

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 447**

51 Int. Cl.:

**H03H 9/02** (2006.01)

**H01L 41/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.08.2012 PCT/US2012/051626**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.02.2013 WO13028638**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2012 E 12753636 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019 EP 2745399**

54 Título: **Resonador piezoeléctrico compuesto de vibración lateral**

30 Prioridad:

**19.08.2011 US 201161525607 P**  
**16.08.2012 US 201213587618**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.02.2020**

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)**  
**5775 Morehouse Drive**  
**San Diego, CA 92121, US**

72 Inventor/es:

**ZUO, CHENGJIE;**  
**YUN, CHANGHAN y**  
**KIM, JONGHAE**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

ES 2 744 447 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**

Resonador piezoeléctrico compuesto de vibración lateral

5 **CAMPO TÉCNICO**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas de comunicación inalámbrica. Más específicamente, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para un resonador piezoeléctrico compuesto de vibración lateral.

10

**ANTECEDENTES**

[0002] Los dispositivos electrónicos (teléfonos celulares, módems inalámbricos, ordenadores, reproductores digitales de música, unidades del Sistema de posicionamiento global, Asistentes digitales personales, dispositivos de juego, etc.) se han convertido en parte de la vida cotidiana. Ahora se colocan pequeños dispositivos informáticos en todo, desde automóviles hasta cerraduras de viviendas. La complejidad de los dispositivos electrónicos ha aumentado dramáticamente en los últimos años. Por ejemplo, muchos dispositivos electrónicos tienen uno o más procesadores que ayudan a controlar el dispositivo, así como varios circuitos digitales para admitir el procesador y otras partes del dispositivo.

15

20

[0003] Se pueden implementar varios componentes de circuitos electrónicos a nivel de sistemas electromecánicos, como los resonadores. Algunas estructuras de resonador convencionales proporcionan una conversión de energía eléctrica y mecánica menor a la deseable. Estos atributos menores a lo deseable pueden hacer que dichos resonadores convencionales no sean aptos para el uso en circuitos, tales como los filtros de banda ancha. Por lo tanto, existe la necesidad de resonadores a nivel de sistemas electromecánicos con conversión de energía eléctrica y mecánica mejorada. El documento WO 2010/144728 A1 divulga un dispositivo de resonador piezoeléctrico que comprende cinco capas. Una primera capa y una quinta capa incluyen uno o más electrodos metálicos. Una segunda capa y una cuarta capa comprenden un material piezoeléctrico. Una tercera capa comprende una capa de metal. En una primera área de la primera capa, los electrodos de metal de la primera capa incluyen una estructura periódica de la primera capa a lo largo de una dimensión que comprende uno de los uno o más electrodos de metal de la primera capa y un espacio sin electrodos de metal de la primera capa. En una segunda área de la quinta capa, los electrodos de metal de la quinta capa incluyen una estructura periódica de la quinta capa a lo largo de una dimensión que comprende uno de los uno o más electrodos de metal de la quinta capa y un espacio sin electrodos de metal de la quinta capa.

25

30

35

[0004] El documento US 2008/252178 divulga un resonador de modo de contorno que comprende un primer sustrato piezoeléctrico y un segundo sustrato piezoeléctrico unidos entre sí, un primer electrodo provisto en la parte superior del primer sustrato piezoeléctrico, un segundo electrodo provisto en la parte inferior del segundo sustrato piezoeléctrico, y un electrodo común provisto en una interfaz entre el primer y el segundo sustratos piezoeléctricos. El primer y el segundo sustratos piezoeléctricos tienen diferentes orientaciones cristalográficas.

40

[0005] El artículo "Parametric excitation of bulk acoustic wave composite resonators [Excitación paramétrica de resonadores compuestos de ondas acústicas de volumen]" por G. D. Mansfeld y otros, publicado en las Actas del Simposio de ultrasonidos de IEEE del 2000 celebrado del 22 al 25 de octubre de 2000, describe un resonador compuesto de ondas acústicas de volumen que comprende un apilamiento de dos capas de diferentes materiales piezoeléctricos y tres electrodos.

45

**SUMARIO**

[0006] De acuerdo con la presente invención, se proporciona un resonador, como se expone en la reivindicación 1. Los modos de realización de la invención se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

50

[0007] Se describe un resonador de acuerdo con la presente invención. El resonador incluye múltiples electrodos. El resonador también incluye un material piezoeléctrico compuesto que incluye al menos una capa de un primer material piezoeléctrico y al menos una capa de un segundo material piezoeléctrico. Al menos un electrodo está acoplado a una parte inferior del material piezoeléctrico compuesto. Al menos un electrodo está acoplado a una parte superior del material piezoeléctrico compuesto.

55

[0008] El material piezoeléctrico compuesto incluye una primera capa del primer material piezoeléctrico y una primera capa del segundo material piezoeléctrico.

60

[0009] La primera capa del primer material piezoeléctrico está dispuesta al lado de la primera capa del segundo material piezoeléctrico. Un primer electrodo se acopla a la parte superior tanto de la primera capa del primer material piezoeléctrico como de la primera capa del segundo material piezoeléctrico. Un segundo electrodo está acoplado a la parte inferior tanto de la primera capa del primer material piezoeléctrico como de la primera capa del segundo material piezoeléctrico.

65

5 **[0010]** El resonador puede ser un resonador compuesto de sistema microelectromecánico de vibración lateral. El primer material piezoeléctrico puede tener un primer factor de calidad y un primer acoplamiento electromecánico. El segundo material piezoeléctrico puede tener un segundo factor de calidad y un segundo acoplamiento electromecánico. El material piezoeléctrico compuesto puede tener un factor de calidad compuesto y un acoplamiento electromecánico compuesto. El factor de calidad compuesto y el acoplamiento electromecánico compuesto pueden depender de una proporción de volumen en el material piezoeléctrico compuesto entre el primer material piezoeléctrico y el segundo material piezoeléctrico.

10 **[0011]** En un resonador que no es materia de la presente invención, el factor de calidad compuesto y el acoplamiento electromecánico compuesto pueden depender, en cambio, de una proporción de espesor en el material piezoeléctrico compuesto entre un primer espesor de una primera capa del primer material piezoeléctrico y un segundo espesor de una primera capa del segundo material piezoeléctrico.

15 **[0012]** La primera capa del primer material piezoeléctrico puede apilarse sobre la primera capa del segundo material piezoeléctrico, pero dicho resonador no es materia de la presente invención. El material piezoeléctrico compuesto también puede incluir una segunda capa del primer material piezoeléctrico. La primera capa del segundo material piezoeléctrico puede apilarse sobre la segunda capa del primer material piezoeléctrico, pero dicho resonador no es materia de la presente invención. El material piezoeléctrico compuesto puede incluir además una segunda capa del segundo material piezoeléctrico. La segunda capa del primer material piezoeléctrico puede apilarse sobre la segunda capa del segundo material piezoeléctrico, pero dicho resonador no es materia de la presente invención.

20 **[0013]** La primera capa del segundo material piezoeléctrico puede estar intercalada entre la primera capa del primer material piezoeléctrico y la segunda capa del primer material piezoeléctrico. La segunda capa del primer material piezoeléctrico puede intercalarse entre la primera capa del segundo material piezoeléctrico y la segunda capa del segundo material piezoeléctrico.

25 **[0014]** El material piezoeléctrico compuesto puede traducir señales de entrada de uno o más electrodos de entrada a vibraciones mecánicas. Las vibraciones mecánicas pueden traducirse a una señal de salida de uno o más electrodos de salida. El primer material piezoeléctrico puede ser nitruro de aluminio y el segundo material piezoeléctrico puede ser óxido de zinc. En otra configuración, el primer material piezoeléctrico puede ser nitruro de aluminio y el segundo material piezoeléctrico puede ser titanato circonato de plomo. El material piezoeléctrico compuesto puede tener un factor de calidad compuesto y un acoplamiento electromecánico compuesto lo suficientemente altos para su uso en aplicaciones de filtro de banda ancha.

30 **[0015]** También se describe un procedimiento para generar un resonador que no es materia de la presente invención. Se determina un factor de calidad deseado para el resonador. También se determina un acoplamiento electromecánico deseado para el resonador. Un primer material piezoeléctrico y un segundo material piezoeléctrico se seleccionan para su uso en el resonador. Se ajusta una proporción de volumen entre el primer material piezoeléctrico y el segundo material piezoeléctrico para obtener un material piezoeléctrico compuesto con el factor de calidad deseado y el acoplamiento electromecánico deseado. El resonador se genera utilizando el material piezoeléctrico compuesto.

35 **[0016]** Se describe un aparato configurado para generar un resonador que no es materia de la presente invención. El aparato incluye medios para determinar un factor de calidad deseado para el resonador. El aparato también incluye medios para determinar un acoplamiento electromecánico deseado para el resonador. El aparato incluye además medios para seleccionar un primer material piezoeléctrico y un segundo material piezoeléctrico para su uso en el resonador. El aparato también incluye medios para ajustar una proporción de volumen entre el primer material piezoeléctrico y el segundo material piezoeléctrico para obtener un material piezoeléctrico compuesto con el factor de calidad deseado y el acoplamiento electromecánico deseado. El aparato incluye además medios para generar el resonador usando el material piezoeléctrico compuesto.

40 **[0017]** También se describe un producto de programa informático para generar un resonador que no es materia de la presente invención. El producto de programa informático incluye un medio legible por ordenador no transitorio que tiene instrucciones en el mismo. Las instrucciones incluyen un código para hacer que un aparato determine el factor de calidad deseado para el resonador. Las instrucciones también incluyen un código para hacer que el aparato determine un acoplamiento electromecánico deseado para el resonador. Las instrucciones incluyen además un código para hacer que el aparato seleccione un primer material piezoeléctrico y un segundo material piezoeléctrico para su uso en el resonador. Las instrucciones también incluyen un código para hacer que el aparato ajuste una proporción de volumen entre el primer material piezoeléctrico y el segundo material piezoeléctrico para obtener un material piezoeléctrico compuesto con el factor de calidad deseado y el acoplamiento electromecánico deseado. Las instrucciones incluyen además un código para hacer que el aparato genere el resonador utilizando el material piezoeléctrico compuesto.

45 **[0017]** También se describe un producto de programa informático para generar un resonador que no es materia de la presente invención. El producto de programa informático incluye un medio legible por ordenador no transitorio que tiene instrucciones en el mismo. Las instrucciones incluyen un código para hacer que un aparato determine el factor de calidad deseado para el resonador. Las instrucciones también incluyen un código para hacer que el aparato determine un acoplamiento electromecánico deseado para el resonador. Las instrucciones incluyen además un código para hacer que el aparato seleccione un primer material piezoeléctrico y un segundo material piezoeléctrico para su uso en el resonador. Las instrucciones también incluyen un código para hacer que el aparato ajuste una proporción de volumen entre el primer material piezoeléctrico y el segundo material piezoeléctrico para obtener un material piezoeléctrico compuesto con el factor de calidad deseado y el acoplamiento electromecánico deseado. Las instrucciones incluyen además un código para hacer que el aparato genere el resonador utilizando el material piezoeléctrico compuesto.

50 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

**[0018]**

La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral;

la figura 2 ilustra un resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral para su uso en los sistemas y procedimientos actuales;

la figura 3 ilustra gráficas de resultados de simulación para tres resonadores diferentes;

la figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento para generar un resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral;

la figura 5 ilustra otro resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral para su uso en los sistemas y procedimientos actuales;

la figura 6 ilustra otro resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral para su uso en los sistemas y procedimientos actuales;

la figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral con tres capas verticales de material piezoeléctrico;

la figura 8 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral con cuatro capas horizontales de material piezoeléctrico; y

la figura 9 ilustra ciertos componentes que pueden incluirse dentro de un dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA**

**[0019]** La figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Un ejemplo de un dispositivo de resonador de sistemas electromecánicos es un resonador de modo de contorno (CMR). Un resonador de modo de contorno (CMR) tiene modos de vibración sustancialmente laterales y en el plano. Un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede ser, por lo tanto, una configuración de un resonador de modo de contorno (CMR).

**[0020]** En general, un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede incluir múltiples electrodos conductores 106 con un material piezoeléctrico compuesto 108 intercalado entre los electrodos 106. Los electrodos 106 pueden incluir uno o más electrodos de entrada 106 acoplados a un puerto de entrada y uno o más electrodos de salida 106 acoplados a un puerto de salida. Los electrodos de tierra 106 pueden estar interdigitados entre los electrodos de entrada y salida 106. Tal como se usa en el presente documento, la vibración lateral se refiere a la operación multifrecuencia de un solo chip, en contraste con las tecnologías convencionales de cristal de cuarzo y resonador de onda acústica de volumen de película delgada (FBAR) para las cuales solo se permite una frecuencia central por oblea.

**[0021]** La estructura del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede suspenderse en una cavidad que incluye amarres especialmente diseñados que acoplan la estructura del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral a una estructura de soporte. Estos amarres pueden fabricarse en el apilamiento de capas de la estructura del resonador 104. La estructura del resonador 104 puede aislarse acústicamente del soporte estructural circundante y otros componentes en virtud de la cavidad.

**[0022]** Muchos tipos diferentes de dispositivos electrónicos pueden beneficiarse de un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Los diferentes tipos de dichos dispositivos incluyen, entre otros, teléfonos celulares, módems inalámbricos, ordenadores, reproductores de música digital, unidades del Sistema de posicionamiento global, asistentes digitales personales, dispositivos de juego, etc. Un grupo de dispositivos incluye aquellos que pueden usarse con sistemas de comunicación inalámbrica. Como se usa en el presente documento, el término "dispositivo de comunicación inalámbrica" se refiere a un dispositivo electrónico que puede usarse para la comunicación de voz y/o datos a través de una red de comunicación inalámbrica. Ejemplos de dispositivos de comunicación inalámbrica incluyen teléfonos celulares, dispositivos inalámbricos de mano, módems inalámbricos, ordenadores portátiles, ordenadores personales, etc. Un dispositivo de comunicación inalámbrica puede ser denominado, de forma alternativa, terminal de acceso, terminal móvil, estación de abonado, estación remota, un terminal de usuario, un terminal, una unidad de abonado, equipo de usuario, una estación móvil, etc.

**[0023]** Una red de comunicación inalámbrica puede proporcionar comunicación para un número de dispositivos de comunicación inalámbrica, cada uno de los cuales puede recibir servicio de una estación base. Una estación base puede denominarse, de forma alternativa, punto de acceso, Nodo B o con alguna otra terminología. Las estaciones base y los dispositivos de comunicación inalámbricos pueden hacer uso de resonadores compuestos 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Sin embargo, muchos tipos diferentes de dispositivos electrónicos, además de los dispositivos inalámbricos mencionados, pueden hacer uso de los resonadores compuestos 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral.

**[0024]** La frecuencia de resonancia de un resonador de modo de contorno (CMR), como el resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral, puede controlarse sustancialmente mediante el diseño de las dimensiones laterales del material piezoeléctrico compuesto 108 y los electrodos 106. Un beneficio de tal construcción es que los filtros de RF de frecuencia múltiple, osciladores de reloj, transductores u otros dispositivos que incluyen uno o más resonadores de modo de contorno (CMR) se pueden fabricar en el mismo sustrato. Esto puede ser ventajoso en términos de coste y tamaño al permitir soluciones compactas de filtro multibanda para aplicaciones de interfaz de RF en un solo chip. El resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede proporcionar las ventajas de tamaño compacto (por ejemplo, 100 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de longitud y/o anchura), bajo consumo de energía y compatibilidad con componentes de alto rendimiento de producción en masa.

**[0025]** Típicamente, solo se usa un único material piezoeléctrico en un resonador. Por ejemplo, un solo material piezoeléctrico se puede utilizar en un resonador de vibración lateral de un solo puerto o de dos puertos. Como otro ejemplo, se puede usar un solo material piezoeléctrico en un resonador de vibración lateral piezoeléctrico sobre un sustrato de un puerto (para todos los tipos de configuraciones de electrodo 106). Se pueden utilizar diferentes materiales piezoeléctricos como el único material piezoeléctrico.

**[0026]** En una configuración, el único material piezoeléctrico puede ser nitruro de aluminio (AlN). AlN puede tener un factor de calidad (Q) 112 elevado, lo que resulta en una baja resistencia al movimiento y una baja pérdida de inserción del filtro. Sin embargo, AlN puede tener un coeficiente piezoeléctrico transversal limitado ( $d_{31}$ ) 114, lo que resulta en un acoplamiento electromecánico limitado ( $kt^2$ ) 116. Por lo tanto, los resonadores de sistemas microelectromecánicos (MEMS) de AlN de vibración lateral pueden no ser ideales para aplicaciones de filtro de banda ancha.

**[0027]** En otra configuración, el material piezoeléctrico único puede ser óxido de zinc (ZnO) o titanato circonato de plomo (PZT). ZnO y PZT tienen un coeficiente piezoeléctrico transversal ( $d_{31}$ ) 114 y un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 (especialmente para PZT) relativamente mayor que AlN, lo que hace que su uso en aplicaciones de filtro de banda ancha sea más óptimo. Sin embargo, ZnO y PZT tienen un factor de calidad (Q) 112 bajo y, por lo tanto, tienen una gran resistencia al movimiento y una gran pérdida de inserción del filtro.

**[0028]** Para un resonador de vibración lateral piezoeléctrico sobre sustrato de un puerto, el material piezoeléctrico único puede ser ZnO, AlN, PZT u otro material piezoeléctrico y el sustrato puede ser silicio, diamante u otro material no piezoeléctrico. El cuerpo del resonador puede ser principalmente el sustrato no piezoeléctrico. Por lo tanto, el acoplamiento electromecánico compuesto efectivo ( $kt^2$ ) 116 es pequeño y desfavorable para aplicaciones de filtro de banda ancha. Un resonador de vibración lateral piezoeléctrico sobre sustrato de un puerto puede tener un factor de calidad (Q) 112 elevado y una baja pérdida de inserción para los filtros de banda estrecha (por ejemplo, un ancho de banda de filtro fraccional  $< 1\%$ ).

**[0029]** El material piezoeléctrico compuesto 108 puede incluir un primer material piezoeléctrico 110a y un segundo material piezoeléctrico 110b. El primer material piezoeléctrico 110a y el segundo material piezoeléctrico 110b pueden formar cada uno una o más capas. Las capas pueden estar acopladas entre sí o estar separadas por un electrodo 106 (tal como un electrodo de tierra 106). Se pueden usar diferentes configuraciones para las capas del primer material piezoeléctrico 110a y el segundo material piezoeléctrico 110b (junto con las capas 106 de electrodo correspondientes según sea necesario para diferentes configuraciones del electrodo 106). Por ejemplo, una capa del primer material piezoeléctrico 110a puede colocarse directamente sobre la capa del segundo material piezoeléctrico 110b. El cuerpo resonador principal puede ser solo el material piezoeléctrico compuesto 108.

**[0030]** En una configuración, el primer material piezoeléctrico 110a puede ser AlN y el segundo material piezoeléctrico 110b puede ser PZT o ZnO. Sin embargo, materiales piezoeléctricos adicionales no mencionados en el presente documento también se pueden usar como el primer material piezoeléctrico 110a o el segundo material piezoeléctrico 110b.

**[0031]** El primer material piezoeléctrico 110a puede tener un factor de calidad (Q) 112a, un coeficiente piezoeléctrico transversal ( $d_{31}$ ) 114a y un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116a. El segundo material piezoeléctrico 110b puede tener un factor de calidad (Q) 112b, un coeficiente piezoeléctrico transversal ( $d_{31}$ ) 114b y un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116b. El material piezoeléctrico compuesto 108 puede tener un factor de calidad compuesto (Q) 118, un coeficiente piezoeléctrico transversal compuesto ( $d_{31}$ ) 120 y un acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122. El factor de calidad compuesto (Q) 118, el coeficiente piezoeléctrico transversal compuesto ( $d_{31}$ ) 120 y el

acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 pueden diseñarse en base a la proporción de volumen 126 y/o la proporción de espesor 124 del primer material piezoeléctrico 110a y el segundo material piezoeléctrico 110b. Por ejemplo, en una configuración, el primer material piezoeléctrico 110a puede ser AlN (con un elevado factor de calidad (Q) 112) y el segundo material piezoeléctrico 110b puede ser ZnO (con un alto acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116). El material piezoeléctrico compuesto 108 puede tener un factor de calidad compuesto (Q) 118 que es suficiente para aplicaciones de filtro de banda ancha y un acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 que es suficiente para aplicaciones de filtro de banda ancha.

**[0032]** El material piezoeléctrico compuesto 108 puede traducir la señal o señales de entrada de uno o más electrodos 106 a vibración mecánica, que luego puede traducirse a la señal o señales de salida. Estas vibraciones mecánicas pueden ser la frecuencia de resonancia del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Basándose en los anchos de los dedos de los electrodos 106, se pueden controlar las frecuencias resonantes de la estructura. La frecuencia fundamental para el desplazamiento del material piezoeléctrico compuesto 108 se puede establecer en parte litográficamente mediante las dimensiones planas de los electrodos 106 y/o la capa del material piezoeléctrico compuesto 108.

**[0033]** Un campo eléctrico de CA aplicado a través de los electrodos 106 puede inducir deformaciones mecánicas en uno o más planos del material piezoeléctrico compuesto 108 a través del coeficiente piezoeléctrico transversal compuesto ( $d_{31}$ ) 120 o el coeficiente piezoeléctrico longitudinal compuesto ( $d_{33}$ ) 127. A la frecuencia de resonancia del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral, la señal eléctrica a través del dispositivo se refuerza y el dispositivo se comporta como un circuito resonador electrónico.

**[0034]** En una configuración, se puede configurar el ancho total multiplicado por la longitud total del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral para controlar la impedancia de la estructura del resonador. Un espesor adecuado del material piezoeléctrico compuesto 108 puede ser un espesor de 0,01 a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).

**[0035]** El uso de un material piezoeléctrico compuesto 108 puede aplicarse a todas las configuraciones diferentes de electrodos 106 que se han demostrado para resonadores solo piezoeléctricos o piezoeléctricos sobre sustrato. Con más capas de materiales piezoeléctricos 110 y capas metálicas, también se pueden desarrollar otras configuraciones nuevas de electrodos 106.

**[0036]** El resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral se puede usar para sintetizar filtros de banda ancha (con un ancho de banda fraccional  $> 3\%$ ) en varias frecuencias centrales (desde 10 megahercios (MHz) hasta frecuencias de microondas) en el mismo chip para comunicaciones inalámbricas de múltiples bandas/múltiples modos, que no se pueden lograr con la tecnología existente. Múltiples resonadores compuestos 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral pueden ser acoplados eléctricamente (por ejemplo, en una topología de escalera, rejilla o autoacoplamiento) y/o mecánicamente para sintetizar filtros de paso de banda de alto orden con diferentes frecuencias centrales y anchos de banda (estrechos o anchos) en un solo chip. Se pueden utilizar diferentes esquemas de excitación (por ejemplo, excitación de campo de espesor y excitación de campo lateral) para excitar todos los diferentes tipos de modos de vibración (en extensión de anchura, en extensión longitudinal, en extensión de espesor, onda de Lamb, modo de cizallamiento, etc.) en resonadores compuestos 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral.

**[0037]** Los materiales piezoeléctricos 110 utilizados en un material piezoeléctrico compuesto 108 pueden fabricarse uno encima del otro o uno al lado del otro. Además, se pueden fabricar resonadores solo piezoeléctricos separados con diferentes materiales piezoeléctricos 110 uno próximo al otro (o incluso uno al lado del otro) en el mismo chip para obtener el material piezoeléctrico compuesto 108 para el resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Por lo tanto, múltiples resonadores pueden conectarse eléctricamente en paralelo o acoplarse mecánicamente para realizar el resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Debido a las diferentes velocidades acústicas de los diferentes materiales piezoeléctricos 110, el funcionamiento multifrecuencia de un solo dispositivo también puede diseñarse en un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral que incluye un material piezoeléctrico compuesto 108.

**[0038]** La figura 2 ilustra un resonador compuesto 204 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral a modo de ejemplo que no es materia de la presente invención. El resonador compuesto 204 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 2 puede ser una configuración del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 1. El resonador compuesto 204 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede incluir un material piezoeléctrico compuesto 208 que incluye una capa 210a de un primer material piezoeléctrico 110a y una capa 210b de un segundo material piezoeléctrico 110b. La capa 210a del primer material piezoeléctrico 110a puede estar directamente sobre la capa 210b del segundo material piezoeléctrico 110b. Un primer electrodo 206a puede acoplarse a la capa 210a del primer material piezoeléctrico 110a y un segundo electrodo 206b puede acoplarse a la capa 210b del segundo material piezoeléctrico 110b.

**[0039]** La figura 3 ilustra los gráficos 328a-c de los resultados de la simulación para tres resonadores diferentes. En cada gráfico, la magnitud de la admitancia (en decibelios (dB)) se representa en función de la frecuencia (en gigahercios (GHz)). El primer gráfico 328a ilustra los resultados de la simulación de un resonador con AlN utilizado como el único material piezoeléctrico 110. El segundo gráfico 328b ilustra los resultados de la simulación para un resonador con ZnO utilizado como el único material piezoeléctrico 110. El tercer gráfico 328c ilustra los resultados de la simulación para un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral utilizando AlN como el primer material piezoeléctrico 110a y ZnO como el segundo material piezoeléctrico 110b.

**[0040]** En el primer gráfico 328a, la frecuencia de resonancia  $f_s$  es 2 GHz, el factor de calidad (Q) 112 es 2000 y el acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 es del 3 %. En el segundo gráfico 328b, la frecuencia de resonancia  $f_s$  es 2 GHz, el factor de calidad (Q) 112 es 500 y el acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 es del 8 %. Por lo tanto, el resonador que utiliza AlN como el único material piezoeléctrico 110 tiene un factor de calidad (Q) 112 elevado y un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 bajo, mientras que el resonador que utiliza ZnO como el único material piezoeléctrico 110 tiene un factor de calidad (Q) 112 bajo y un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 elevado. Diseñando un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral que usa una capa de AlN y una capa de ZnO, se puede lograr una frecuencia resonante de 2 GHz, un factor de calidad compuesto (Q) 118 de 1500 y un acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 de 5,4 %. Por lo tanto, el resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral tiene la ventaja del resonador AlN en términos de un factor de calidad compuesto (Q) 118 elevado y la ventaja del resonador ZnO en términos de acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 elevado.

**[0041]** La figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento 400 para generar un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. El procedimiento 400 puede ser realizado por un ingeniero, un técnico o un ordenador. En una configuración, el procedimiento 400 puede llevarse a cabo por una máquina de fabricación.

**[0042]** Se puede determinar 402 un factor de calidad (Q) deseado (es decir, un factor de calidad compuesto (Q) 118) para un resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. También se puede determinar 404 un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) deseado (acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122) para el resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Un primer material piezoeléctrico 110a y un segundo material piezoeléctrico 110b pueden seleccionarse 406 para el resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral. Se puede ajustar 408 una proporción de espesor 124 (o una proporción de volumen 126) entre el primer material piezoeléctrico 110a y el segundo material piezoeléctrico 110b para obtener un material piezoeléctrico compuesto 108 con el factor de calidad (Q) deseado y el acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) deseado. El resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede generarse 410 entonces utilizando el material piezoeléctrico compuesto 108.

**[0043]** La figura 5 ilustra otro resonador compuesto 504 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral a modo de ejemplo que no es materia de la presente invención. El resonador compuesto 504 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 5 puede ser una configuración del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 1. El resonador compuesto 504 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede incluir un material piezoeléctrico compuesto 508 que incluye una capa 510a de un primer material piezoeléctrico 110a (ZnO o PZT) y una capa 510b de un segundo material piezoeléctrico 110b (AlN).

**[0044]** La capa 510a del primer material piezoeléctrico 110a se puede acoplar a la capa 510b del segundo material piezoeléctrico 110b a través de una capa a tierra (GND). Se pueden acoplar múltiples electrodos de entrada y salida 506a-d a la capa 510a del primer material piezoeléctrico 110a. También se pueden acoplar múltiples electrodos de entrada y salida 506e-h a la capa 510b del segundo material piezoeléctrico 110b.

**[0045]** La capa 510a del primer material piezoeléctrico 110a puede tener un espesor de T1 530a y la capa 510b del segundo material piezoeléctrico 110b puede tener un espesor de T2 530b. Ajustando la proporción 124 entre el espesor T1 530a y el espesor T2 530b, se puede ajustar el factor de calidad compuesto (Q) 118 y el acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 del material piezoeléctrico compuesto 508. Por ejemplo, si el primer material piezoeléctrico 110a tiene un factor de calidad (Q) 112a elevado pero un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116 bajo y se desea un factor de calidad compuesto (Q) 118 mayor (en detrimento del acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122), el espesor T1 530a puede incrementarse con relación al espesor T2 530b.

**[0046]** La figura 6 ilustra otro resonador compuesto 604 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral a modo de ejemplo que no es materia de la presente invención. El resonador compuesto 604 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 6 puede ser una configuración del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 1. El resonador compuesto 604 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede incluir un material piezoeléctrico compuesto 608 que incluye una capa 610a de un primer material piezoeléctrico 110a (AlN) y una capa 610b de un segundo material piezoeléctrico 110b (ZnO o PZT).

**[0047]** La capa 610a del primer material piezoeléctrico 110a se puede acoplar a la capa 610b del segundo material piezoeléctrico 110b. Un primer electrodo 606a puede acoplarse a la capa 610a del primer material piezoeléctrico 110a y un segundo electrodo 606b puede acoplarse a la capa 610b del segundo material piezoeléctrico 110b.

5 **[0048]** El primer material piezoeléctrico 110a puede tener un primer volumen y el segundo material piezoeléctrico 110b puede tener un segundo volumen. Ajustando la proporción 126 entre el primer volumen y el segundo volumen, se puede ajustar el factor de calidad compuesto (Q) 118 y el acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 del material piezoeléctrico compuesto 608. Por ejemplo, si el primer material piezoeléctrico 110a tiene un factor de calidad (Q) 112a elevado pero un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116a bajo y se desea un factor de calidad compuesto (Q) 118 mayor (en detrimento del acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122), el primer volumen puede incrementarse con relación al segundo volumen.

15 **[0049]** La figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto 704 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral con tres capas verticales 710a-c de material piezoeléctrico 110. El resonador compuesto 704 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 7 puede ser una configuración del resonador compuesto 104 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 1. El resonador compuesto 704 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral puede incluir un material piezoeléctrico compuesto 708 que incluye una primera capa 710a de un primer material piezoeléctrico 110a, una capa 710b de un segundo material piezoeléctrico 110b y una segunda capa 710c del primer material piezoeléctrico 110a. La capa 710b del segundo material piezoeléctrico 110b puede intercalarse entre la primera capa 710a del primer material piezoeléctrico 110a y la segunda capa 710c del primer material piezoeléctrico 110a (es decir, la primera capa 710a del primer material piezoeléctrico 110a puede estar directamente sobre la capa 710b del segundo material piezoeléctrico 110b y la segunda capa 710c del primer material piezoeléctrico 110a puede estar directamente debajo de la capa 710b del segundo material piezoeléctrico 110b). Un primer electrodo 706a se puede acoplar a la primera capa 710a del primer material piezoeléctrico 110a. Un segundo electrodo 706b puede acoplarse a la segunda capa 710c del primer material piezoeléctrico 110a.

30 **[0050]** El primer material piezoeléctrico 110a puede tener un primer volumen (tanto de la primera capa 710a del primer material piezoeléctrico 110a como de la segunda capa 710c del primer material piezoeléctrico 110a) y el segundo material piezoeléctrico 110b puede tener un segundo volumen (de la capa 710b del segundo material piezoeléctrico 110b). Al ajustar la proporción 126 entre el primer volumen y el segundo volumen, se pueden ajustar el factor de calidad compuesto (Q) 118 y el acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 del material piezoeléctrico compuesto 708. Por ejemplo, si el primer material piezoeléctrico 110a tiene un factor de calidad (Q) 112a elevado pero un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116a bajo y se desea un factor de calidad compuesto (Q) 118 mayor (en detrimento del acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122), el primer volumen puede incrementarse con relación al segundo volumen.

40 **[0051]** La figura 8 es un diagrama de bloques que ilustra un resonador compuesto 804 de sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral según modos de realización de la presente invención, con cuatro capas horizontales 810a-d de material piezoeléctrico 110. El resonador compuesto 804 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 8 puede ser una configuración del resonador compuesto 104 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral de la figura 1. El resonador compuesto 804 del sistema microelectromecánico (MEMS) de vibración lateral incluye un material piezoeléctrico compuesto 808 que incluye un primer material piezoeléctrico 110a y un segundo material piezoeléctrico 110b.

45 **[0052]** El material piezoeléctrico compuesto 808 incluye una primera capa 810a del primer material piezoeléctrico y una primera capa 810b del segundo material piezoeléctrico, y también puede incluir una segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico y una segunda capa 810d del segundo material piezoeléctrico. La primera capa 810b del segundo material piezoeléctrico se puede intercalar entre la primera capa 810a del primer material piezoeléctrico y la segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico. La segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico se puede intercalar entre la primera capa 810b del segundo material piezoeléctrico y la segunda capa 810d del segundo material piezoeléctrico.

55 **[0053]** Un primer electrodo 806a está acoplado a la parte superior de la primera capa 810a del primer material piezoeléctrico y de la primera capa 810b del segundo material piezoeléctrico, y también puede estar acoplado a la parte superior de la segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico y de la segunda capa 810d del segundo material piezoeléctrico. Un segundo electrodo 806b está acoplado a la parte inferior de la primera capa 810a del primer material piezoeléctrico y de la primera capa 810b del segundo material piezoeléctrico, y también puede estar acoplado a la parte inferior de la segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico y de la segunda capa 810d del segundo material piezoeléctrico.

60 **[0054]** El primer material piezoeléctrico 110a puede tener un primer volumen (tanto de la primera capa 810a del primer material piezoeléctrico como de la segunda capa 810c del primer material piezoeléctrico) y el segundo material piezoeléctrico 110b puede tener un segundo volumen (tanto de la primera capa 810c del segundo material piezoeléctrico como de la segunda capa 810d del segundo material piezoeléctrico). Al ajustar la proporción 126 entre el primer volumen y el segundo volumen, se puede ajustar el factor de calidad compuesto (Q) 118 y el acoplamiento



electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 del material piezoeléctrico compuesto 808. Por ejemplo, si el primer material piezoeléctrico 110a tiene un acoplamiento electromecánico ( $kt^2$ ) 116a elevado pero se desea un factor de calidad (Q) 112a bajo y un mayor acoplamiento electromecánico compuesto ( $kt^2$ ) 122 (en detrimento del factor de calidad compuesto (Q) 118), el primer volumen puede incrementarse con relación al segundo volumen.

**[0055]** La figura 9 ilustra ciertos componentes que pueden incluirse dentro de un dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902. El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 puede ser un terminal de acceso, una estación móvil, un dispositivo de comunicación inalámbrico, una estación base, un Nodo B, un dispositivo electrónico de mano, etc. El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 incluye un procesador 903. El procesador 903 puede ser un microprocesador de propósito general con un único chip o varios chips (por ejemplo, una ARM), un microprocesador de propósito especial (por ejemplo, un procesador digital de señales (DSP)), un microcontrolador, una matriz de puertas programables, etc. El procesador 903 puede denominarse una unidad de procesamiento centralizada (CPU). Aunque únicamente se muestra un único procesador 903 en el dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 de la figura 9, en una configuración alternativa podría usarse una combinación de procesadores (por ejemplo, un ARM y DSP).

**[0056]** El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 incluye también una memoria 905. La memoria 905 puede ser cualquier componente electrónico capaz de almacenar información electrónica. La memoria 905 puede estar incorporada como una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), unos medios de almacenamiento en disco magnético, unos medios de almacenamiento ópticos, unos dispositivos de memoria flash en RAM, una memoria integrada incluida con el procesador, una memoria EPROM, una memoria EEPROM, unos registros, etc., incluidas las combinaciones de los mismos.

**[0057]** En la memoria 905 pueden almacenarse datos 909a e instrucciones 907a. Las instrucciones 907a pueden ser ejecutables por el procesador 903 para implementar los procedimientos divulgados en el presente documento. La ejecución de las instrucciones 907a puede implicar el uso de los datos 909a que están almacenados en la memoria 905. Cuando el procesador 903 ejecuta las instrucciones 907a, pueden cargarse diversas partes de las instrucciones 907b en el procesador 903, y pueden cargarse diversos datos 909b en el procesador 903.

**[0058]** El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 también puede incluir un transmisor 911 y un receptor 913 para permitir la transmisión y la recepción de señales hacia y desde el dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902. El transmisor 911 y el receptor 913 pueden denominarse colectivamente transceptor 915. Una antena 917 puede acoplarse eléctricamente al transceptor 915. El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 también puede incluir múltiples transmisores, múltiples receptores, múltiples transceptores y/o múltiples antenas (no mostrados).

**[0059]** El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 puede incluir un procesador 921 de señales digitales (DSP). El dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 también puede incluir una interfaz de comunicaciones 923. La interfaz de comunicaciones 923 puede permitir que un usuario interactúe con el dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902.

**[0060]** Los diversos componentes del dispositivo electrónico/dispositivo inalámbrico 902 pueden acoplarse entre sí mediante uno o más buses, que pueden incluir un bus de alimentación, un bus de señales de control, un bus de señales de estado, un bus de datos, etc. En aras de la claridad, los diversos buses se ilustran en la figura 9 como un sistema de bus 919.

**[0061]** Las técnicas descritas en el presente documento pueden usarse para diversos sistemas de comunicación, incluidos unos sistemas de comunicación que se basan en un sistema de multiplexado ortogonal. Entre los ejemplos de dichos sistemas de comunicación se incluyen sistemas de acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA), sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única (SC-FDMA), etc. Un sistema de OFDMA utiliza el multiplexado por división ortogonal de frecuencia (OFDM), que es una técnica de modulación que divide el ancho de banda global del sistema en múltiples subportadoras ortogonales. Estas subportadoras también pueden denominarse tonos, bins, etc. Con OFDM, cada subportadora puede modularse con datos de forma independiente. Un sistema de SC-FDMA puede utilizar el FDMA entrelazado (IFDMA) para transmitir en subportadoras que están distribuidas por el ancho de banda del sistema, el FDMA localizado (LFDMA) para transmitir en un bloque de subportadoras adyacentes o el FDMA mejorado (EFDMA) para transmitir en múltiples bloques de subportadoras adyacentes. En general, los símbolos de modulación se envían en el dominio de frecuencia con OFDM y en el dominio de tiempo con SC-FDMA.

**[0062]** El término "determinar" engloba una amplia variedad de acciones y, por lo tanto, "determinar" puede incluir calcular, computar, procesar, obtener, investigar, consultar (por ejemplo, consultar una tabla, una base de datos u otra estructura de datos), verificar y similares. Además, "determinar" puede incluir recibir (por ejemplo, recibir información), acceder, (por ejemplo, acceder a datos de una memoria) y similares. Asimismo, "determinar" puede incluir resolver, seleccionar, elegir, establecer y similares.

**[0063]** La expresión "basándose en" no significa "basándose solo en", a menos que se especifique expresamente lo contrario. Dicho de otro modo, la expresión "basándose en" describe tanto "basándose solo en" como "basándose, al menos, en".

5 **[0064]** El término "procesador" debería interpretarse en un sentido amplio para englobar un procesador de propósito general, una unidad de procesamiento centralizada (CPU), un microprocesador, un procesador digital de señales (DSP), un controlador, un microcontrolador, una máquina de estados, y así sucesivamente. En algunas circunstancias, un "procesador" puede referirse a un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), un dispositivo lógico programable (PLD), una matriz de puertas programables in situ (FPGA), etc. El término "procesador" puede referirse a una combinación de dispositivos de procesamiento, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores conjuntamente con un núcleo DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

15 **[0065]** El término "memoria" debería interpretarse en un sentido amplio para englobar cualquier componente electrónico capaz de almacenar información electrónica. El término memoria puede referirse a diversos tipos de medios legibles por procesador tales como memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM), memoria de solo lectura programable (PROM), memoria de solo lectura programable borrable (EPROM), PROM borrable eléctricamente (EEPROM), memoria flash, almacenamiento de datos magnéticos u ópticos, registros, etc. Se dice que la memoria está en comunicación electrónica con un procesador si el procesador puede leer información de y/o escribir información en la memoria. La memoria que es parte integral de un procesador está en comunicación electrónica con el procesador.

25 **[0066]** Los términos "instrucciones" y "código" deberían interpretarse en un sentido amplio para incluir cualquier tipo de sentencia(s) legible(s) por ordenador. Por ejemplo, los términos "instrucciones" y "código" pueden referirse a uno o más programas, rutinas, subrutinas, funciones, procedimientos, etc. "Instrucciones" y "código" pueden comprender una única sentencia legible por ordenador o muchas sentencias legibles por ordenador.

30 **[0067]** Las funciones descritas en el presente documento pueden implementarse en software o firmware que se ejecuta mediante hardware. Las funciones pueden almacenarse como una o más instrucciones en un medio legible por ordenador. Los términos "medio legible por ordenador" o "producto de programa informático" se refieren a cualquier medio de almacenamiento tangible al que se pueda acceder mediante un ordenador o un procesador. A modo de ejemplo, y no de manera limitativa, un medio legible por ordenador puede incluir RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otros dispositivos de almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para transportar o almacenar código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda accederse mediante un ordenador. Entre los discos, tal y como se usan en el presente documento, se incluye un disco compacto (CD), un disco láser, un disco óptico, un disco versátil digital (DVD), un disco flexible y un disco Blu-ray®, donde algunos discos habitualmente reproducen datos magnéticamente y otros discos reproducen datos ópticamente con láseres. Debería apreciarse que un medio legible por ordenador puede ser tangible y no transitorio. El término "producto de programa informático" se refiere a un dispositivo o procesador informático en combinación con código o instrucciones (por ejemplo, un "programa") que se pueden ejecutar, procesar o calcular mediante el dispositivo o procesador informático. Según se usa en el presente documento, el término "código" puede referirse a software, instrucciones, código o datos que son ejecutables por un dispositivo o procesador informático.

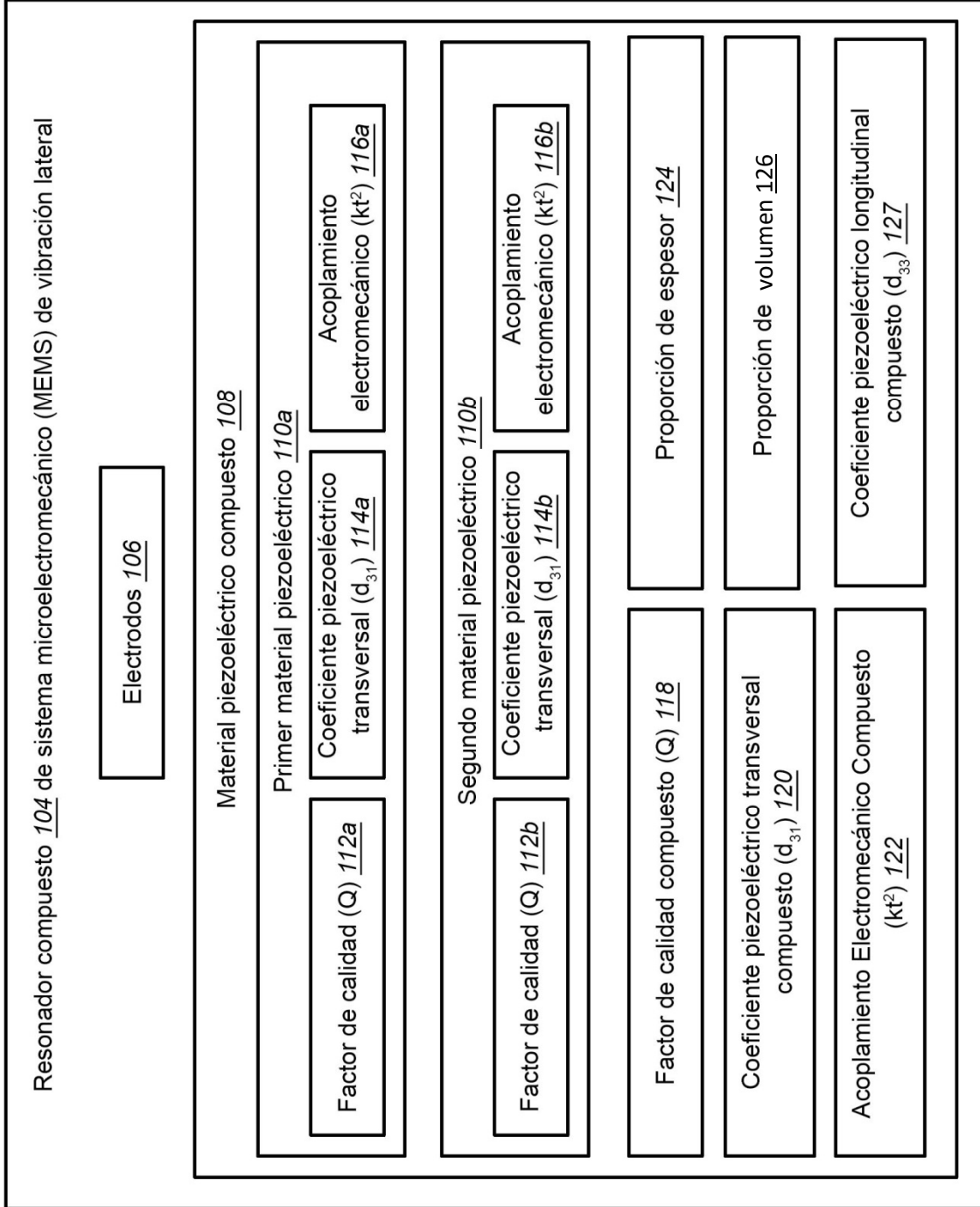
45 **[0068]** Los procedimientos divulgados en el presente documento comprenden una o más etapas o acciones para lograr el procedimiento descrito. Las etapas y/o acciones de procedimiento se pueden intercambiar entre sí sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En otras palabras, a menos que se requiera un orden específico de etapas o acciones para un funcionamiento adecuado del procedimiento que se describe, el orden y/o el uso de las etapas y/o acciones específicas puede modificarse sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

50 **[0069]** Además, debería apreciarse que los módulos y/u otros medios adecuados para realizar los procedimientos y las técnicas descritos en el presente documento, tales como los ilustrados mediante la figura 4, se pueden descargar y/u obtener de otra manera mediante un dispositivo. Por ejemplo, un dispositivo puede estar acoplado a un servidor para facilitar la transferencia de medios para realizar los procedimientos descritos en el presente documento. De forma alternativa, diversos procedimientos descritos en el presente documento pueden proporcionarse a través de medios de almacenamiento (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), un medio de almacenamiento físico tal como un disco compacto (CD) o un disco flexible, etc.), de tal manera que un dispositivo puede obtener los diversos procedimientos tras acoplarse o proporcionar los medios de almacenamiento al dispositivo.

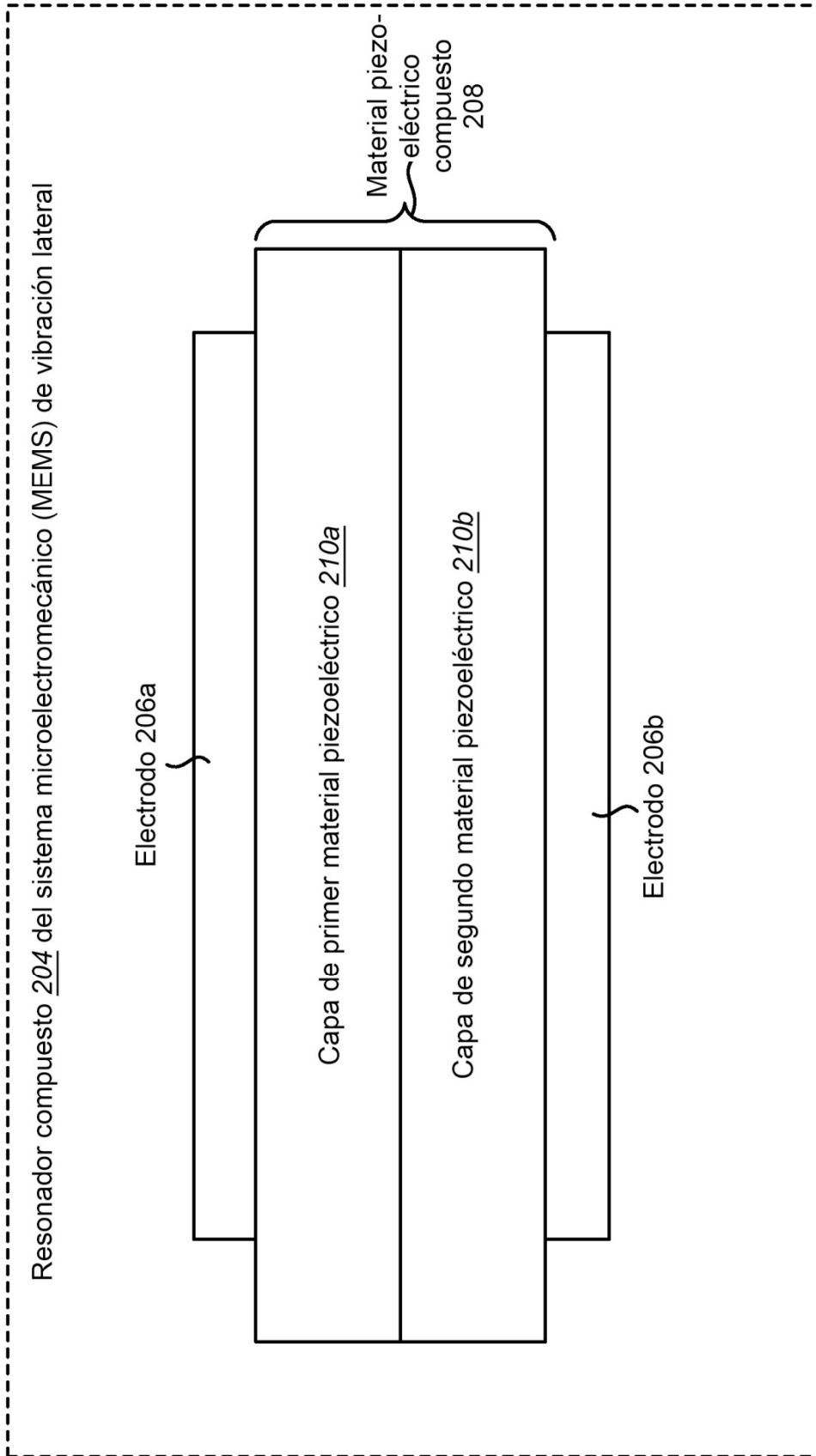
60 **[0070]** Se ha de entender que las reivindicaciones no están limitadas a la configuración y a los componentes precisos ilustrados anteriormente. Pueden realizarse diversas modificaciones, cambios y variantes en la disposición, el funcionamiento y los detalles de los sistemas, procedimientos y aparatos descritos en el presente documento sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un resonador (804), que comprende:
- 5           múltiples electrodos (806a, 806b) que incluyen un primer electrodo (806a) y un segundo electrodo (806b);  
y
- 10           un material piezoeléctrico compuesto (808) que comprende al menos una capa de un primer material piezoeléctrico y al menos una capa de un segundo material piezoeléctrico, en el que al menos un electrodo (806b) está acoplado a una parte inferior del material piezoeléctrico compuesto (808) y en el que al menos un electrodo (806a) está acoplado a una parte superior del material piezoeléctrico compuesto (808);
- en el que el material piezoeléctrico compuesto (808) comprende:
- 15           una primera capa (810a) del primer material piezoeléctrico; y
- una primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico;
- 20           **caracterizado por que** la primera capa (810a) del primer material piezoeléctrico está dispuesta al lado de la primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico, el primer electrodo (806a) está acoplado a la parte superior tanto de la primera capa (810a) del primer material piezoeléctrico como de la primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico, y
- 25           el segundo electrodo (806b) está acoplado a la parte inferior tanto de la primera capa (810a) del primer material piezoeléctrico como de la primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico.
2. El resonador (804) según la reivindicación 1, en el que el resonador (804) es un resonador compuesto de sistema microelectromecánico de vibración lateral.
- 30    3. El resonador (804) según la reivindicación 1, en el que el material piezoeléctrico compuesto (808) comprende además una segunda capa (810c) del primer material piezoeléctrico, y en el que la primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico está intercalada entre la primera capa (810a) del primer material piezoeléctrico y la segunda capa (810c) del primer material piezoeléctrico.
- 35    4. El resonador (804) según la reivindicación 3, en el que el material piezoeléctrico compuesto (808) comprende además una segunda capa (810d) del segundo material piezoeléctrico, y en el que la segunda capa (810c) del primer material piezoeléctrico está intercalada entre la primera capa (810b) del segundo material piezoeléctrico y la segunda capa (810d) del segundo material piezoeléctrico.
- 40    5. El resonador (804) según la reivindicación 1, en el que el material piezoeléctrico compuesto (808) traduce señales de entrada de uno o más electrodos de entrada a vibraciones mecánicas, y en el que las vibraciones mecánicas se traducen a una señal de salida de uno o más electrodos de salida.
- 45    6. El resonador (804) según la reivindicación 1, en el que el primer material piezoeléctrico es nitruro de aluminio, y en el que el segundo material piezoeléctrico es óxido de cinc.
7. El resonador (804) según la reivindicación 1, en el que el primer material piezoeléctrico es nitruro de aluminio, y en el que el segundo material piezoeléctrico es titanato circonato de plomo.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

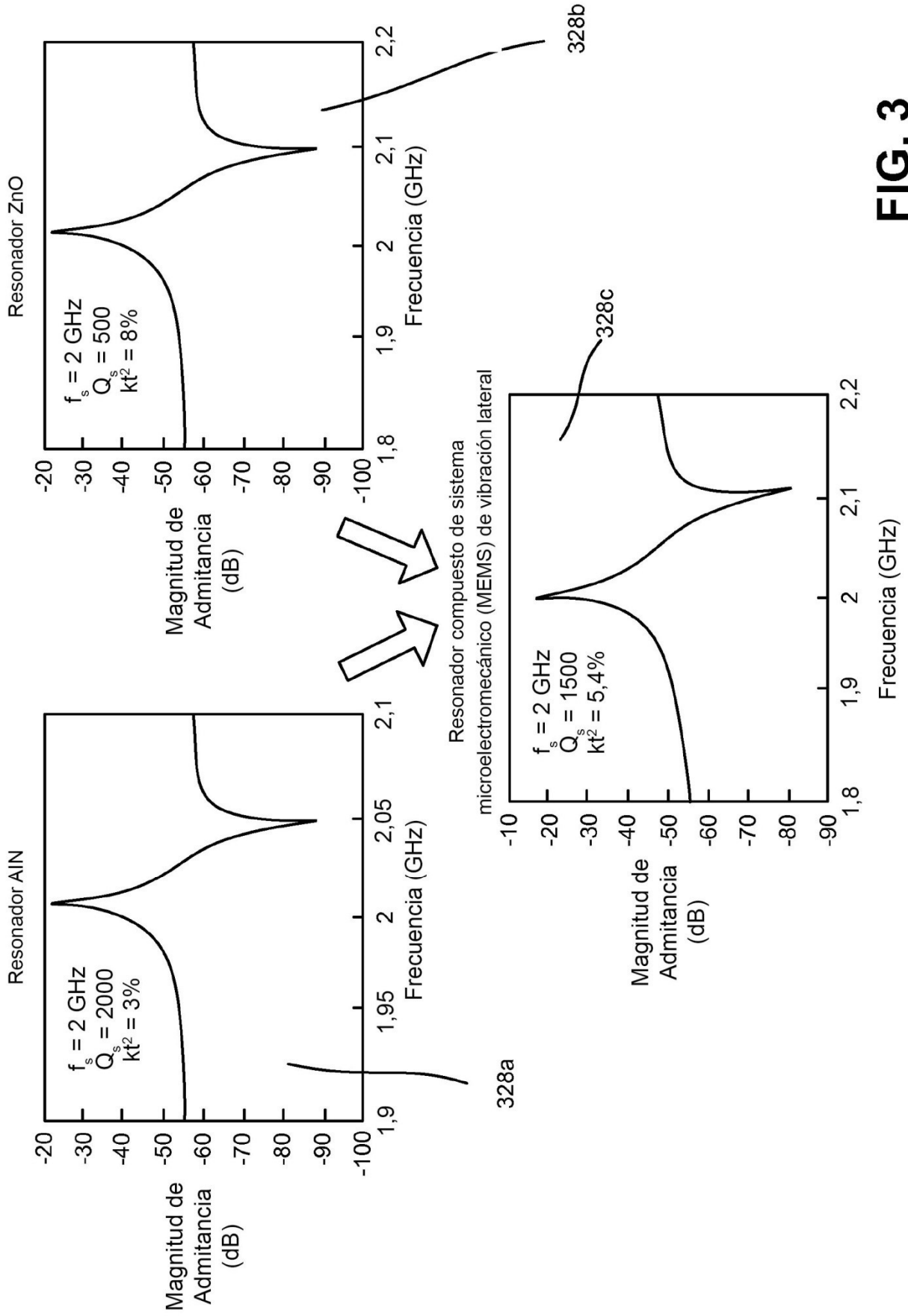
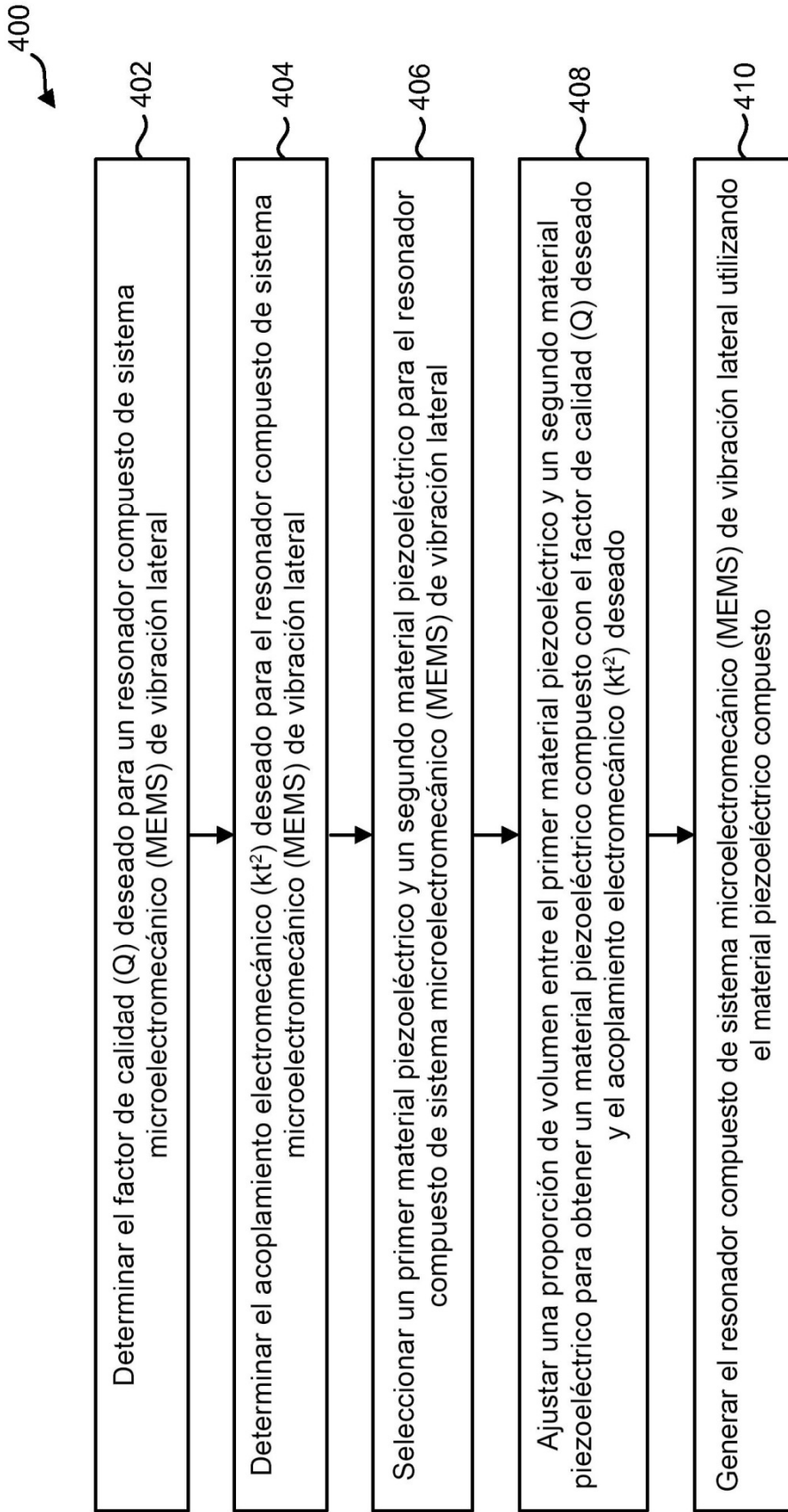
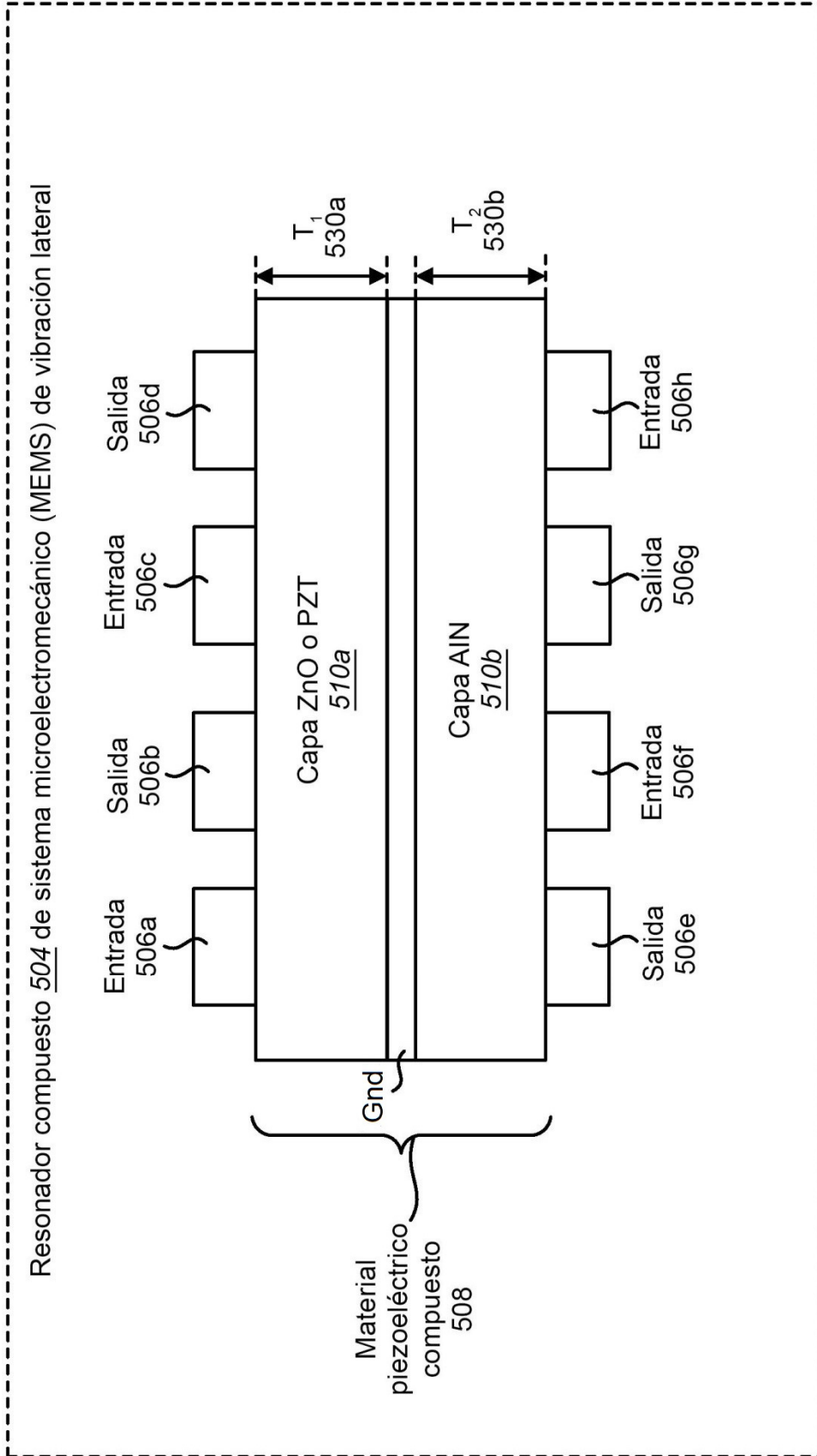


FIG. 3

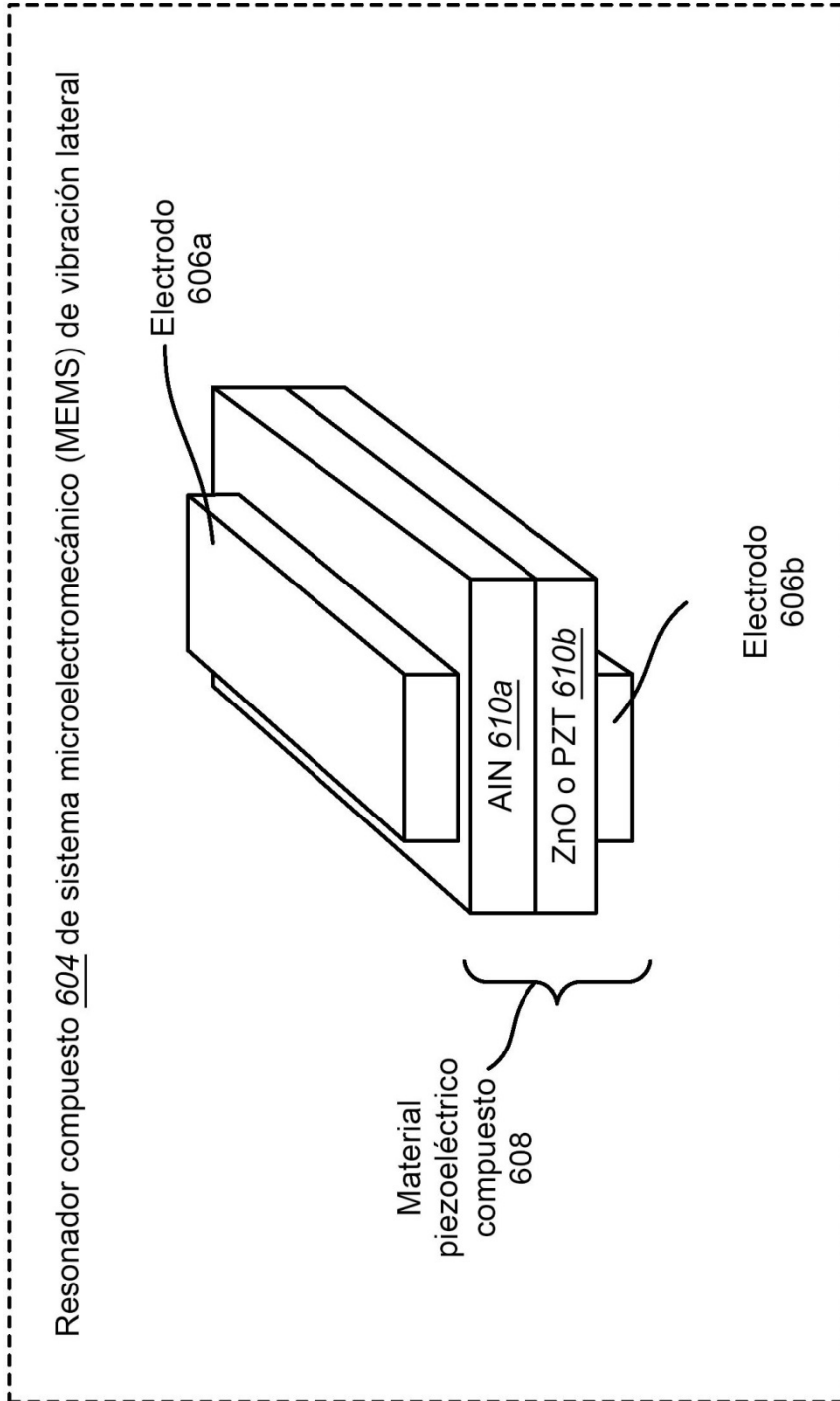


**FIG. 4**

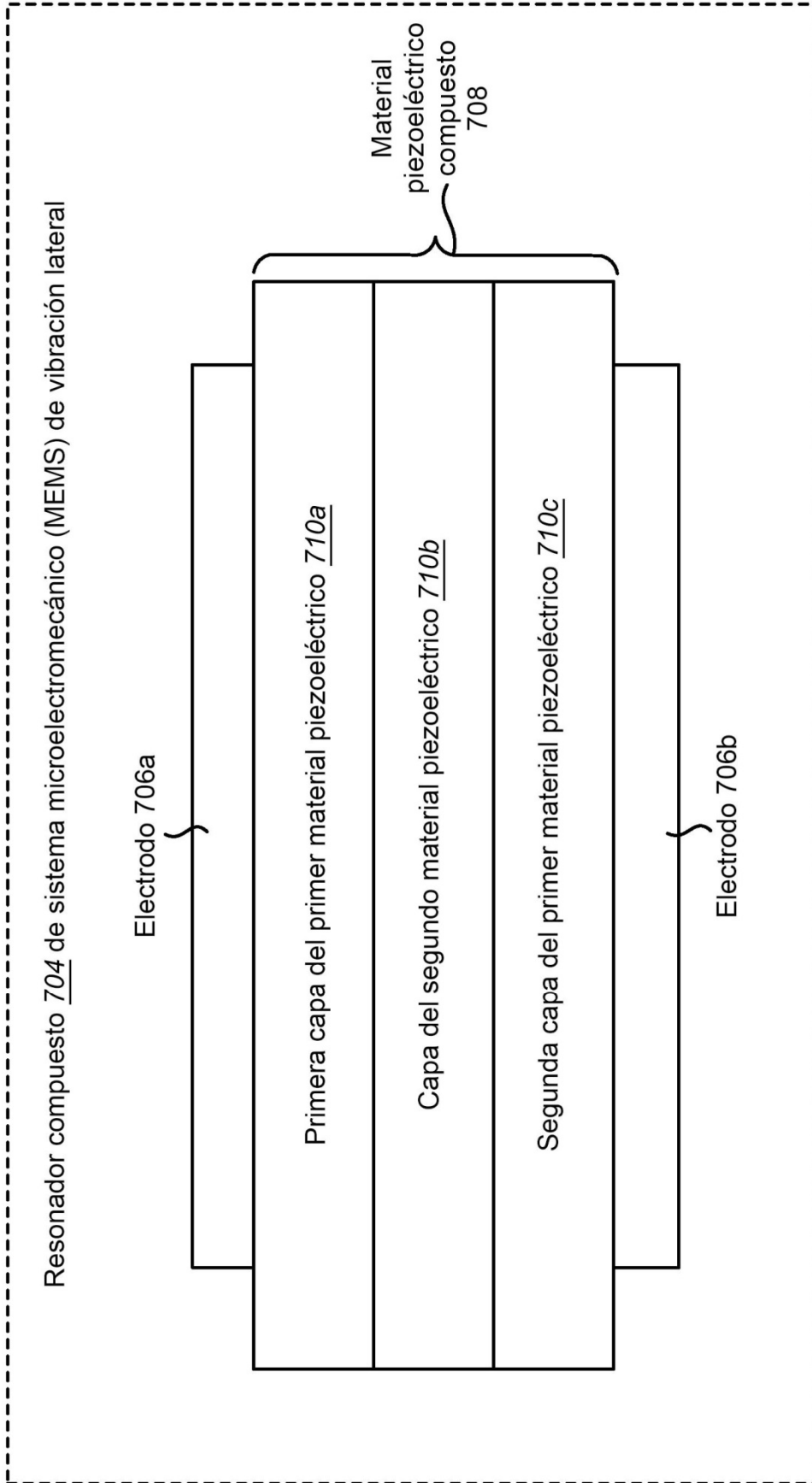


**FIG. 5**

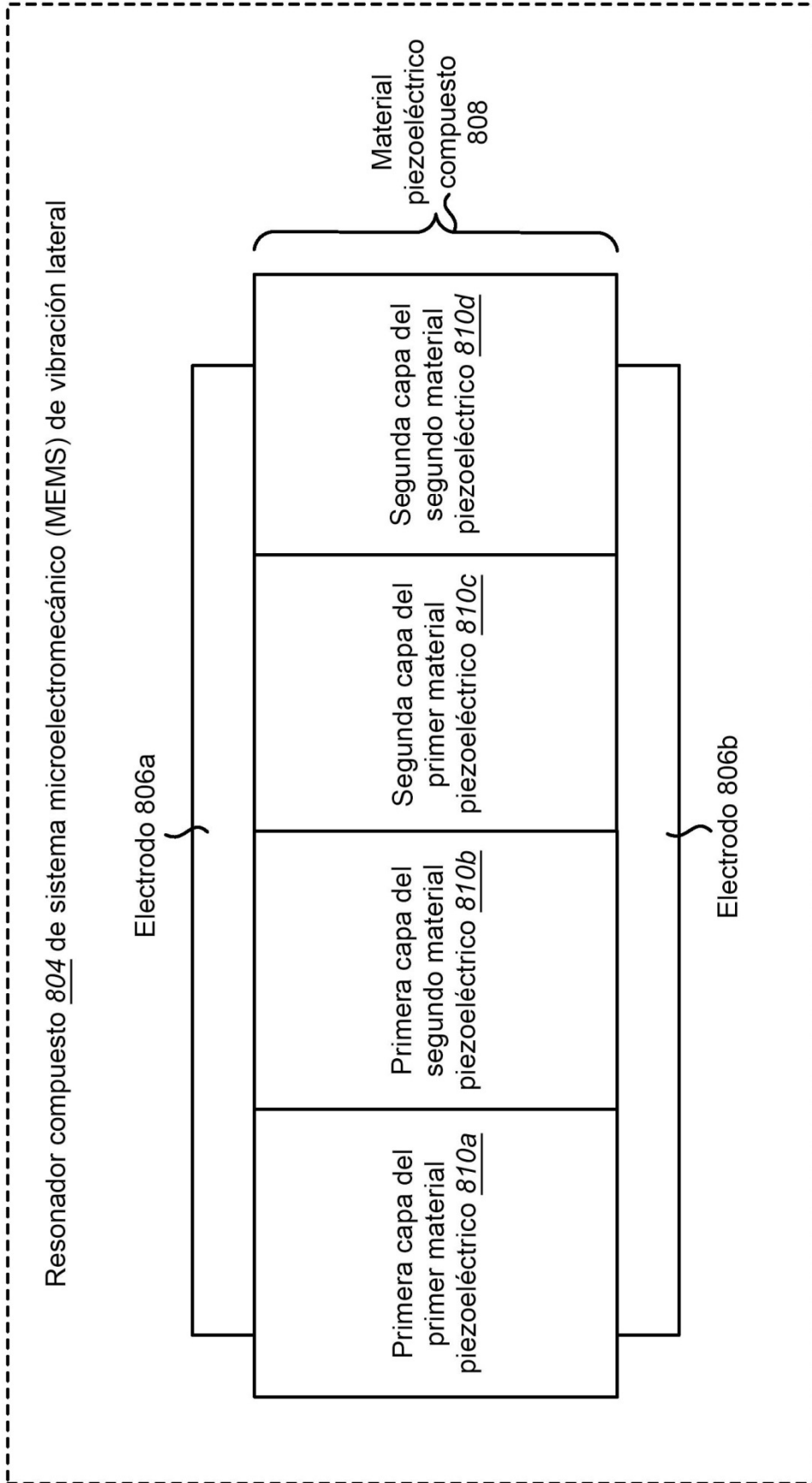




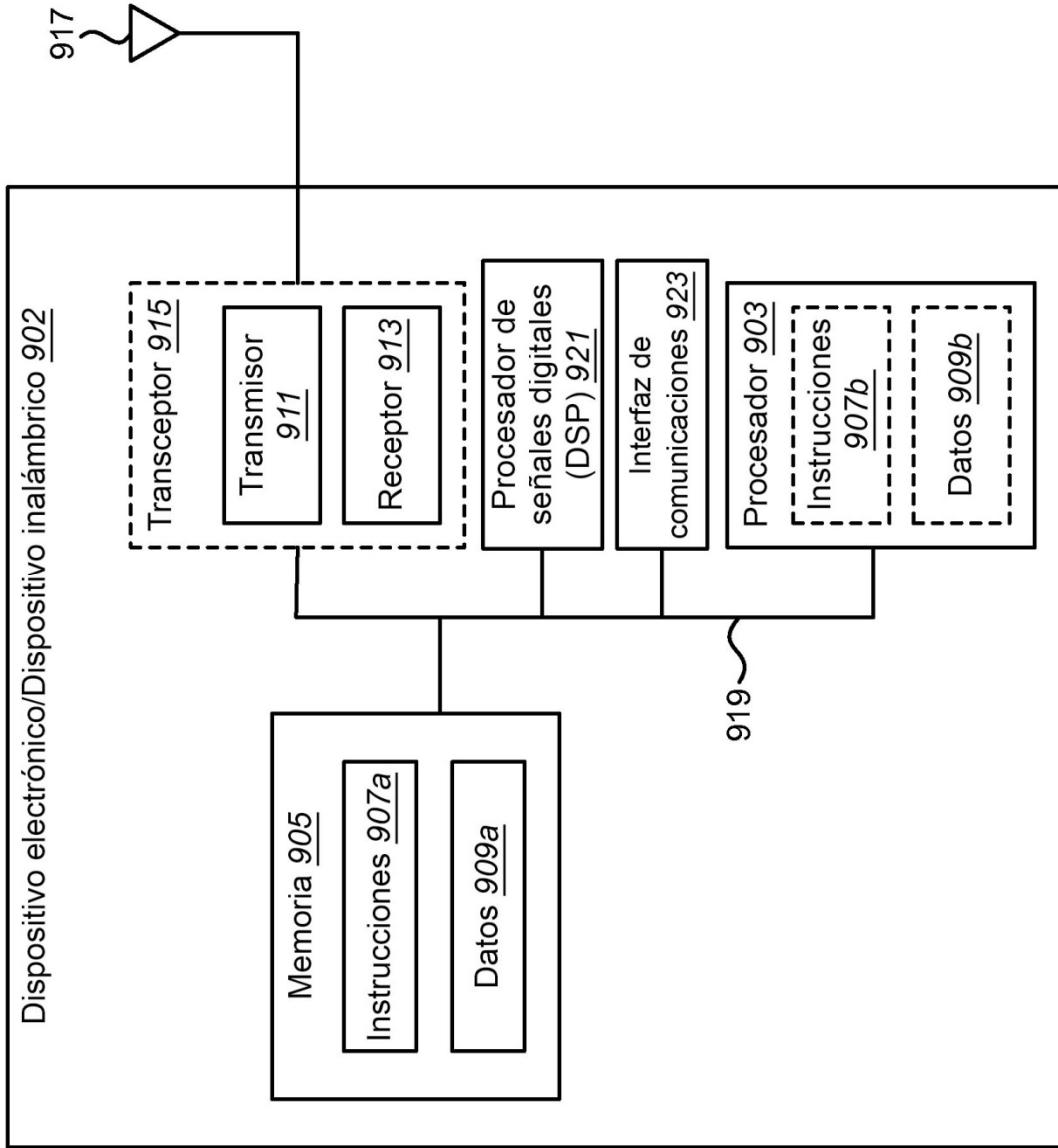
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**