a lo largo de una dirección paralela al eje de espiral. Por último, si se considera el mismo objeto que va a manipularse, la fuerza aplicada al objeto mediante la implementación del dispositivo electroacústico de la invención puede ser mayor que con el dispositivo enseñado en el documento WO 15 2017/157426 A1, dado que la energía se focaliza en tres dimensiones. Por último, en un plano transversal al eje de espiral, la presión puede estar distribuida de forma anisotrópica.

El medio líquido puede ser acuoso, por ejemplo agua. Puede ser un medio de base salina, adaptado para mantener la integridad física de un material biológico.

20 Preferiblemente la distancia entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo disminuye radialmente del eje de espiral y/o la distancia entre dos pistas radialmente consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo disminuye radialmente del eje de espiral.

Preferiblemente, la distancia entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo disminuye radialmente desde el eje de espiral y/o la distancia entre dos bobinas radialmente consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo disminuye radialmente desde el eje de espiral.

25 Preferiblemente, la longitud de onda fundamental del vórtice acústico generado por el dispositivo en el medio fluido puede oscilar entre 100 nm y 10 mm.

30 Los electrodos del primer grupo, respectivamente los electrodos del segundo grupo, pueden comprender electrodos calientes destinados ser alimentados y electrodos de puesta a tierra destinados a ponerse a tierra. Los electrodos calientes y los electrodos de puesta a tierra del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, pueden estar dispuestos alternativamente a lo largo de una dirección radial.

35 En una variante, el primer grupo de electrodos, respectivamente el segundo grupo de electrodos, puede comprender un primer electrodo caliente y un segundo electrodo caliente que están destinados a ser alimentados con diferentes señales eléctricas por ejemplo fuera de fase las unas con las otras. Adicionalmente, el dispositivo puede comprender un primer electrodo de puesta a tierra, respectivamente un segundo electrodo de puesta a tierra, destinados a ponerse a tierra.

40 El primer grupo de electrodos, respectivamente el segundo grupo de electrodos pueden estar dispuestos en un lado del sustrato y el segundo grupo de electrodos, respectivamente el primer grupo de electrodos puede estar dispuesta en un lado opuesto del sustrato. El primer electrodo de puesta a tierra, respectivamente el segundo electrodo de puesta a tierra puede estar dispuesto entre dos primeros electrodos calientes adyacentes y segundos electrodos calientes del primer grupo, respectivamente segundo grupo.

45 Por ejemplo, el primer electrodo de puesta a tierra, respectivamente el segundo electrodo de puesta a tierra puede ser un recubrimiento superpuesto con el primer electrodo caliente y el segundo electrodo caliente del primer grupo, respectivamente del segundo grupo. El primer electrodo de puesta a tierra, respectivamente el segundo electrodo de puesta a tierra, puede comprender una pista que gira alrededor del eje de espiral, y que puede solapar la pista del primer electrodo caliente y/o la pista del segundo electrodo caliente del primer grupo, respectivamente del segundo grupo.

El primer y segundo electrodos de puesta a tierra pueden estar previstos en la misma cara del sustrato. Pueden compartir una misma escobilla de contacto o pueden estar conectados a una misma escobilla de contacto.

En una variante, el primer electrodo de puesta a tierra puede ser el segundo electrodo de puesta a tierra y viceversa.

50 El primer electrodo de puesta a tierra puede estar previsto en una cara del sustrato opuesto a la cara en la que los electrodos del segundo grupo están dispuestos y/o el segundo electrodo de puesta a tierra puede estar previsto en una cara del sustrato opuesta a la cara en la que los electrodos del primer grupo están dispuestos.

55 El ancho de al menos un electrodo caliente del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, puede variar radialmente desde el eje de espiral. La amplitud del vórtice ultrasónico focalizado puede modificarse de este modo. Principalmente, a lo largo de una dirección radial, el ancho de una pista radialmente interna de dicho electrodo caliente puede ser mayor que el ancho de una pista radialmente exterior adyacente.

El electrodo de puesta a tierra y/o el electrodo caliente pueden estar recubiertos con un material eléctricamente aislante, preferiblemente en la forma de una capa de cuarto de longitud de onda. Una capa de un cuarto de longitud de onda mejora la transmisión de la onda acústica.

- 5 En particular, al menos una de las pistas, y principalmente todas las pistas de los electrodos del primer grupo y/o al menos una de las pistas, y principalmente todas las pistas de los electrodos del segundo grupo dibujan una línea a lo largo de una coordenada polar $R(\theta)$, tal como se ilustra en las figuras 11 y 12, desde un centro C, obteniéndose dicha coordenada polar mediante la resolución de la ecuación (i)

$$\psi_\theta = \mu^{(N)}(\bar{\psi} + \pi, -\bar{\sigma}_N) - \alpha(\bar{\psi} + \pi, -\bar{\sigma}_N) + \omega s_{ref} h(\theta, \phi, \bar{\psi}, \bar{\sigma}_N) \sqrt{R^2 + z^{(N)^2} + \frac{\pi}{4} z} \quad (i)$$

10 en donde

$\tan \phi = -\frac{R}{z^{(N)}}$ (ii), siendo $z^{(N)}$ la distancia a lo largo del eje Z entre la cara del sustrato piezoeléctrico en la que el electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo está previsto y el lugar focal 2 del vórtice como se ilustra en la figura 11,

- 15 $\psi_0(R)$ es la fase del potencial eléctrico acoplado al vórtice mediante efecto piezoeléctrico a la altura a lo largo del eje Z en el plano donde el electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo está previsto; la ecuación (i) se resuelve cuando esta fase es constante a lo largo de un electrodo,

$\mu^{(N)}(\psi + \pi, -\sigma^N)$ es la fase del espectro angular en el lugar focal del vórtice siendo $\bar{\psi}$ y $\bar{\sigma}_N$ ángulos de excitación de haz, preferiblemente $\mu^{(N)} = \frac{m\pi}{\bar{\psi}}$, siendo m un número entero positivo,

- 20 siendo $\alpha(\bar{\psi} + \pi, -\bar{\sigma}_N)$ el coeficiente de acoplamiento piezoeléctrico,

ω es el pulso de onda del vórtice,

s_{ref} es una velocidad de referencia, por ejemplo igual a la velocidad media de sonido en el sustrato piezoeléctrico,

$h(\theta, \phi, \psi, \sigma_N)$ es el tiempo de vuelo adimensional de la onda, que reza

$$h = \frac{1}{s_{ref}} \left(s_r(\psi, \sigma_0(\sigma_N)) \sin \phi \cos(\psi - \theta) + \cos \phi \sum_{n=0}^{N-1} s_z^{(n)}(\psi, \sigma_n(\sigma_N)) \gamma_n^{n+1} \right) \quad (iii)$$

- 25 donde

o

$$\gamma_n^{n+1} = \frac{z^{(n+1)} - z^{(n)}}{z^{(N)}}$$

- 30 siendo $z(n)$ la distancia entre la primera interfaz de un material n apilado sobre el sustrato piezoeléctrico y contiendo el plano el electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo, en el caso de que se apilen n medios sobre el sustrato piezoeléctrico, correspondiente $n=0$ al plano que contiene el electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo,

o $s_r(\psi, \sigma_0(\sigma_N))$ y

35 $s_z^{(n)}(\psi, \sigma_n(\sigma_N))$

estando las componentes del vector de lentitud de onda en el sistema de coordenadas cilíndrico con la dirección de propagación referida por los ángulos ψ y σ ; $s_r(\psi, \sigma_0(\sigma_N))$ es independiente del material debido a leyes de propagación, y por ejemplo, se elige siendo igual a

- 40

$$s_r^{(0)}(\psi, \sigma_0(\sigma_N))$$

que es la componente radial de la lentitud de onda en la parte piezoeléctrica; cada onda que forma el vórtice mediante interferencia de múltiples ondas se propaga en n medios a lo largo de una dirección expresada con

ángulos ψ y estando medidos σ_n los ángulos azimut y de inclinación respectivamente desde el eje Z a partir del lugar focal del vórtice, y siendo σ_0 el ángulo de refracción del material constitutivo del sustrato piezoeléctrico; el ángulo ψ es independiente del material en donde la onda se propaga mientras que el ángulo de refracción σ_n se obtiene resolviendo la relación de Snell-Descartes

$$s^{(n)}(\psi, \sigma_n) \text{sen} \sigma_n = s^{(N)}(\psi, \sigma_N) \text{sen} \sigma_N \quad (\text{iv});$$

- 5 un experto en la técnica sabe cómo calcular la lentitud a partir de las propiedades de material para cualquier tipo de onda usando métodos de acústica en sólidos bien conocidos en la técnica;

°

$$S_z^{(n)}$$

- 10 viene dado por la siguiente relación de dispersión

$$s_z^{(n)}(\psi, \sigma_n) = \sqrt{s^{(n)}(\psi, \sigma_n)^2 - s_r(\psi, \sigma_0(\sigma_n))^2} \quad (\text{v}),$$

y

$$\frac{\pi}{4} \zeta$$

- 15 es la fase de Gouy del vórtice, en donde ζ es la firma, es decir la diferencia entre el número de valores propios positivos y el número de valores propios negativos de la matriz hessiana A de función h evaluada en ψ, σ_N

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{\text{sen}^2 \sigma_N} \frac{\partial^2}{\partial \psi^2} h & \frac{1}{\text{sen} \sigma_N} \frac{\partial^2}{\partial \psi \partial \sigma} h \\ \frac{1}{\text{sen} \sigma_N} \frac{\partial^2}{\partial \psi \partial \sigma} h & \frac{\partial^2}{\partial \sigma^2} h \end{pmatrix} \Bigg|_{\psi, \sigma_N} \quad (\text{vi})$$

- 20 Para resolver la ecuación (i), una vez que se obtiene la función de 4 variables $h(\theta, \phi, \psi, \sigma_N)$, los ángulos de excitación de haz ψ, σ_N se obtienen usando métodos numéricos muy conocidos como soluciones de los siguientes sistemas de ecuaciones diferenciales

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \sigma_N} h = 0, \\ \frac{1}{\text{sen} \sigma_N} \frac{\partial}{\partial \psi} h = 0. \end{cases} \quad (\text{vii})$$

- 25 El dispositivo puede comprender una pila que comprende en sucesión el sustrato piezoeléctrico, el soporte y opcionalmente al menos otro soporte apilado sobre el soporte. Para definir la forma del electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo resolviendo el sistema de ecuaciones (i) en (viii), puede implementarse el siguiente método, que comprende las etapas sucesivas de:

calcular la lentitud en cada material de la pila, mediante métodos estandarizados muy conocidos por un trabajador experto, es decir el sustrato piezoeléctrico y/o el soporte y/o lo(s) otro(s) soporte(s),

- 30 calcular los ángulos de refracción σ_n como soluciones de ecuación (iv) y la componente z del vector de lentitud de onda en cada constituyente (n) de la pila como solución de ecuación (v),

calcular la función h como solución de ecuación (iii),

calcular ψ, σ_N como soluciones de ecuación (vii),

evaluar la fase Gouy como solución de ecuación (vi),

- 35 calcular la función $\psi_0(R)$ y

evaluar $R(\theta)$.

En la ecuación (i), cada salto de 2π en el ángulo ψ_0 da como resultado una línea de un nuevo electrodo del primer grupo, respectivamente electrodo del segundo grupo con la misma polaridad. La polaridad inversa está provista de un salto de π .

- 5 Por ejemplo, la pila puede consistir en un sustrato piezoeléctrico y un soporte, siendo el soporte más grueso, preferiblemente cinco veces más grueso que el sustrato piezoeléctrico, y hecho de un material isotrópico, y el electrodo del primer grupo, respectivamente el electrodo del segundo grupo dibuja una línea a lo largo de una coordenada polar $R(\theta)$, desde un centro C cuya ecuación es

$$R(\theta) = \sqrt{\left(\frac{\psi_0 + m\theta}{\omega s}\right)^2 - z(N)^2}$$

(viii)

- 10 La ecuación (viii) se obtiene como una solución analítica de los conjuntos de ecuaciones (i) a (vii) con $s_r(\psi, \sigma) = s \sin \sigma$ y $s_z(\psi, \sigma) = s \cos \sigma$, s siendo la lentitud del vórtice en el material de soporte y siendo α una constante que no influye en $\psi_0(R)$. En tal caso, la solución de la ecuación (vi) da como resultado $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{a} \cdot \vec{e}$. Además, $\vec{A}(\vec{r}, \sigma) = 1$ y A es una matriz de identidad, siendo la fase de Gouy $\pi/2$ y puede descartarse dado que es una constante que no influye en el nivel fijado $\psi_0(R)$. En otras palabras, en la ecuación (viii), ψ_0 es una constante.
- 15

Los electrodos del primer grupo y/o los electrodos del segundo grupo y, si resulta apropiado, los primeros y/o segundos electrodos de puesta a tierra pueden estar hechos de un material metálico, principalmente seleccionado entre oro, plata, aluminio y sus mezclas. El aluminio se prefiere para aplicaciones a frecuencias superiores a 100 MHz. El oro y/o la plata se prefieren cuando se necesita una buena conductividad.

- 20 Los electrodos del primer grupo y/o los electrodos del segundo grupo puede estar depositados sobre el sustrato mediante fotolitografía. En particular, una capa de un material que comprende cromo o titanio podría depositarse sobre el sustrato antes de depositar los electrodos para mejorar la adherencia de los electrodos sobre el sustrato.

El sustrato puede ser una placa con un grosor mayor o igual a 500 μm .

- 25 Como se describe previamente, el sustrato puede comprender o consistir en una parte piezoeléctrica. La parte piezoeléctrica puede estar hecha de un material anisotrópico, preferiblemente seleccionado entre niobato de litio, titanato de litio, cuarzo, óxido de zinc, nitruro de aluminio, titano-zircanato de plomo, y sus mezclas.

El sustrato puede estar hecho al menos parcialmente de un material no-opaco, preferiblemente transparente.

El sustrato puede estar montado de manera que puede rotar sobre un pivote alrededor de un eje de rotación.

- 30 Tal como se ha descrito aquí anteriormente, el dispositivo puede comprender un soporte acoplado acústicamente con el sustrato. El soporte puede superponerse al primer grupo y segundo grupo de electrodos y el sustrato.

El soporte puede estar hecho al menos parcialmente de un material no-opaco, preferiblemente transparente.

El soporte puede estar hecho de un material no piezoeléctrico.

El soporte puede estar hecha de un material isotrópico con respecto a la propagación de una onda ultrasónica.

- 35 El soporte puede comprender un material seleccionado entre un vidrio y un polímero, en particular un termoplástico, de manera más preferible polimetilmetacrilato (PMMA). Principalmente, el soporte puede estar hecho de vidrio.

El soporte puede ser estacionario con respecto al sustrato. Por ejemplo, está pegado al sustrato.

El dispositivo puede comprender una capa hecha de un medio de acoplamiento intercalado entre el sustrato y el soporte. El medio de acoplamiento es por ejemplo un adhesivo óptico, tal como NOA61 de Norland Product.

- 40 El primer grupo de electrodos y/o el segundo grupo de electrodos pueden estar intercalados entre el sustrato y el soporte.

El dispositivo electroacústico puede comprender una base, preferiblemente hecha de un material no piezoeléctrico, que está dispuesto sobre el soporte y/o el sustrato.

La base puede estar hecha al menos parcialmente de un material no-opaco, preferiblemente transparente, especialmente hecha de cristal.

- 45 La base puede tener la forma de una capa depositada sobre el sustrato y/o el soporte.

El sustrato y/o el soporte pueden ser parte de un objetivo de un microscopio o puede ser parte de un dispositivo configurado para fijarse a un objetivo de un microscopio.

El dispositivo puede comprender un órgano configurado para desplazar el soporte con respecto al transductor, preferiblemente mediante traslación a lo largo de cualquiera de los dos ejes tanto perpendicular, y paralelo al sustrato.

Por lo demás, el dispositivo puede tener forma de disco. El dispositivo puede comprender a una marca visual situada en la zona central del sustrato, por ejemplo hecha del mismo material que primeras y segundas pistas.

- 5 El dispositivo puede estar conectado a un aparato de suministro de energía. Los conectores del primer grupo, y si es apropiado, de los conectores del segundo grupo están conectados al aparato de suministro de energía.

El aparato de suministro de energía puede estar configurado para alimentar eléctricamente los electrodos del primer y segundo grupo respectivamente tales como para generar ondas acústicas, principalmente presentando cada una frecuencia fundamental que oscila entre 100 KHz y 10 GHz, en el sustrato piezoeléctrico.

- 10 Por lo demás, la invención también se refiere a un proceso según uno de sus aspectos, para manipular un objeto incrustado en un medio fluido, principalmente líquido, comprendiendo las siguientes etapas de:

generar al menos un vórtice acústico opcionalmente degenerado con el dispositivo según la primera realización específica de la invención o un vórtice acústico focalizado con un dispositivo según la segunda realización específica de la invención,

- 15 propagar dicho vórtice acústico opcionalmente degenerado, o dicho vórtice acústico focalizado en el medio fluido tal como para crear una presión de radiación en donde el objeto está sometido, y

manipular el objeto mediante el desplazamiento de los electrodos del primer grupo y los electrodos del segundo grupo con respecto al medio fluido.

La invención también se refiere, según otros de sus aspectos, a un proceso que comprende las siguientes etapas de:

- 20 generar al menos un vórtice acústico opcionalmente degenerado con el dispositivo según las primeras realizaciones específicas de la invención o un vórtice acústico focalizado con un dispositivo según las segundas realizaciones específicas de la invención,

propagar dicho vórtice acústico opcionalmente degenerado, o dicho vórtice acústico focalizado en un medio fluido, principalmente líquido tal como para generar un flujo vortical del medio fluido.

- 25 Por ejemplo, el flujo vortical puede promoverse mediante la mezcla del medio fluido.

Cualquiera que sea el aspecto de la invención, el procedimiento puede presentar cualquiera de las siguientes características, consideradas aisladamente o como una combinación.

El objeto tiene preferiblemente un tamaño que es menor de 10^{-2} m.

El objeto es preferiblemente denso y/o más rígido que el medio fluido.

- 30 El objeto puede ser un material biológico. El material biológico puede ser móvil en el medio fluido, en ausencia de la onda acústica. Puede comprender una o más células. Por ejemplo, se trata de un microorganismo ciliado, un espermatozoide o un ovocito. Preferiblemente, el objeto no tiene etiquetas. El vórtice acústico opcionalmente degenerado, o el vórtice acústico focalizado respectivamente puede generarse suministrando eléctricamente al menos a uno de los electrodos del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, con una señal maestro y al menos otro de los electrodos del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, con una señal esclavo.

El primer y segundo transductor de onda puede tener diferentes frecuencias de resonancia y la generación del vórtice acústico degenerado opcionalmente o del vórtice acústico focalizado puede comprender el suministro de al menos un conjunto de señales eléctricas maestro y esclavo adaptadas para excitar el primer y segundo transductor de onda con una frecuencia que oscila entre las frecuencias de resonancia del primer y segundo transductor de onda.

- 40 La amplitud de la primera señal maestro y/o de la primera señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del primer grupo, y la amplitud de la segunda señal maestro y/o de la segunda señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del segundo grupo, respectivamente, pueden ser diferentes.

- 45 Las frecuencias de la primera señal maestro y/o de la primera señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del primer grupo, y las frecuencias de la segunda señal maestro y/o de la segunda señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del segundo grupo, respectivamente, pueden ser diferentes.

Mediante el control de las amplitudes y/o las frecuencias de las señales suministradas al primer y segundo grupo de electrodos, puede controlarse los efectos relativos del primer y segundo transductor de onda, por ejemplo de tal manera que se impide rotación de un objeto atrapado por la onda acústica.

En particular, la etapa de manipular el objeto puede comprender:

- 50 controlar la rotación del objeto alrededor de sí mismo, principalmente impidiendo la rotación del objeto alrededor de sí mismo, y/o

controlar la traslación del objeto, principalmente impidiendo la traslación del objeto.

Más específicamente, la etapa de manipular el objeto puede comprender la inmovilización del objeto, principalmente en la variante en la que el objeto es un material biológico móvil en el medio fluido en ausencia de onda acústica, por ejemplo, un microorganismo ciliado o un espermatozoide.

5 En una variante, la frecuencia de la señal maestro y/o de la señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del primer grupo, y la frecuencia de la señal maestro y/o de la señal esclavo suministradas a los electrodos correspondientes del segundo grupo, puede oscilar entre la frecuencia de resonancia del primer transductor de onda y frecuencia de resonancia del segundo transductor de onda.

En otra variante, las señales maestro y esclavo suministradas a los primeros y segundos grupos de electrodos pueden comprender paquetes de onda.

10 La duración de un paquete de onda de las señales maestro suministradas al primer y segundo grupo de electrodos puede ser diferente, y/o la duración de un paquete de onda de las señales esclavo suministradas a los primeros y segundos grupos de electrodos puede ser diferente.

El suministro de señales esclavo y maestro al primer grupo de electrodos puede alternar en el tiempo con el suministro de señales esclavo y maestro al segundo grupo de electrodos. Principalmente cuando los electrodos del primer grupo se suministran con un paquete de onda, los electrodos del segundo grupo pueden estar apagados, y viceversa.

15 La etapa de manipulación puede comprender al menos una de:

traslación del objeto desde una posición inicial hacia una posición final,

20 rotación del objeto desde una orientación inicial hacia una orientación final; la orientación se mide por ejemplo, mediante un ángulo entre una dirección específica del objeto, por ejemplo la dirección de extensión del objeto; en la orientación final, se impide que el objeto rote, pero puede trasladarse.

Por lo demás, la amplitud y/o frecuencias y/o duración de paquetes de onda de la señal maestro y/o de las señales esclavo puede adaptarse para suprimir, principalmente por completo, la rotación del objeto alrededor del eje de espiral mientras que se permite la traslación del objeto.

25 La invención también se refiere al uso de los dispositivos electroacústicos de la invención para generar un vórtice acústico opcionalmente degenerado o un vórtice ultrasónico focalizado. El vórtice ultrasónico focalizado puede ser isotrópico o anisotrópico. En particular, puede ser esférico.

Por ejemplo un "vórtice esférico" que se propaga en un "medio isotrópico" se define a través de la ecuación (ix):

30
$$W_n^m(\theta, \varphi, \rho) = e^{-iat} j_n(k\rho) Y_n^m(\varphi, \theta), \quad (ix),$$

y un "vórtice esférico" que se propaga en un "medio anisotrópico" se define a través de la ecuación (x):

$$W_n^m(\theta, \varphi, \rho) = \frac{e^{-iat}}{4\pi i^n} \int_{\sigma=\theta}^{\pi} \int_{\psi=-\pi}^{\pi} Y_n^m(\sigma, \psi) e^{ik\rho} \sin\sigma \, d\sigma \, d\psi \quad (x),$$

35 donde:

(θ, ϕ, ρ) son coordenadas esféricas en el sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z) tal como se muestra en la figura 11, siendo θ el ángulo azimut y ϕ el ángulo de inclinación desde el eje z y ρ un radio a lo largo del ángulo azimut θ y ángulo de inclinación ϕ desde el lugar focal del vórtice,

40 σ y ψ son los análogos de ϕ y θ respectivamente para la propagación del vórtice en el espacio recíproco,

$$Y_n^m(\varphi, \theta) = \sqrt{\frac{(2n+1)(n-m)!}{4\pi (n+m)!}} P_n^m(\cos \varphi) e^{im\theta}$$

es el armónico esférico de grado n y orden m ,

45 y j_n es la función de Bessel esférica de orden n y

P_n^m
es el polinomio de Legendre asociado.

Una dirección "radial" es perpendicular al eje de espiral.

Un plano "radial" comprende tanto el eje de espiral como una dirección radial.

Un plano "transversal" es perpendicular al eje de espiral.

5 Una parte "radialmente interna" es más cercana al eje de espiral que una parte "radialmente externa" a lo largo de una dirección radial.

Una "bobina" de una espiral es una parte de una espiral que se extiende angularmente alrededor del eje de espiral de un ángulo de al menos 360°.

El "grosor" de una parte se mide a lo largo de una dirección paralela al eje de espiral.

10 Entre una pluralidad de electrodos posiblemente previstos en ambas caras de un sustrato piezoeléctrico, cuando se observa proyectado a lo largo del eje de espiral una sección transversal del sustrato piezoeléctrico, un segundo electrodo "adyacente" a un primer electrodo es el electrodo cuya distancia radial desde el primer electrodo es la menor. Lo mismo sucede con una bobina de una espiral. Según esta definición, un primer electrodo previsto en una cara del sustrato piezoeléctrico puede ser adyacente a un segundo electrodo previsto en la cara opuesta de la parte piezoeléctrica.

15 La invención puede entenderse mejor a partir de una lectura de la siguiente descripción detallada, con referencia a realizaciones a modo de ejemplo y no limitativas de la misma, y mediante el examen del dibujo adjunto en el que:

la figura 1 ilustra, a partir de una vista frontal a lo largo del eje de espiral, de una porción de un primer ejemplo de un dispositivo de acuerdo con la invención;

la figura 2 es una vista en sección transversal del dispositivo electroacústico ilustrado en la figura 1;

20 la figura 3 ilustra algunas otras características de las pistas de los electrodos del ejemplo ilustrado en la figura 1;

las figuras 4 y 5 muestran la evolución en el tiempo t de la amplitud A de señales esclavo y maestro suministradas a los electrodos del primer y segundo grupo del dispositivo ilustrado en la figura 1, según algunos ejemplos de implementación;

25 la figura 6 ilustra la evolución de la etapa radial entre pistas consecutivas de electrodos del primer y segundo grupo, dependiendo de la distancia radial r_d al eje de espiral, según un segundo ejemplo de dispositivo de la invención;

la figura 7 es una vista en sección transversal del segundo ejemplo de dispositivos electroacústico;

la figura 8 es una vista frontal de otro ejemplo de dispositivo;

la figura 9 es una vista en sección transversal en un plano que contiene el eje de espiral del dispositivo ilustrado en la figura 8;

30 figura 10 es una vista frontal de otro ejemplo del dispositivo;

figura 11 ilustra la definición de puntos de referencia para expresar ecuaciones (i) a (x), y

figura 12 ilustra un método implementado para definir la forma específica de un electrodo caliente para generar una onda ultrasónica focalizada según la segunda realización específica de la invención.

35 En el dibujo, las proporciones y tamaños respectivos de los elementos diferentes no siempre se han respetado para una mayor claridad.

La figura 1 ilustra un dispositivo electroacústico 5 de acuerdo con la invención.

El dispositivo comprende un sustrato 10 y primer 15 y segundo 20 grupos de electrodos dispuestos en una cara del sustrato.

40 El sustrato comprende una parte 25 hecha de un material piezoeléctrico y una capa dieléctrica 30 hecha de sílice que entra en contacto y solapa la parte. Está formada como una placa paralela a un plano definido por las direcciones X e Y. El sustrato, por ejemplo, tiene un grosor e_s igual a 120 μm , y presenta una cara superior 35 y una cara inferior 40. Está hecho por ejemplo, de LiBNO_3 cortado en Y a 35°. Los dos grupos de electrodos están previstos en la cara superior del sustrato. En una variante, pueden estar dispuestos en caras opuestas del sustrato.

45 El primer grupo de electrodos y el sustrato define un primer transductor de onda 45 y el segundo grupo de electrodos y el sustrato definen un segundo transductor de onda 50.

Cada electrodo 60, 65, 70, 75 del primer y segundo grupo comprende muchas pistas 80_{a-f}, 85_{a-f}, 90_{a-d}, 95_{a-d}. Cada pista gira en espiral alrededor de un mismo eje de espiral Z que es normal a la placa.

50 Las pistas 90, 95 de los electrodos del primer grupo giran en espiral alrededor de un mismo eje de espiral Z a lo largo de una primera dirección de devanado, tal como se indica mediante la flecha curvada W_1 , y las pistas 80, 85 de los electrodos 60,65 del segundo grupo giran en espiral alrededor de dicho eje de espiral a lo largo de una segunda dirección de devanado, tal como se indica mediante la flecha curvada W_2 , que es opuesta a la primera dirección de

devanado Wi. Las pistas 90, 95 de los electrodos del primer grupo giran en espiral en una dirección en sentido contrario a las agujas del reloj mientras que las pistas 80, 85 de los electrodos del segundo grupo giran en espiral en una dirección en el sentido de las agujas del reloj. El eje de espiral Z es perpendicular a la cara superior de sustrato que soporta los primeros y segundos grupos de electrodos.

- 5 Las pistas 90,95 de los electrodos 70,75 del primer grupo están previstas radialmente en el interior de las pistas 80, 85 de los electrodos 60, 65 del segundo grupo.

Tal como se ilustra en la figura 3, cada pista tiene un ancho w_d , medido a lo largo de una dirección radial r_d , que es menor, por ejemplo al menos 10 veces menor, incluso al menos 100 veces menor que la longitud de la pista, estando medida la longitud a lo largo de la primera, respectivamente segunda dirección de devanado.

- 10 El primer grupo consiste en primeros 70 y segundos 75 electrodos, comprendiendo cada uno una escobilla de contacto 100, 105 y cuatro pistas 90_{a-d}, 95_{a-d}, y el segundo grupo consiste en dos electrodos 60, 65, comprendiendo cada uno dos escobillas de contacto 110, 115 y seis pistas 80_{a-f}, 85_{a-f}. Dicho número de pistas de ningún modo es limitativo y puede adaptarse dependiendo de la forma deseada del frente de onda que va a generarse.

- 15 Cada pista de cada electrodo del primer y segundo grupo se extiende alrededor del eje de espiral con un ángulo mayor de 300°, desde la escobilla de contacto con la que está en contacto.

Las pistas del primer electrodo y las pistas del segundo electrodo del primer grupo, respectivamente el segundo grupo, están dispuestas en una manera alternante, radialmente desde el eje de espiral.

- 20 Las pistas de los electrodos del primer grupo están a una distancia de las escobillas de contacto de los electrodos del segundo grupo y viceversa. Por lo demás, las pistas del primer electrodo del primer grupo están a una distancia de las pistas del segundo electrodo del primer grupo, y las pistas del primer electrodo del segundo grupo están a una distancia de las pistas del segundo electrodo del segundo grupo.

Adicionalmente, cada una de las cuatro escobillas de contacto está conectada a un aparato de suministro de energía 120 que pretende proporcionar a cada electrodo una señal eléctrica específica, tal como se explicará con más detalle más adelante.

- 25 En el ejemplo de la figura 1, la etapa radial Δr entre dos pistas consecutivas de cada uno de los electrodos del primer y segundo grupo es constante, y el dispositivo está adaptado para generar una SSAW. Tal como se observa en la figura 3, la etapa radial está definida por la distancia radial entre el borde radialmente interno de una bobina o de una pista y el borde radialmente interno de la bobina consecutiva de pista.

- 30 Además, como se observa en la figura 2, el dispositivo comprende a soporte 130 que está acoplado acústicamente al sustrato. Los electrodos están dispuestos entre el soporte y el sustrato. El soporte está acoplado acústicamente a la parte piezoeléctrica mediante una capa de un medio de acoplamiento 135, por ejemplo, adhesivo óptico NOA61 de Portland Product.

- 35 El dispositivo además comprende una base 132 dispuesta sobre la cara superior del soporte. La base es una placa hecha de vidrio borosilicatado de un grosor e_a de 150 μm . Puede moverse en al menos dos direcciones transversales al eje de espiral. Un líquido de interfaz 133 de grosor inferior a 10 μm está previsto entre la base y el soporte, tal como para acoplar acústicamente la base con el soporte y de tal manera que la base puede desplazarse relativamente al soporte sin dañar el soporte.

- 40 Un absorbedor de sonido 140 hecho por ejemplo, de PDMS está previsto sobre la base, el cual define una cavidad 145 que contiene un medio fluido 150, preferiblemente un medio líquido. Un objeto 155 está incrustado en el medio fluido.

Cuando los electrodos tanto del primer como del segundo grupo se suministran con electricidad, se genera una SSAW mediante el dispositivo y se propaga en la superficie del sustrato. Se transmite en la masa del soporte, pero la SAW en remolino degenera en la interfaz entre el sustrato y el soporte en un vórtice acústico o en un vórtice acústico degenerado que se propaga en la masa del soporte y en el medio líquido, tal como se ilustra mediante la flecha Vx.

- 45 La presión de radiación asociada al vórtice se concentra en un volumen representado por el cuadrado a rayas 168, que está situado perpendicularmente al sustrato y sustancialmente alineado con el eje de espiral Z.

El objeto 155, cuando está situado en la proximidad de dicho volumen representado por el cuadrado a rayas 168, también llamado "trampa 3D", si tiene un tamaño comparable a la longitud de onda del SAW en remolino, está sometido a fuerzas de atracción que intentan atrapar dicho objeto en la trampa 3D.

- 50 En el desplazamiento de la base con respecto al soporte, el objeto puede llevarse cerca del eje de espiral. Puede manipularse después y principalmente estar encerrado a lo largo del eje de espiral.

En una variante, las pistas de los electrodos pueden estar dispuestas en una cara del sustrato que es opuesta a la cara con respecto al soporte. La onda en remolino puede ser una onda de Lamb o una onda de masa.

- 55 Para controlar la rotación del objeto, y principalmente para impedir cualquier rotación del objeto, el dispositivo ilustrado en las figuras 1 y 2 se suministra eléctricamente mediante el aparato de suministro de energía 120.

El suministro de energía puede realizarse de las siguientes maneras.

El aparato de suministro de energía puede entregar uno de los electrodos del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, con una señal eléctrica maestro y el otro electrodo del primer grupo, respectivamente del segundo grupo, con una señal eléctrica esclavo que está desfasada con la señal eléctrica maestro.

5 Preferiblemente, las amplitudes de la señal eléctrica maestro y de la señal eléctrica esclavo suministradas al primer grupo de electrodos, respectivamente al segundo grupo de electrodos, son iguales. Preferiblemente, las frecuencias de la señal eléctrica maestro y de la señal eléctrica esclavo suministradas al primer grupo de electrodos, respectivamente al segundo grupo de electrodos, son iguales.

10 En una primera implementación del dispositivo, tal como se ilustra en la figura 4, la amplitud A de la señal eléctrica maestro 160, respectivamente de la señal eléctrica esclavo 165, suministradas al primer grupo de electrodos es diferente de la amplitud A de la señal eléctrica maestro 170, respectivamente de la señal eléctrica esclavo 175, suministradas al segundo grupo de electrodos.

15 En un segundo ejemplo de implementación del dispositivo, la frecuencia de la señal eléctrica maestro, respectivamente de la señal eléctrica esclavo, suministrada al primer grupo de electrodos es diferente de la frecuencia de la señal eléctrica maestro, respectivamente de la señal eléctrica esclavo, suministrada al segundo grupo de electrodos.

20 En un tercer ejemplo de implementación, la frecuencia de la señal eléctrica maestro, respectivamente de la señal eléctrica esclavo, suministrada al primer grupo de electrodos y la frecuencia de la señal eléctrica maestro, respectivamente de la señal eléctrica esclavo, suministrada al segundo grupo de electrodos oscilan ambas entre la frecuencia de resonancia del primer transductor de onda 45 y la frecuencia de resonancia del segundo transductor de onda 50. Al sintonizar apropiadamente dichas frecuencias de señal, el usuario del dispositivo puede modular el efecto relativo tanto en el primer como el segundo transductor de onda.

Preferiblemente, las frecuencias de señales eléctricas maestro y esclavo suministradas al primer y segundo grupo de electrodos son iguales. Preferiblemente, las amplitudes de señales eléctricas maestro y esclavo suministradas al primer y segundo grupo de electrodos son iguales.

25 Un experto en la técnica sabe cómo determinar la frecuencia de resonancia de un transductor de onda, ya sea mediante cálculo o mediante otras técnicas de medición apropiadas.

30 Puede conseguirse tener transductores de onda que presentan ambas frecuencias de resonancia diferentes principalmente mediante la etapa radial entre dos pistas consecutivas de uno de los electrodos del primer grupo, o la etapa radial entre dos bobinas consecutivas de la pista de uno de los electrodos del primer grupo, siendo diferente de la etapa radial entre dos pistas consecutivas de uno de los electrodos del segundo grupo, o la etapa radial entre dos bobinas consecutivas de la pista de uno de los electrodos del segundo grupo.

35 En un cuarto ejemplo de implementación, las señales maestro y esclavo suministradas al primer, respectivamente segundo grupo de electrodos pueden estar prevista como paquete de ondas. Principalmente, como se ilustra en la figura 5, cuando los paquetes de onda maestro Pm1 y esclavo Ps1 se suministran a los electrodos correspondientes del primer grupo, los electrodos del segundo grupo están apagados, no suministrándose ninguna señal eléctrica a ellos. El suministro de la señal eléctrica puede alternarse entre suministro del primer grupo de electrodos con paquetes de onda, estando apagados los electrodos del segundo grupo, seguidos después por el suministro del segundo grupo con paquetes de onda maestro Pm2 y esclavo Ps2, y estando apagados los electrodos del primer grupo, etcétera. Principalmente, pueden suministrarse paquetes de onda al segundo grupo de electrodos tan pronto como el suministro de paquetes de onda al primer grupo de electrodos al primer paquete haya finalizado, y viceversa, como se ilustra en la figura 5.

40 En particular, la duración Δt_1 , respectivamente Δt_2 entre el suministro de dos paquetes de onda consecutivos al primer respectivamente segundo grupo de electrodos, puede ser inferior al tiempo de reacción hidrodinámico del objeto. El tiempo de reacción hidrodinámico puede determinarse fácilmente por un trabajador experto a partir del tamaño del objeto y la viscosidad del medio fluido que incrusta el objeto.

45 Principalmente, la suma $\Delta t_1 + \Delta t_2$ de la duración del paquete de onda suministrada al primer grupo de electrodos y de la duración del paquete de onda suministrado al segundo grupo de electrodos es inferior al tiempo de reacción hidrodinámica del objeto.

50 El ejemplo ilustrado en la figura 1 se caracteriza principalmente por pistas consecutivas de los electrodos del primer respectivamente segundo grupo separadas por una etapa radial constante. En una variante ilustrada en las figuras 6 y 7, las pistas de los electrodos del primer respectivamente segundo grupo están dispuestas sobre el sustrato de tal manera que la etapa radial Δr_1 , respectivamente Δr_2 entre dos pistas sucesivas disminuye radialmente desde el eje de espiral, a lo largo de una dirección radial r_d .

55 Por lo demás, y principalmente para suministrar el dispositivo según el tercer ejemplo de implementación descrito aquí anteriormente, la disminución radial α_1 , α_2 de la etapa radial puede ser diferente entre los dos grupos de electrodos. Las pistas del primer y segundo grupo de electrodos dibujan en cada caso una línea a lo largo de una coordenada polar $R(\theta)$, obteniéndose mediante la resolución de la ecuación (i) descrita en este documento más arriba.

En el ejemplo de la figura 7, los primeros y segundos grupos comprenden en cada caso dos electrodos calientes 60, 65, 70, 75 previstos en la cara del dispositivo que mira hacia el soporte. Los electrodos calientes de cada grupo se suministran de señales eléctricas desfasadas.

5 Por lo demás, el dispositivo comprende un electrodo de puesta a tierra 190, dispuesto en la cara inferior 40 del sustrato. El electrodo de puesta a tierra está conectado a una toma de tierra del aparato de suministro de energía. Solapa tanto el primer como el segundo electrodo de puesta a tierra.

Cuando se alimentan los electrodos calientes (no representados en aras de la claridad), el primer y el segundo transductor de onda están deformados por las ondas ultrasónicas volumétricas que se propagan sustancialmente a lo largo de una dirección paralela al eje de espiral, en el sustrato piezoeléctrico.

10 Los transductores de onda transmiten las ondas ultrasónicas volumétrica a la masa del soporte en donde definen un vórtice ultrasónico focalizado Fv cuyo lugar focal (siendo la intensidad acústica la más baja) se sitúa en la cavidad 145. En el desplazamiento de base con respecto al soporte, el objeto puede llevarse cerca del lugar focal. Puede manipularse después y principalmente estar encerrado a lo largo del eje de espiral.

15 El dispositivo ilustrado en la figura 8 se diferencia del dispositivo ilustrado en la figura 1 por el hecho de que las pistas de los electrodos del primer y segundo grupo están interdigitados entre sí.

Principalmente, un grupo de dos pistas de diferente polaridad del segundo grupo de electrodos están dispuestos radialmente entre dos diferentes grupos de pistas de diferente polaridad del primer grupo de electrodos y viceversa. En esta realización, la intensidad de anillos de los dos vórtices contrarrotativos sintetizada por el primer y segundo grupo de electrodos puede ser más similar, lo cual es deseable cuando se equilibran las señales eléctricas maestro para controlar la velocidad de rotación del objeto.

La disposición sobre el sustrato de las escobillas de contacto 100, 105 y pistas 90, 95 de los electrodos del primer grupo impide cualquier extensión continua de las escobillas de contacto 110, 115 de los electrodos del segundo grupo a lo largo de una dirección sustancialmente radial tal como para conectar las pistas correspondientes.

25 Como puede observarse en la figura 9, la escobilla de contacto 110 de uno de los electrodos del segundo grupo está previsto en una cara de la parte piezoeléctrica 25. Dos porciones 190_{a-b} de la escobilla de contacto están previstas en la parte superior de la capa dieléctrica 30 de cada lado de una pista 95 del electrodo 75 del primer grupo. Las dos porciones 190_{a-b} están conectadas con pistas 80 respectivas del electrodo 60 del segundo grupo. Las dos porciones 190_{a-b} están conectadas una con la otra mediante una porción enterrada 200 que sigue una pista definida por un túnel 205 formado en la capa dieléctrica. La porción enterrada está prevista a una distancia de una pista del primer electrodo, mediante una porción de la capa dieléctrica.

La fabricación de la porción enterrada de la capa dieléctrica puede realizarse mediante grabado selectivo de la capa dieléctrica de sílice seguido de una deposición de una aleación o un metal tal como para formar las porciones respectivas del de la escobilla de contacto.

35 La figura 10 ilustra otro ejemplo del dispositivo 5 de acuerdo con la invención. Comprende primeros y segundos grupos de electrodos.

El primer 15 grupo de electrodos está dispuesto radialmente en el interior al segundo grupo 20 de electrodos.

40 El primer grupo de electrodos comprende dos electrodos 90, 95 consistiendo cada uno en una única pista que comprende cinco bobinas. El segundo grupo de electrodos comprende dos electrodos 80, 85 comprendiendo cada uno una única pista que comprende siete bobinas. Cada electrodo del segundo grupo de electrodos comprende una única pista y una escobilla de contacto 110, 115, estando conectada la pista a la escobilla de contacto por uno de sus extremos 205, 210. Además, la pista de cada electrodo del segundo grupo está conectada mediante su extremo opuesto 215, 220 a la pista de uno de los electrodos del primer grupo.

45 Así, la pista de uno de los electrodos del primer grupo y la pista de uno de los electrodos del segundo grupo están conectadas conjuntamente a la escobilla de contacto del electrodo del segundo grupo y la pista del otro electrodo del primer grupo y la pista del otro electrodo del segundo grupo están conectadas conjuntamente a la escobilla de contacto del electrodo del primer grupo.

Así, cuando se suministra una corriente a un electrodo del segundo grupo a través de la escobilla de contacto correspondiente, se suministra también al correspondiente electrodo del primer grupo.

50 Adicionalmente, el ancho w_{d1} de la pista de cada electrodo del primer grupo es diferente del ancho w_{d2} de la pista del electrodo correspondiente del segundo grupo al que el electrodo del primer grupo está conectado. El proporcionar pistas de electrodos de primeros y segundos grupos con diferentes anchos da como resultado primeros y segundos transductores de onda que presentan diferentes frecuencias de resonancia.

55 Al seleccionar una frecuencia apropiada de las señales eléctricas esclavo y maestro suministradas a los primeros y segundos grupos de electrodos, la rotación del objeto que se somete a la onda acústica generada por el dispositivo puede controlarse, y principalmente impedirse.

La figura 11 ilustra la ubicación de un sistema de coordenadas cartesianas para definir un vórtice esférico tal como por ejemplo, se define mediante la ecuación (x), cuyo lugar focal está referido mediante el punto 2 e intercepta el

plano, referido por $n=0$, en el que están previstos los electrodos, por ejemplo, siendo la cara superior 35 de la parte piezoeléctrica.

5 La figura 12 pretende ilustrar la resolución de ecuaciones (i) a (vii), en el caso de que el vórtice Fv se propaga en el soporte desde la pista caliente hacia el lugar focal 2 a lo largo de una distancia $z^{(N)}$ a lo largo del eje Z. El vórtice Fv comprende líneas 3D a lo largo de las cuales la fase es constante, llamadas líneas equifásicas. Por ejemplo, a lo largo de una línea equifásica 99, la fase del vórtice es la misma en puntos 250a a 250c. La proyección, a lo largo de la línea 260 que une el lugar focal 2 y puntos 250a a 250c, de la línea equifásica es una línea de plano que se fija mediante parámetros $R(\theta)$ expresados desde el centro C sobre la superficie donde las pistas están previstas. En otras palabras, la intersección de la fase del vórtice ultrasónico focalizado sobre el plano donde la pista caliente debe estar prevista da como resultado el dibujo de la pista caliente. Esto se expresa matemáticamente por ejemplo mediante el conjunto de ecuaciones (i) a (viii). Mediante la formación de al menos una pista caliente que dibuja dicha línea $R(\theta)$, puede generarse un vórtice ultrasónico que focaliza en un punto focal 2.

10 Tal como aparece a lo largo de la presente descripción, el dispositivo de acuerdo con la invención mejora la eficacia de manipulación de un objeto incrustado en un medio fluido, mediante el control de su rotación cuando el objeto está atrapado. Mejora además la selectividad cuando se manipula un objeto específico entre una población de objetos.

15 Por supuesto, la invención no está limitada a las realizaciones específicas detalladas en la presente descripción.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo electroacústico (5) para generar al menos una onda acústica (F_v, V_x), comprendiendo el dispositivo un sustrato piezoeléctrico (10) y primeros (15) y segundos (20) grupos de electrodos (60,65,70,75) dispuestos sobre el sustrato, comprendiendo cada electrodo del primer y segundo grupo una pista ($80_{a-f}, 85_{a-f}, 90_{a-d}, 95_{a-d}$),
 - 5 girando en espiral las pistas ($90_{a-d}, 95_{a-d}$) de los electrodos del primer grupo alrededor de un mismo eje de espiral (Z) a lo largo de una primera dirección de devanado (W_1), y
 - girando en espiral las pistas ($80_{a-f}, 85_{a-f}$) de los electrodos del segundo grupo alrededor de dicho eje de espiral a lo largo de una segunda dirección de devanado (W_2) opuesta a la primera dirección de devanado.
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo cada electrodo del primer grupo una escobilla de contacto (100, 105), dispuesta sobre el sustrato que está conectado a la pista correspondiente del electrodo del primer grupo.
3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2, pudiendo estar conectada además cada escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo a la pista de un electrodo correspondiente del segundo grupo.
4. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, comprendiendo cada electrodo del segundo grupo una escobilla de contacto (110, 115) dispuesta sobre el sustrato, que está conectada con la pista correspondiente del electrodo del segundo grupo, estando dispuestas preferiblemente las pistas de los electrodos del primer grupo remotamente con respecto a las escobillas de contacto de los electrodos del segundo grupo.
5. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 2 y 4, estando en contacto la pista de cada electrodo del segundo grupo por uno de sus extremos con la escobilla de contacto del electrodo correspondiente del segundo grupo y por uno de sus extremos opuestos (205, 210) con la pista del electrodo correspondiente del primer grupo.
6. Dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, estando la pista de uno de los electrodos del segundo grupo parcialmente superpuesta sobre la escobilla de contacto de uno de los electrodos del primer grupo y/o estando la pista de uno de los electrodos del primer grupo parcialmente superpuesta sobre la escobilla de contacto de uno de los electrodos del segundo grupo.
7. Sistema que comprende un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores y aparato de suministro de energía, estando conectado el dispositivo al aparato de suministro de energía que está configurado para alimentar eléctricamente los electrodos del primer y segundo grupo respectivamente con una señal eléctrica específica para generar la onda acústica que es una onda acústica superficial en remolino que se propaga en el sustrato.
8. Sistema según la reivindicación 7, comprendiendo el dispositivo un soporte (130) acoplado acústicamente con el sustrato, estando configurado el dispositivo además para transmitir la onda acústica superficial en remolino al soporte y para propagarse en la misma como un vórtice acústico (V_x) opcionalmente degenerado.
9. Sistema que comprende el dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 y un aparato de suministro de energía, estando conectado el dispositivo al aparato de suministro de energía que está configurado para alimentar eléctricamente a los electrodos del primer y segundo grupo respectivamente con una señal eléctrica específica para generar la onda acústica,
 - 35 siendo la onda acústica generada un vórtice acústico focalizado (F_v) que se propaga en el sustrato, o comprendiendo el dispositivo un soporte (130) acoplado acústicamente con el sustrato, siendo la onda acústica un vórtice acústico focalizado (F_v) que se propaga en el soporte, o
 - 40 siendo la onda acústica un vórtice acústico focalizado que se propaga (F_v) en un medio fluido (150), principalmente un líquido, cuando el medio fluido (150) está acoplado acústicamente con el dispositivo.
10. Proceso para manipular un objeto (155) incrustado en un medio fluido, principalmente líquido (150), comprendiendo el proceso las siguientes etapas de:
 - 45 - generar al menos un vórtice acústico (V_x) opcionalmente degenerado con el sistema según la reivindicación 8 o un vórtice acústico focalizado (F_v) con el sistema según la reivindicación 9 en donde el dispositivo comprende un soporte acoplado acústicamente con el sustrato,
 - propagar dicho vórtice acústico opcionalmente degenerado, o dicho vórtice acústico focalizado en la masa del soporte y además en el medio fluido (150) tal como para crear una presión de radiación a la que el objeto (155) está sometido, y
 - 50 - manipular el objeto mediante el desplazamiento de los electrodos del primer y segundo grupo con respecto al medio fluido.
11. Proceso según la reivindicación anterior, comprendiendo la etapa de manipular el objeto:
 - controlar la rotación del objeto alrededor de sí mismo, principalmente impidiendo la rotación del objeto alrededor de sí mismo, y/o

- controlar la traslación del objeto, principalmente impidiendo la traslación del objeto, comprendiendo en particular la etapa de manipular el objeto la inmovilización del objeto.

12. Proceso que comprende las siguientes etapas de:

5 - generar al menos un vórtice acústico (Vx) opcionalmente degenerado con el sistema según la reivindicación 8 o un vórtice acústico focalizado (Fv) con un sistema según la reivindicación 9 en donde el dispositivo comprende un soporte acoplado acústicamente con el sustrato,

- propagar dicho vórtice acústico opcionalmente degenerado, o dicho vórtice acústico focalizado en la masa del soporte y además en un medio fluido (150), principalmente líquido tal como para generar un flujo vortical del medio fluido.

10 13. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, generándose el vórtice acústico opcionalmente degenerado o el vórtice acústico focalizado respectivamente mediante suministro eléctrico a:

- al menos uno de los electrodos del primer grupo con una primera señal maestro (160) y al menos otro de los electrodos del primer grupo con una primera señal esclavo (165), y

- al menos uno de los electrodos del segundo grupo de electrodos con una segunda señal maestro (170) y al menos otro de los electrodos del segundo grupo con una segunda señal esclavo (175).

15 14. Proceso según la reivindicación 13, siendo diferentes la amplitud (A) de la primera señal maestro y/o de la primera señal esclavo, y la amplitud de la segunda señal maestro y/o de la segunda señal esclavo respectivamente.

20 15. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, definiendo el primer grupo de electrodos y el segundo grupo de electrodos conjuntamente con el sustrato el primer (45) y segundo (50) transductor de onda con diferentes frecuencias de resonancia, comprendiendo la generación del vórtice acústico opcionalmente degenerado o del vórtice acústico focalizado el suministro de al menos un conjunto de señales eléctricas esclavo y maestro adaptadas para excitar el primer y segundo transductor de onda con una frecuencia que oscila entre las frecuencias de resonancia del primer y segundo transductor de onda.

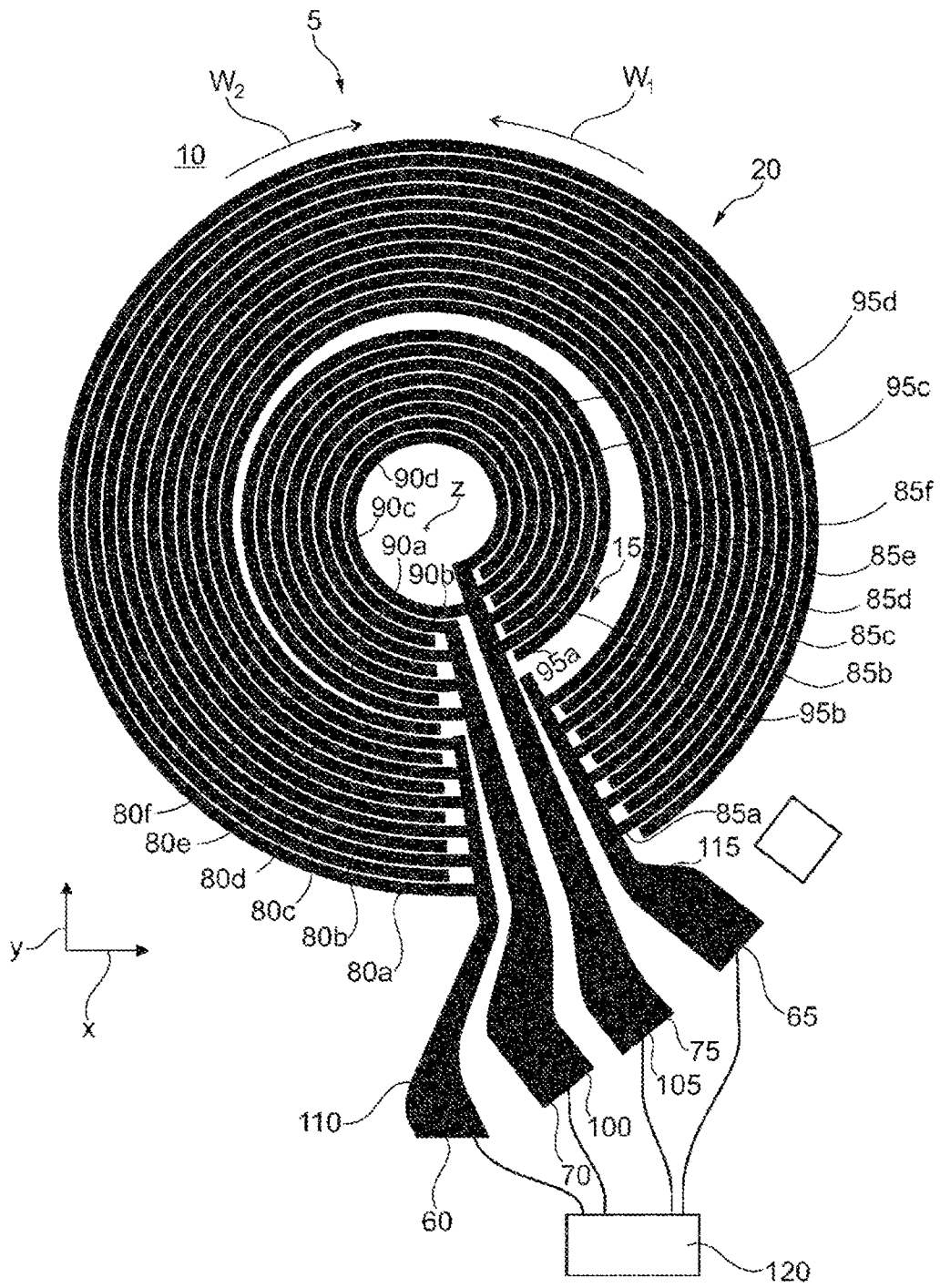


Fig. 1

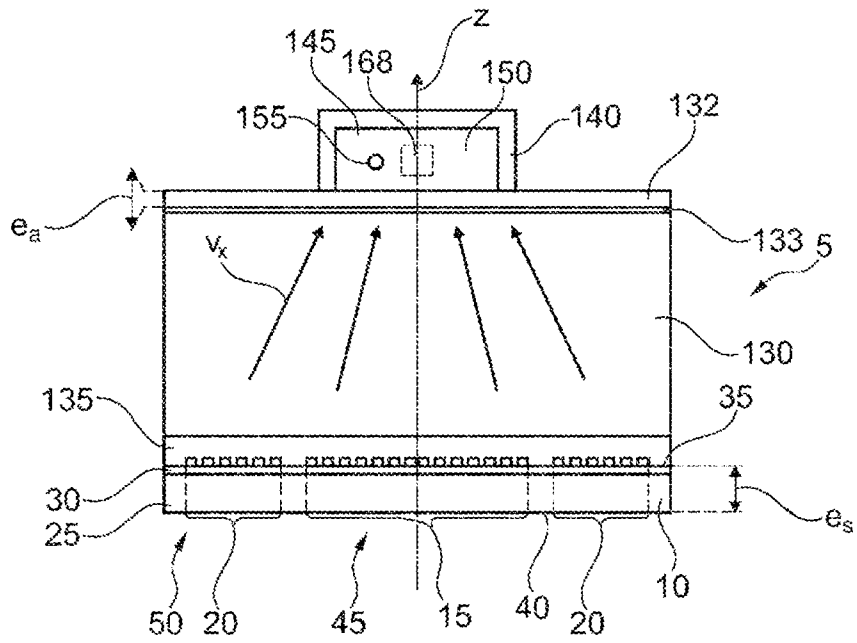


Fig. 2

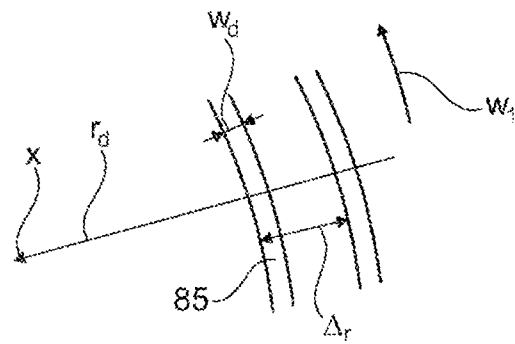


Fig. 3

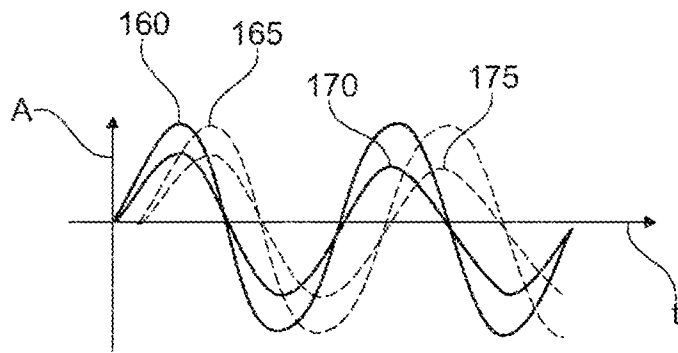


Fig. 4

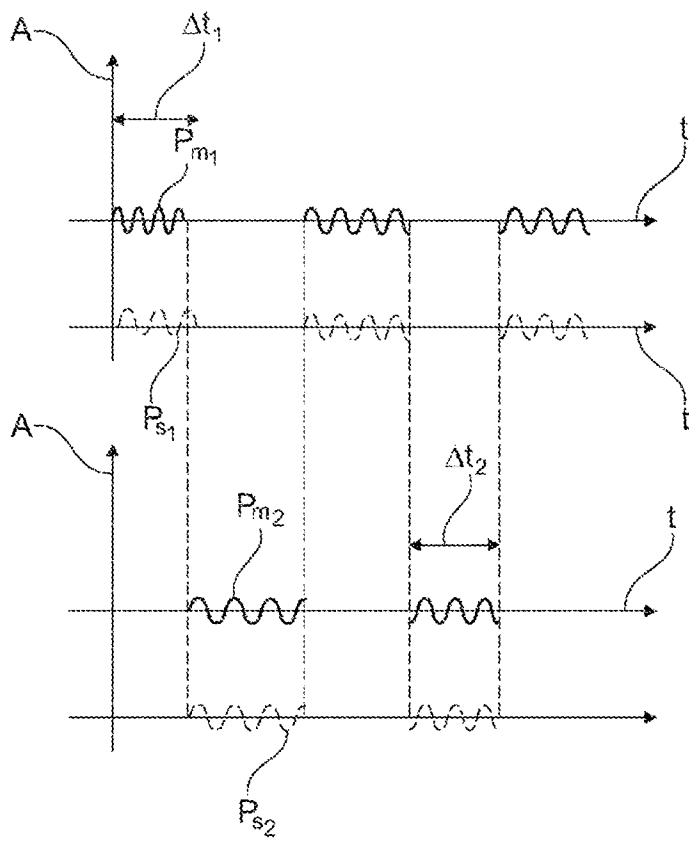
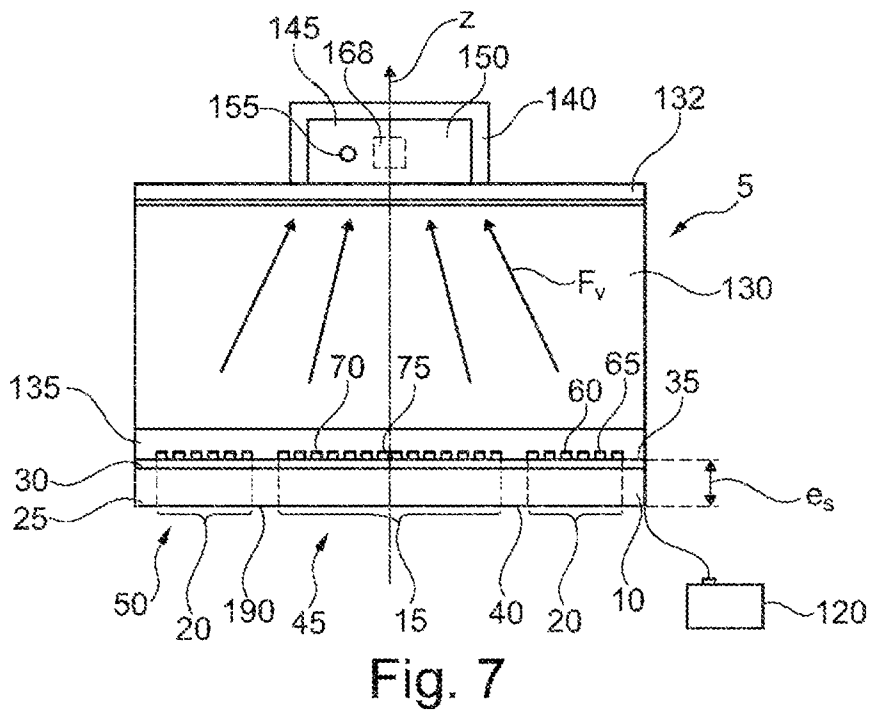
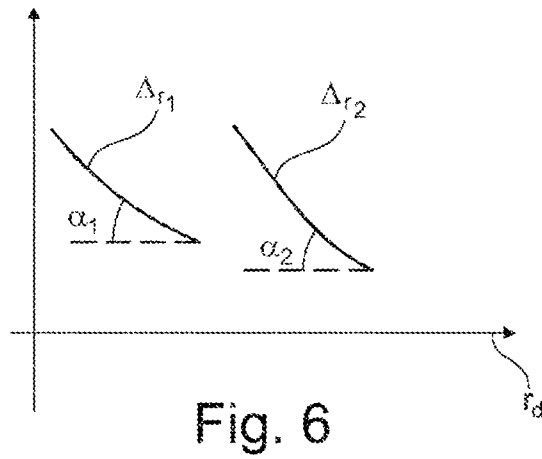


Fig. 5



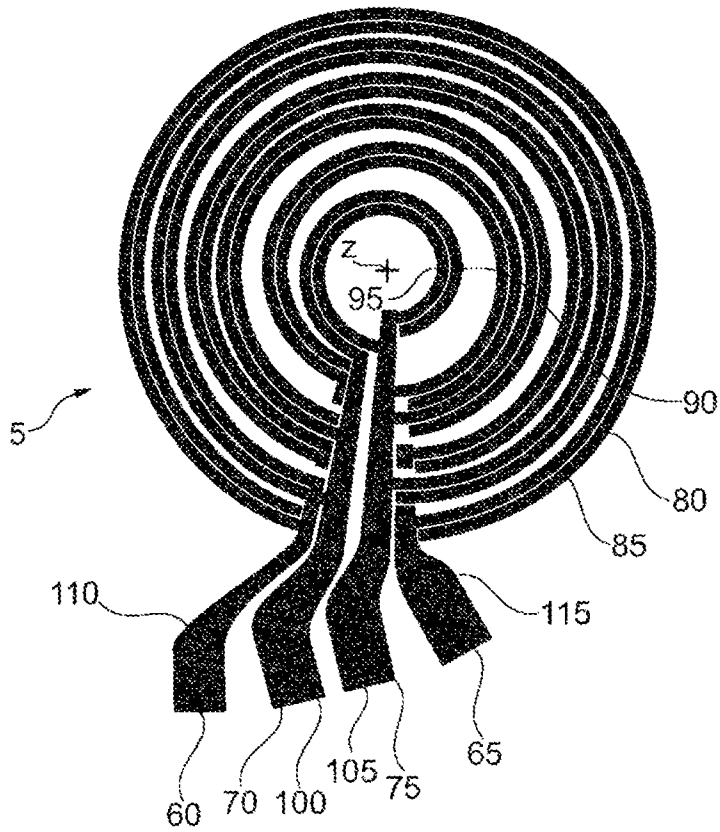


Fig. 8

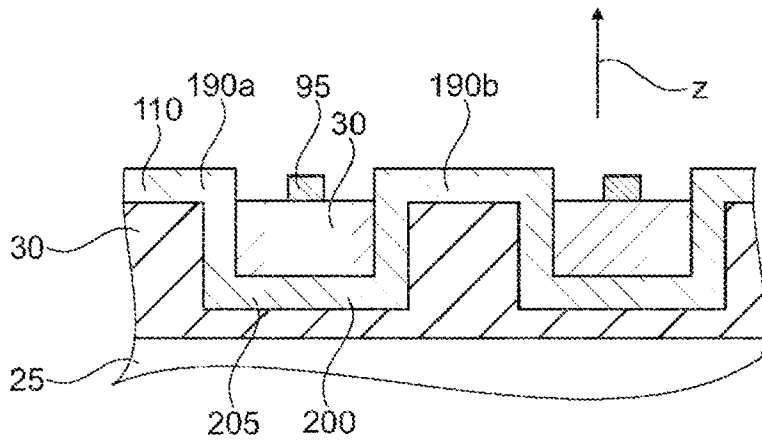


Fig. 9

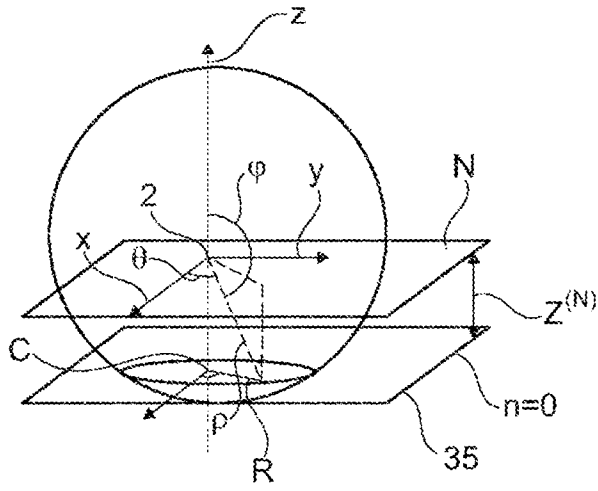


Fig. 11

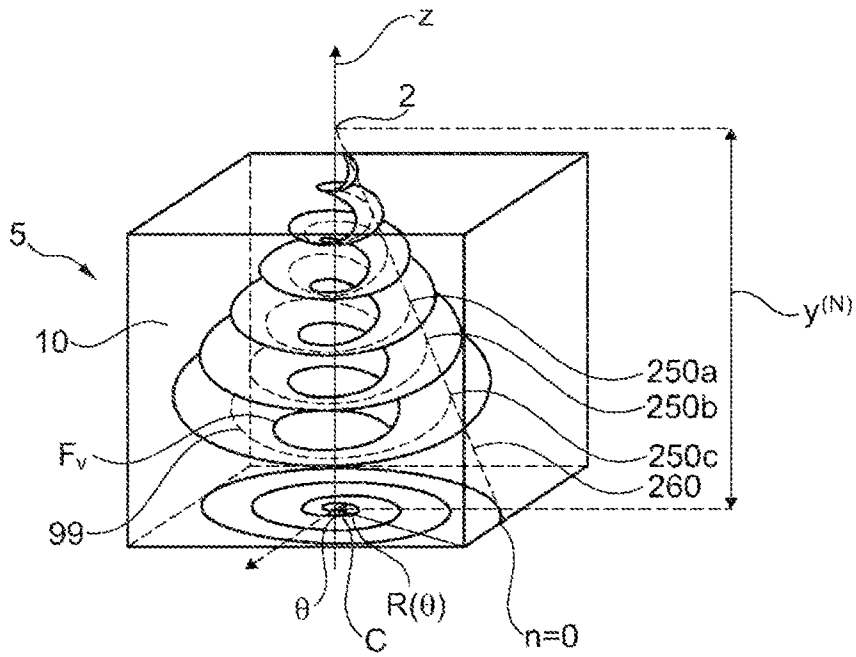


Fig. 12