



(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G01R 33/038 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2012/070569

(22) Fecha de presentación internacional:
25 de julio de 2012 (25.07.2012)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
61/511,324 25 de julio de 2011 (25.07.2011) US
61/606,091 2 de marzo de 2012 (02.03.2012) US
61/646,664 14 de mayo de 2012 (14.05.2012) US

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
BAOLAB MICROSYSTEMS SL [ES/ES]; Institut
Politecnic del Campus de Terrassa - Mod TR25, Cta
Nacional 150 Km 14,5, E-08220 Terrassa, Barcelona (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente):
MONTANYÀ SILVESTRE, Josep [ES/ES]; C/ Terrasa
42-44, 2on C - 08191, E-08191 Rubí, Barcelona (ES).
VALLE FRAGA, Juan José [ES/ES]; Avenida Arcadio
Pardiñas, 129 5ªA, E-27880 Burela, Lugo (ES).

BARRACHINA SARALEGUI, Laura [ES/ES]; c/ Josep
Aparici 5, 2º 2ª, E-08208 Sabadell, Barcelona (ES).

(74) Mandatario: **ELZABURU, Alberto de**; C/ Miguel Ángel,
21, E-28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección nacional admisible): AE,
AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección regional admisible):
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ,
BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHODS AND SYSTEMS FOR MEMS CMOS DEVICES INCLUDING A MULTIWIRE COMPASS

(54) Título : MÉTODOS Y SISTEMAS PARA DISPOSITIVOS MEMS (SISTEMAS MICROELECTROMECÁNICOS) CMOS
(SEMICONDUCTOR COMPLEMENTARIO DE ÓXIDO METÁLICO) QUE INCLUYEN UNA BRÚJULA DE MÚLTIPLES
HILOS

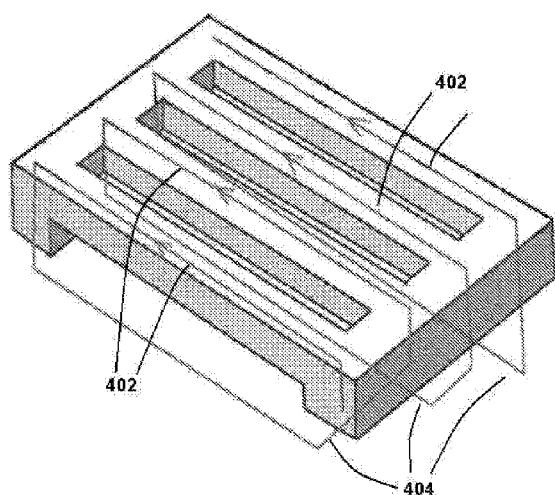


Fig. 4

(57) Abstract: The systems and methods described provide for a magnetometer device that includes a resonating element having an inner wire enclosed in a shielding electrode. The shielding electrode decreases the effect of interference on the resonating element. A sensing electrode is disposed proximate to the resonating element. The device further includes a source for generating current that is connected to the resonating element. The current when applied through the inner wire causes a displacement of the resonating element. The magnetometer device measures a magnetic field of the resonating element as a capacitance variation between the shielding electrode and the sensing electrode. The systems and methods herein provide for an accelerometer device that includes a resonating element having an inner core of dielectric material enclosed in a shielding electrode. The accelerometer device measures an acceleration of the resonating element as a capacitance variation between the shielding electrode and the sensing electrode.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]

**Publicada:**

- *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))*

Los sistemas y los métodos descritos se proporcionan para un dispositivo de magnetómetro que incluye un elemento resonante que tiene un hilo interior encerrado en un electrodo protector. El electrodo protector disminuye el efecto de interferencia en el elemento resonante. Un electrodo sensible se dispone próximo al elemento resonante; El dispositivo incluye además una fuente para generar corriente que está conectada al elemento resonante. La corriente, cuando se aplica a través del hilo interior, provoca un desplazamiento del elemento resonante. El dispositivo de magnetómetro mide un campo magnético del elemento resonante como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible. Los sistemas y los métodos de esta memoria descriptiva se proporcionan para un dispositivo de magnetómetro que incluye un elemento resonante que tiene un núcleo interior de material dieléctrico encerrado en un electrodo protector. El dispositivo de acelerómetro mide una aceleración del elemento resonante como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible.

MÉTODOS Y SISTEMAS PARA DISPOSITIVOS MEMS (SISTEMAS MICROELECTROMECÁNICOS) CMOS (SEMICONDUCTOR COMPLEMENTARIO DE ÓXIDO METÁLICO) QUE INCLUYEN UNA BRÚJULA DE MÚLTIPLES HILOS

5

Referencia Cruzada a Solicitudes Relacionadas

Esta solicitud reivindica prioridad sobre la solicitud provisional de patente de EE.UU. nº. 61/511.324 presentada el 25 de julio de 2011, la solicitud provisional de
10 patente de EE.UU. nº 61/606.091 presentada el 2 de marzo de 2012, y la solicitud provisional de patente de EE.UU. nº. 61/646.664 presentada el 14 de mayo de 2012, que se incorporan por referencia en esta memoria en su totalidad.

Antecedentes

15

Los dispositivos de sensores de movimiento tales como magnetómetros y acelerómetros se incrustan típicamente en los aparatos electrónicos actuales. En un aspecto, tales dispositivos se fabrican típicamente utilizando un proceso micro-electromecánico basado en MEMS e incluyen una masa de prueba anclada. Cualquier
20 movimiento de la masa de prueba provoca una variación de capacitancia con respecto a un electrodo de referencia, y la variación es medida para determinar el vector de objetivo, tal como un campo magnético o una aceleración.

Sin embargo, la masa de prueba anclada es típicamente susceptible a la
25 interferencia del entorno tal como campos de dispersión electromagnéticos o electrostáticos u otros efectos como esos. La interferencia puede afectar a la sensibilidad del dispositivo de sensor de movimiento que tiene la masa de prueba y lo hace inadecuado para aplicaciones de alta sensibilidad, por ejemplo, toma de imágenes por resonancia magnética (IRM). La reducida sensibilidad tiene como resultado una
30 menor proporción de señal a ruido (SNR: del inglés *signal-to-noise ratio*) y puede

hacer que las mediciones realizadas utilizando el dispositivo de sensor de movimiento sean imprecisas.

Por consiguiente, existe la necesidad de un dispositivo de sensor de movimiento que sea mínimamente susceptible a la interferencia y ofrezca una alta SNR.

Sumario

Los sistemas y los métodos descritos en esta memoria abordan las deficiencias en la técnica anterior al permitir la fabricación de un dispositivo de sensor de movimiento, ya sea basado en MEMS, basado en NEMS o basado en CMOS MEMS, que es mínimamente susceptible a las interferencias.

En el caso de un dispositivo de magnetómetro en el que un campo magnético objetivo que va a ser medido es más grande que el campo magnético de la tierra (aproximadamente 60 μ T), las necesidades en la sensibilidad del dispositivo de magnetómetro es generalmente bajo. Sin embargo, si el campo magnético objetivo que va a ser medido es pequeño, por ejemplo, en las proximidades o más bajo que el ruido geomagnético (aproximadamente 0,1 nT), puede ser necesario un dispositivo de magnetómetro de alta sensibilidad. Tales dispositivos de magnetómetro se necesitan típicamente en aplicaciones médicas y biomédicas, tales como IRM y etiquetado de moléculas, y comunicaciones de radio, tales como una antena receptora para señales de RF.

25

Los sistemas y los métodos descritos en esta memoria se proporcionan para un dispositivo de magnetómetro que incluye un elemento resonante que tiene un hilo interior encerrado en un electrodo protector. El electrodo protector puede disminuir los efectos indeseados de interferencia en el elemento resonante y mejorar la SNR del dispositivo de magnetómetro. El electrodo protector que encierra el hilo interior

30

también puede permitir una medición más fácil de la variación de capacitancia entre el elemento resonante y un electrodo sensible. Puede aplicarse un voltaje constante al electrodo protector con respecto al electrodo sensible de tal manera que la variación de capacitancia no sea afectada por cualquier caída de voltaje en el hilo interior. Sin el electrodo protector, la caída de voltaje debida al flujo de corriente y la resistencia del hilo interior pueden inducir una fuerza electrostática y/o una interferencia electrostática. Estos pueden interferir con la variación de capacitancia e introducir errores en la medición de un campo magnético objetivo.

En un aspecto, los sistemas y los métodos descritos en esta memoria se proporcionan para un dispositivo de magnetómetro. Un electrodo sensible se dispone dentro del dispositivo de magnetómetro, y un elemento resonante se dispone próximo al electrodo sensible. El elemento resonante incluye un electrodo protector dispuesto alrededor de un hilo interior. El dispositivo incluye además una fuente para generar corriente que está conectada al elemento resonante. La corriente, cuando se aplica a través del hilo interior, provoca un desplazamiento del elemento resonante perpendicular al campo magnético. El dispositivo de magnetómetro mide un campo magnético del elemento resonante como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible.

En algunas realizaciones, el dispositivo incluye además una pluralidad de elementos resonantes dispuestos próximos al elemento resonante presente, y una pluralidad de hilos de guía dispuestos próximos a los elementos resonantes. Los hilos de guía conectan eléctricamente los elementos resonantes de tal manera que la misma corriente se propague por todos los elementos resonantes. En algunas realizaciones, la corriente aplicada al elemento resonante es periódica.

En algunas realizaciones, el dispositivo incluye una fuente de voltaje conectada al electrodo protector que aplica un voltaje constante al electrodo protector. En algunas realizaciones, dos o más elementos resonantes se acoplan mecánicamente de

tal manera que compartan una frecuencia resonante. El acoplamiento mecánico de los elementos resonantes puede incluir conectar físicamente su respectivo electrodo protector con material conductor.

5 En algunas realizaciones, el electrodo sensible está orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante que se produce en el plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección Z. En algunas realizaciones, el electrodo sensible está orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante que se produce fuera del plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección X o Y. En algunas realizaciones, la orientación del
10 elemento resonante para mediciones en la dirección X es ortogonal a la orientación del elemento resonante para mediciones en la dirección Y. En algunas realizaciones, dos o más electrodos sensibles están orientados de tal manera que miden el desplazamiento del elemento resonante en múltiples direcciones. Por ejemplo, dos
15 electrodos sensibles pueden estar orientados para medir el desplazamiento del elemento resonante en las direcciones X y Z.

 En algunas realizaciones, el electrodo sensible está soportado por lo menos en unas orillas del dispositivo mediante una pluralidad de distribuciones densas de
20 columnas. En algunas realizaciones, cada columna está en contacto con sólo uno de entre el electrodo sensible y un electrodo inferior. En algunas realizaciones, cada columna está en contacto a la vez con el electrodo sensible y el electrodo inferior.

 En algunas realizaciones, el electrodo sensible está rodeado por un electrodo
25 protector para minimizar la capacitancia parasitaria. En algunas realizaciones, un electrodo superior y un electrodo inferior del dispositivo están conectados mediante dos columnas que tienen óxido en medio, recibiendo con ello soporte para el electrodo superior desde las dos columnas. En algunas realizaciones, puede utilizarse una pluralidad de dispositivos de resonador para formar una brújula tridimensional, un
30 acelerómetro o cualquier otro dispositivo adecuado.

En otro aspecto, los sistemas y los métodos descritos en esta memoria proporcionan un dispositivo de magnetómetro. Una fuente para generar una corriente dispuesta dentro del dispositivo de magnetómetro, y una pluralidad de elementos resonantes se disponen próximos a la fuente. Sólo uno de los elementos resonantes está conectado a la fuente. El dispositivo incluye además una pluralidad de hilos de guía dispuestos próximos a los elementos resonantes. Los hilos de guía conectan eléctricamente los elementos resonantes de tal manera que la corriente aplicada en el elemento resonante conectado a la fuente se propaga a través de los elementos resonantes. Los hilos de guía pueden disponerse de tal manera que no afecten la variación de capacitancia. Por ejemplo, el resultado puede conseguirse disponiendo hilos metálicos sin soltar. Esto puede asegurar que el desplazamiento (y la variación de capacitancia) respecto los hilos de guía no cancela la variación de capacitancia de tal manera que la variación neta de la capacitancia se haga cero.

15

En incluso otro aspecto, los sistemas y los métodos descritos en esta memoria se proporcionan para un dispositivo de acelerómetro. Un electrodo sensible se dispone dentro del dispositivo de acelerómetro, y un elemento resonante se dispone próximo al electrodo sensible. El elemento resonante incluye un electrodo protector dispuesto alrededor de un núcleo interior de material dieléctrico. El dispositivo incluye además una fuente para generar un voltaje. La fuente está conectada al elemento resonante y aplica el voltaje. El dispositivo de acelerómetro mide una aceleración externa del elemento resonante como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible. El desplazamiento puede producirse debido a la aceleración externa, mientras que el voltaje puede ser aplicado para medir la variación de capacitancia.

20
25

En incluso otro aspecto más, los sistemas y los métodos descritos en esta memoria se proporcionan para un chip que comprende un dispositivo de MEMS dispuesto en un circuito integrado. El chip incluye elementos electrónicos formados

30

sobre un sustrato de material semiconductor y una pila de capas de interconexión producidas por encima del sustrato de material semiconductor. Las capas de interconexión incluyen una pluralidad de capas de material conductor. Cada capa de material conductor está separada por una capa de material dieléctrico. El dispositivo de MEMS se forma dentro de la pila de capas de interconexión aplicando HF (fluoruro de hidrógeno) gaseoso a la pila de capas de interconexión. El dispositivo de MEMS incluye un electrodo protector de material conductor dispuesto alrededor de un núcleo interior de material dieléctrico.

Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características de los sistemas y los métodos descritos en esta memoria descriptiva pueden ser apreciadas a partir de la siguiente descripción, que proporciona una descripción no limitativa de las realizaciones ilustrativas, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 representa una sección transversal esquemática de un dispositivo de sensor de movimiento de la técnica anterior;

La Fig. 2 representa una sección transversal esquemática de un dispositivo de sensor de movimiento, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 3A representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 3B representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes, según otra realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 4 representa un flujo esquemático de una corriente a través de una pluralidad de elementos resonantes, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 5A representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que
5 tiene una pluralidad de elementos resonantes y los correspondientes hilos de guía, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 5B representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que
tiene un elemento resonante y los correspondientes hilos de guía, según una
10 realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 6 representa una pluralidad de elementos que están acoplados mecánicamente, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 7A representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que
15 tiene una pluralidad de elementos resonantes que están acoplados mecánicamente, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 7B representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que
20 tiene una pluralidad de elementos resonantes que están acoplados mecánicamente, según otra realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 8A representa una orientación esquemática para un elemento resonante,
según una realización ilustrativa de la invención;
25

La Fig. 8B representa una orientación esquemática para un elemento resonante,
según otra realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 8C representa una orientación esquemática para un elemento resonante,
30 según incluso otra realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 9 representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes y anclajes de soporte, según una realización ilustrativa de la invención;

5

La Fig. 10 representa una sección transversal de un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes y anclajes de soporte, según otra realización ilustrativa de la invención;

10

La Fig. 11A representa una sección transversal de un primer conjunto de etapas de flujo de proceso para fabricar un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes, según una realización ilustrativa de la invención;

15

La Fig. 11B representa una sección transversal de un segundo conjunto de etapas de flujo de proceso para fabricar un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes, según una realización ilustrativa de la invención;

20

La Fig. 11C representa una sección transversal de un tercer conjunto de etapas de flujo de proceso para fabricar un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes, según una realización ilustrativa de la invención;

La Fig. 12A representa una vista esquemática de un dispositivo de MEMS que tiene un dedo delgado, según una realización ilustrativa de la invención; y

25

La Fig. 12B representa una vista esquemática de un dispositivo de MEMS que tiene un dedo delgado, según otra realización ilustrativa de la invención.

Descripción detallada de unas realizaciones

Para proporcionar una comprensión total de los sistemas y los métodos descritos en esta memoria descriptiva, ahora se describirán determinadas realizaciones ilustrativas. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá que los sistemas y los métodos descritos en esta memoria pueden ser adaptados y ser modificados según sea apropiado para la aplicación que se está abordando y que los sistemas y los métodos descritos en esta memoria pueden ser empleados en otras aplicaciones adecuadas, y que esas otras adiciones y modificaciones no se apartarán del alcance de la misma.

La Fig. 1 representa una sección transversal esquemática ilustrativa de un dispositivo 100 de sensor de movimiento de la técnica anterior. El dispositivo 100 incluye un elemento resonante en forma de masa de prueba 102, que se ancla mediante resortes 104. La masa de prueba 102 está dispuesta en las proximidades de un electrodo sensible 106. En algunas realizaciones, el dispositivo 100 funciona como un magnetómetro, por ejemplo, un magnetómetro basado en fuerza de Lorentz o una brújula, que es un caso específico de un magnetómetro. Tal magnetómetro depende del movimiento mecánico de la masa de prueba 102 debido a la fuerza de Lorentz que actúa sobre la masa de prueba cuando se aplica una corriente a la masa de prueba 102 en presencia de un campo magnético objetivo. La masa de prueba 102 puede ser llevada a su resonancia con el fin de obtener la señal de salida máxima. El movimiento mecánico de la masa de prueba 102 puede ser sentido ya sea de manera electrónica u óptica. Puede utilizarse un método de transducción piezorresistiva y electrostática para la detección electrónica. Puede utilizarse medición del desplazamiento con fuente láser o fuente LED para la detección óptica.

Se aplica una corriente a la masa de prueba 102 en presencia del campo magnético objetivo. La corriente aplicada puede ser monótona o periódica. Como resultado, la masa de prueba 102 exhibe un movimiento con respecto al electrodo

- 10

-

sensible 106, provocando una variación de capacitancia entre la masa de prueba 102 y el electrodo sensible 106. En una realización, la variación de capacitancia puede ser medida utilizando un amplificador de carga que produce un voltaje proporcional a la capacitancia entre la masa de prueba 102 y el electrodo sensible 106. El voltaje de salida del amplificador de carga puede ser conectado a un comparador que compara el voltaje de salida correspondiente a la nueva capacitancia con un voltaje de referencia correspondiente a la capacitancia original. El voltaje de referencia y el voltaje de salida pueden ser recibidos en forma analógica o digital en un procesador para calcular el campo magnético objetivo. En otra realización, la variación de capacitancia es producida como una corriente y se calcula sobre la base de corrientes de salida y de referencia.

Sin embargo, el dispositivo de sensor de movimiento antes descrito puede ser susceptible a la interferencia de campos de dispersión electromagnéticos o electrostáticos u otros efectos similares, llevando a una menor sensibilidad. Además, la interferencia del ruido Browniano debido al medio aéreo presente dentro del dispositivo puede afectar aún más a la sensibilidad del dispositivo. Por ejemplo, la interferencia puede afectar a la variación de capacitancia entre la masa de prueba 102 y el electrodo sensible 106. Como resultado, el campo magnético objetivo puede ser medido interpretando incorrectamente el dispositivo inadecuado para su finalidad pretendida.

Una realización ilustrativa de un dispositivo de sensor de movimiento para abordar tal interferencia se representa en la Fig. 2. La Fig. 2 representa una sección transversal esquemática ilustrativa de un dispositivo 200 de sensor de movimiento. El dispositivo 200 incluye un elemento resonante que tiene un hilo 202 encerrado en óxido 204 y un electrodo protector 206, además del electrodo sensible 208. La estructura mecánica representada incluye óxido 204 y un electrodo protector 206 protege el hilo 202 de efectos de interferencia. La estructura mecánica puede actuar además como un protector eléctrico entre el electrodo sensible 208 y el hilo 202. La

estructura mecánica también puede actuar como una barrera mecánica contra agentes de ataque químico utilizados durante el proceso de fabricación de un CMOS. Dado que el hilo 202 está incrustado en el óxido, su límite de electro-migración no cambia. La estructura mecánica puede incluir una mezcla de uno o más metales y óxido. Además, puede disminuir la no coincidencia del coeficiente de expansión térmica (CTE) entre el elemento resonante y la oblea subyacente, produciendo una mejor robustez frente a la temperatura. En algunas realizaciones, una fuente de voltaje se conecta a la estructura mecánica para aplicar un voltaje constante. La estructura mecánica permite un punto eléctrico extra que pueda ser fijado en un voltaje deseado que facilita el diseño electrónico.

En algunas realizaciones, el dispositivo 200 incluye múltiples hilos incrustados en óxido. Los hilos pueden conectarse en serie a través de hilos de guía incluidos en el dispositivo 200. La corriente de Lorentz por un hilo interacciona con el campo magnético y crea una fuerza magnética que excita la vibración de la estructura. Conectar los hilos en serie puede crear un efecto multiplicativo en la fuerza de Lorentz, logrando altas prestaciones con un valor bajo de corriente. Como resultado, puede ser necesaria sólo una fuente eléctrica para suministrar corriente a los hilos en el dispositivo 200. En una realización, los hilos se conectan en paralelo. La corriente puede dividirse entre los hilos que necesitan que se introduzca una mayor corriente en comparación con la configuración en serie. En la configuración en serie, la corriente puede propagarse por los hilos resonantes en el mismo sentido. De otro modo si alguno de los hilos resonantes tenía corriente fluyendo en sentido opuesto a otros hilos resonantes, pueden anularse los efectos entre sí. Los hilos de guía pueden garantizar que tal cancelación no tenga lugar, que puede ser el caso si los hilos resonantes estaban conectados simplemente de punta a punta sin hilos de guía.

En algunas realizaciones, el electrodo protector 206 puede incluir un dedo o vía delgados en su superficie frente al electrodo sensible 208. El dedo delgado puede fabricarse como una vía que no tiene metal dispuesto encima de la misma. Como tal,

el dedo delgado se deposita en esencia como un saliente en la superficie del electrodo sensible 208. Dado que el dedo delgado está dispuesto más cerca del electrodo sensible 208, puede ayudar a aumentar la variación de capacitancia entre el electrodo protector 206 y el electrodo sensible 208 con respecto a un desplazamiento semejante del electrodo protector 206. En algunas realizaciones, el movimiento del dedo delgado también produce un cambio topológico a causa de que el dedo delgado entra en la cavidad del electrodo sensible 208, que entonces se añade a la capacitancia de sus paredes así como a la superficie. Como resultado, la variación de capacitancia por el desplazamiento vertical puede ser más alta, y por consiguiente la presión electrostática puede ser más alta también.

Ambos dispositivos 100 y 200 pueden configurarse para funcionar como magnetómetros, acelerómetros o cualquier otro dispositivo adecuado de sensor. Pueden fabricarse utilizando el proceso de nanoEMSTM descrito en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. poseída comúnmente n°. 2010/0295138, titulada “Métodos y Sistemas para la Fabricación de Dispositivos de MEMS CMOS”, y por la presente incorporada a modo de referencia en su totalidad.

La Fig. 3A representa una sección transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 300 que tiene una pluralidad de elementos resonantes y un electrodo sensible 308. En algunas realizaciones, el dispositivo de MEMS 300 incluye alrededor de 50 a 100 elementos resonantes. Cada elemento resonante incluye un hilo 302 incrustado en óxido 304. El elemento resonante también incluye un electrodo protector 306 hecho de material conductor. En una realización, el dispositivo de MEMS 300 está configurado para ser un magnetómetro. Cuando se aplica una corriente al elemento resonante en presencia de un campo magnético objetivo, el elemento resonante puede exhibir un movimiento con respecto al electrodo sensible 308, causando una variación de capacitancia entre el elemento resonante y el electrodo sensible 308. En una realización, la variación de capacitancia puede ser medida utilizando un amplificador de carga que produce un voltaje proporcional a la capacitancia entre el elemento

resonante y el electrodo sensible 308. Pueden incluirse múltiples elementos resonantes o distribuciones para que haya redundancia y/o para medir el campo magnético en múltiples dimensiones. Por ejemplo, cada uno de tres elementos resonantes puede medir el campo magnético en las direcciones X, Y, y Z. En alguna
5 realización, la electrónica de detección para el magnetómetro incluye un amplificador de transimpedancia (que convierte corriente en voltaje).

El elemento resonante puede incluir más de un hilo. Esto se ilustra en el dispositivo de MEMS 350 de la Fig. 3B. La Fig. 3B representa una sección
10 transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 350 que tiene una pluralidad de elementos resonantes. Cada elemento resonante incluye unos hilos 352 y 354 incrustados en óxido 356. En algunas realizaciones, cada elemento resonante incluye hasta alrededor de doce elementos resonantes. El elemento resonante también incluye un electrodo protector 358 hecho de material conductor. En una realización, el
15 dispositivo de MEMS 350 está configurado para ser un magnetómetro. Cuando se aplica una corriente al elemento resonante en presencia de un campo magnético objetivo, el elemento resonante puede exhibir un movimiento con respecto al electrodo sensible 360, causando una variación de capacitancia entre el elemento resonante y el electrodo sensible 360. En una realización, la variación de capacitancia puede ser
20 medida utilizando un amplificador de carga que produce un voltaje proporcional a la capacitancia entre el elemento resonante y el electrodo sensible 360. Pueden incluirse múltiples elementos resonantes o distribuciones para que haya redundancia y/o para medir el campo magnético en múltiples dimensiones. Por ejemplo, cada uno de tres elementos resonantes puede medir el campo magnético en las direcciones X, Y, y Z.

25

En algunas realizaciones, se pueden conectar múltiples hilos incrustados en óxido de un elemento resonante en serie mediante hilos de guía dispuestos en el dispositivo de MEMS. La corriente de Lorentz a través de cada hilo interactúa con el campo magnético y puede crear una fuerza magnética que excita la vibración del
30 elemento resonante. Conectar los hilos en serie puede crear un efecto multiplicativo

en la fuerza de Lorentz, logrando altas prestaciones con un valor bajo de corriente. Como resultado, puede ser necesaria sólo una fuente eléctrica para suministrar corriente a los hilos en el elemento resonante. La fuente eléctrica puede ser una fuente de corriente, una fuente de voltaje o cualquier otra fuente adecuada. La corriente
5 puede propagarse en el mismo sentido en todos los elementos resonantes.

Ambos dispositivos 300 y 350 pueden configurarse para funcionar como magnetómetros, acelerómetros o cualquier otro dispositivo adecuado de sensor. Pueden fabricarse utilizando el proceso de nanoEMSTM descrito en la publicación de
10 solicitud de patente de EE.UU. poseída comúnmente n°. 2010/0295138, titulada “Métodos y Sistemas para la Fabricación de Dispositivos de MEMS CMOS”, y por la presente incorporada a modo de referencia en su totalidad.

La Fig. 4 representa un flujo esquemático ilustrativo 400 de corriente a través
15 de una pluralidad de hilos 402. Los hilos 402 pueden incrustarse en óxido de un solo elemento resonante o pueden esparcirse por múltiples elementos resonantes. Los hilos 402 pueden variar de aproximadamente 300 a aproximadamente 400 μm de largo. En algunas realizaciones, los hilos 402 pueden ser aproximadamente de 800 μm de largo. En cualquier caso, los hilos 402 se conectan en serie mediante los hilos de guía 404 y
20 requieren sólo una fuente eléctrica para propagar la corriente a través de los hilos 402. Los hilos 404 conectados en serie funcionan como un solo elemento resonante y pueden permitir un requisito de corriente baja (por ejemplo, inferior a 1 mA) para un dispositivo de sensor de movimiento que tiene tal configuración. La corriente puede propagarse en el mismo sentido en todos los elementos resonantes.

25

Las Figs. 5A y 5B representan unas secciones transversales ilustrativas de dispositivos de MEMS que tienen elementos resonantes conectados en serie. La Fig. 5A representa una sección transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 500 que tiene una pluralidad de elementos resonantes y unos correspondientes hilos de guía.
30 Cada elemento resonante incluye un hilo 502 incrustado en óxido. Cada elemento

resonante también incluye un electrodo protector hecho de material conductor. Los hilos 502 para los elementos resonantes se conectan en serie a través de hilos de guía 504. La Fig. 5B representa una sección transversal ilustrativa de otro dispositivo de MEMS 550 que tiene un elemento resonante y unos correspondientes hilos de guía.

5 En esta realización, el elemento resonante incluye múltiples hilos 552 incrustados en óxido. El elemento resonante también incluye un electrodo protector hecho de material conductor. Los hilos 552 para los elementos resonantes se conectan en serie a través de hilos de guía 554. Los hilos de guía 504 o 554 pueden disponerse debajo de los elementos resonantes como se ilustra en las Figs. 5A y 5B, o pueden disponerse en

10 cualquier otra parte adecuada del dispositivo de MEMS según sea necesario. La corriente puede propagarse en el mismo sentido en los hilos 502 o 552. Los hilos de guía 504 o 554 pueden ser hilos metálicos sin soltar de tal manera que no cancelen sus efectos acumulados de fuerza.

15 Como se ha comentado antes, conectar los hilos en serie puede permitir altas prestaciones del dispositivo de MEMS con un valor bajo de corriente. Como resultado, puede ser necesaria sólo una fuente eléctrica para suministrar corriente a los hilos en el elemento resonante. La fuente eléctrica puede ser una fuente de corriente, una fuente de voltaje o cualquier otra fuente adecuada. En algunas realizaciones, los

20 hilos 502 o 552 pueden conectarse en paralelo o una combinación que incluye configuraciones en serie y en paralelo.

En una realización, dispositivo de MEMS 500 o 550 está configurado para ser un magnetómetro. Cuando se aplica una corriente al elemento resonante en presencia

25 de un campo magnético objetivo, cada elemento resonante puede exhibir un movimiento con respecto a electrodo sensible, provocando una variación de capacitancia entre el elemento resonante y el electrodo sensible. En una realización, la variación de capacitancia puede ser medida utilizando un amplificador de carga que produce un voltaje proporcional a la capacitancia entre el elemento resonante y el

30 electrodo sensible. En algunas realizaciones, se utiliza un amplificador de

transimpedancia para medir la variación de capacitancia para un dispositivo de brújula de MEMS.

5 Ambos dispositivos 500 y 550 pueden configurarse para funcionar como magnetómetros, acelerómetros o cualquier otro dispositivo adecuado de sensor. Pueden fabricarse utilizando el proceso de nanoEMSTM descrito en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. poseída comúnmente n°. 2010/0295138, titulada “Métodos y Sistemas para la Fabricación de Dispositivos de MEMS CMOS”, y por la presente incorporada a modo de referencia en su totalidad.

10

 En algunas realizaciones, las estructuras mecánicas de múltiples elementos resonantes se acoplan mecánicamente de tal manera que vibran con una sola frecuencia resonante. Este puede ser el caso incluso si la frecuencia resonante de cada elemento resonante es ligeramente diferente. Esto permite a los elementos resonantes interferir de una manera constructiva y la corriente sentida puede ser maximizada. La Fig. 6 representa una estructura mecánica ilustrativa 600 que tiene una pluralidad de elementos resonantes 602 que se acoplan mecánicamente. Los N elementos resonantes (con rigidez de K_1 a K_N) pueden unirse a través de acoplamientos con rigidez K_c . Si $K_c \ll K_1$ y $K_c \ll K_2$ etcétera, los N elementos resonantes vibran en la misma frecuencia comportándose como un solo elemento resonante con rigidez $K_1 + K_2 + \dots + K_N$. El valor bajo de K_c puede ayudar a mantener baja la rigidez acumulada de los elementos resonantes acoplados.

25 En algunas realizaciones, los electrodos protectores de respectivos elementos resonantes pueden ser conectados mediante material conductor para lograr el acoplamiento mecánico. El material conductor puede incluir metales tales como aluminio, cobre o cualquier otro metal adecuado y/o aleaciones tales como una aleación de AlCu. La conexión puede establecerse en varias partes del electrodo protector como se ilustra en las Figs. 7A y 7B. En algunas realizaciones, el material conductor del acoplamiento mecánico puede doblarse al tiempo que permite a cada

30

elemento resonante mantener significativamente su curvatura. Esto puede ayudar a los elementos resonantes acoplados mecánicamente a vibrar en una sola frecuencia resonante. El valor bajo de K_c puede ayudar a asegurar acoplamientos mecánicos blandos para este fin.

5

La Fig. 7A representa una sección transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 700 que tiene una pluralidad de elementos resonantes 702 que se acoplan mecánicamente a través de un material conductor 704. El material conductor 704 conecta los elementos resonantes 702 y puede permitir que los elementos resonantes
10 vibren en una sola frecuencia resonante. La Fig. 7B representa una sección transversal ilustrativa de otro dispositivo de MEMS 750 que tiene una pluralidad de elementos resonantes 752 que se acoplan mecánicamente a través de un material conductor 754. El material conductor 754 conecta los elementos resonantes 752 en una posición diferente a la representada en la Fig. 7A, pero proporcionan una
15 capacidad semejante a los elementos resonantes para vibrar en una sola frecuencia resonante.

Ambos dispositivos 700 y 750 pueden configurarse para funcionar como magnetómetros, acelerómetros o cualquier otro dispositivo adecuado de sensor.
20 Pueden fabricarse utilizando el proceso de nanoEMSTM descrito en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. poseída comúnmente n°. 2010/0295138, titulada “Métodos y Sistemas para la Fabricación de Dispositivos de MEMS CMOS”, y por la presente incorporada a modo de referencia en su totalidad.

25 La Fig. 8A representa una orientación esquemática ilustrativa 800 para el elemento resonante 802. Un dispositivo de MEMS que incluye un elemento resonante 802 tiene el electrodo sensible orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante 802 que se produce fuera del plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección X. La Fig. 8B representa una orientación
30 esquemática ilustrativa 840 para el elemento resonante 842. Un dispositivo de MEMS

que incluye un elemento resonante 842 tiene el electrodo sensible orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante 842 que se produce fuera del plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección Y. La Fig. 8C representa una orientación esquemática ilustrativa 880 para el elemento resonante 882.

5 Un dispositivo de MEMS que incluye un elemento resonante 882 tiene el electrodo sensible orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante que se produce en el plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección Z. En algunas realizaciones, una pluralidad de tales elementos resonantes o distribuciones y los correspondientes electrodos sensibles pueden incluirse en un

10 dispositivo de MEMS para formar un magnetómetro tridimensional.

La Fig. 9 representa una sección transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 900 que tiene una pluralidad de elementos resonantes 902 y unos anclajes de soporte 906. Los elementos resonantes pueden diseñarse de maneras diferentes, por

15 ejemplo, en forma de puentes, vigas voladizas, bobinas o cualquier otra configuración adecuada. Las vigas voladizas pueden ser mucho menos sensibles a variaciones de temperatura que los puentes. Puede ser deseable utilizar este tipo de estructura si se busca mejor robustez frente a la temperatura. Pueden preferirse los puentes si se necesita maximizar la longitud. Esto es porque el Solicitante ha verificado

20 experimentalmente que la tensión residual en las capas metálicas de los procesos de CMOS es generalmente de tensión, y por consiguiente tiende a mantener un gran grado de la planitud en los puentes. Por ejemplo, los puentes pueden utilizarse para construir un magnetómetro en el que se necesita que la corriente fluya en un sentido todo el tiempo. Dado que los puentes se conectan en serie, la corriente fluirá sólo en

25 un sentido (debido a los hilos de guía) y están bien adaptados para construir un magnetómetro. Sin embargo, si la limitación es reducir la no coincidencia de frecuencia para maximizar el factor de calidad, Q, de la distribución, entonces una estructura de tipo viga voladiza puede ser una mejor opción.

Adicionalmente, la configuración propuesta puede necesitar unos anclajes 906 para soportar el electrodo sensible 904, y asegurar que el electrodo sensible 904 no dobla ni daña el dispositivo de MEMS. Los anclajes 906 pueden ocupar espacios variables en un dado determinado. Por ejemplo, el área ocupada de dado para un conjunto determinado de anclajes puede ser aproximadamente de 10 μm x 10 μm . En otro ejemplo, el área ocupada de dado puede ser aproximadamente de 5 μm x 5 μm . Este conjunto de anclajes permite una distribución más densa de conjuntos de anclajes. Cuanto más gruesos son los anclajes, más conjuntos de anclajes se pueden colocar en un espacio determinado de dado. Más anclajes por área también pueden permitir tapar más capacitancia parasitaria. El mejor resultado puede obtenerse minimizando la distancia entre conjuntos de anclajes de modo que el área total en el dado dedicado a los anclajes pueda reducirse. Adicionalmente, los anclajes delgados ocupan menos espacio y permiten más espacio para que el propio dispositivo de MEMS sea colocado en el espacio determinado del dado. Los anclajes 906 se construyen de tal manera que estén aislados eléctricamente de la parte superior a la inferior. Los anclajes se fabrican de tal manera que cuando se realiza ataque químico con vapor de HF, tiene que recorrer una trayectoria más larga para grabar el óxido. Como resultado, parte del óxido 908 se queda después del grabado con vapor HF y aísla los anclajes respecto las tapas y/o la capa metálica inferior del dispositivo de MEMS.

20

La Fig. 10 representa una sección transversal ilustrativa de un dispositivo de MEMS 1000 que tiene una pluralidad de elementos resonantes 1002 y unos anclajes de columna de soporte 1008. El término “anclaje” y “columna” puede utilizarse de manera intercambiable en el contexto de esta descripción. El dispositivo de MEMS 1000 difiere del dispositivo de MEMS 900 en determinados aspectos. Por ejemplo, los anclajes de columna 1008 pueden soportar el cubrimiento o capa metálica superior 1006 en el dispositivo de MEMS 1000, por ejemplo, deposición por pulverización (*sputtering*) de Al o cualquier otro cubrimiento delgado adecuado de película, y asegurar que no doble. Sin embargo, los anclajes de columna 1008 son estructuras solo de metal, por ejemplo, columnas de metal y vías. Tales anclajes pueden

30

cortocircuitar el cubrimiento 1006 con la capa metálica inferior del dispositivo de MEMS. Según se ilustra en la Fig. 10, una parte de la pila es reemplazada por material dieléctrico 1010 entre anclajes de columna 1008. La parte del óxido puede tener una forma cuadrada o cualquier otra forma adecuada de tal manera que el óxido no sea grabado por ataque químico. El cubrimiento 1006 no puede tener agujeros de alivio para preservar el óxido de debajo. La combinación de metal y óxido puede proporcionar mejor robustez en comparación con otras implementaciones de anclajes. La robustez mecánica de los anclajes de columna 1008 es independiente del tiempo de grabado por ataque químico. Por lo tanto, incluso largos tiempos de grabado por ataque químico no pueden provocar una disminución en el soporte proporcionado por los anclajes de columna 1008 en el cubrimiento 1006.

El dispositivo de MEMS 1000 difiere del dispositivo de MEMS 900 en otro aspecto. El electrodo sensible 1004 del dispositivo de MEMS 1000 se dispone dentro de la cavidad próxima al elemento resonante 1002 y está protegido eléctricamente del mundo del exterior. Está rodeado por un recinto protector que incluye material conductor del cubrimiento 1006, los anclajes de columna 1008, y la capa inferior del dispositivo de MEMS. Como tal, hay una mínima o ninguna interferencia por campos externos electromagnéticos o electrostáticos. Esto reduce la capacitancia parasitaria en el electrodo sensible 1004 y ayuda además a aumentar el SNR del dispositivo de MEMS 1000 para permitir una sensibilidad más alta. Por ejemplo, el dispositivo de MEMS 1000 puede detectar los cambios incluso más pequeños en un campo magnético objetivo en comparación con el dispositivo de MEMS 900 y permite un alcance dinámico más grande para el campo magnético objetivo. Además, la configuración propuesta puede proporcionar mejor rendimiento durante la fabricación así como permitir elementos resonantes 102 más grandes (o más largos), si así se desea.

Ambos dispositivos 900 y 1000 pueden configurarse para funcionar como magnetómetros, acelerómetros o cualquier otro dispositivo adecuado de sensor.

Pueden fabricarse utilizando el proceso de nanoEMSTM descrito en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. poseída comúnmente n°. 2010/0295138, titulada “Métodos y Sistemas para la Fabricación de Dispositivos de MEMS CMOS”, y por la presente incorporada a modo de referencia en su totalidad. A continuación se describen etapas de flujo de proceso para la fabricación de un dispositivo de MEMS de una distribución a través de un proceso basado en CMOS MEMS, por ejemplo, un proceso nanoEMSTM. Sin embargo, los procesos de fabricación para el dispositivo de MEMS no deben limitarse a procesos basados en CMOS MEMS y pueden incluir procesos basados en MEMS, procesos basados en NEMS y otros procesos adecuados.

10

La Fig. 11A representa una sección transversal ilustrativa de un primer conjunto de etapas de flujo de proceso para fabricar un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes. El grosor de las capas ha sido aumentado. En una realización, el dispositivo de MEMS es fabricado utilizando un proceso estándar de CMOS. En una realización, el dispositivo de MEMS es fabricado en una cavidad formada dentro de capas de interconexión de un chip CMOS. En una realización alternativa, el dispositivo de MEMS es fabricado como un dispositivo de MEMS autónomo. Inicialmente se deposita una capa metálica. La capa metálica puede hacerse de, por ejemplo, aleación metálica de AlCu. Una capa enmascaradora se deposita encima de la capa metálica, y entonces la capa metálica es grabada por ataque químico para formar las placas 1102. Una capa Dieléctrica Metálica Intermedia (IMD) se deposita encima de las placas 1102, seguida por una capa enmascaradora y entonces la capa IMD es grabada por ataque químico y es rellena de metal para formar separadores o vías 1106. En una realización, la capa IMD incluye una capa de óxido no dopado. Se deposita otra capa metálica seguida por una capa enmascaradora depositada encima de la capa metálica, y entonces la capa metálica es grabada por ataque químico para formar las placas 1104. Otra capa IMD se deposita encima de las placas 1104, seguida por una capa enmascaradora y entonces la capa IMD es grabada por ataque químico y es rellena de metal para formar separadores o vías 1108. Las placas 1102 y 1104 y los separadores 1106 y 1108 forman juntos parte del electrodo protector para el

30

elemento resonante. Una capa metálica se deposita sobre los separadores 1108 para formar otra parte del electrodo protector. Otra capa IMD es depositada en el puente 410, seguido por la capa metálica superior 1112. Una capa enmascaradora es depositada en la capa metálica superior 1112. La capa metálica superior 1112
5 entonces es grabada por ataque químico para formar unos agujeros pasantes 1114. Los agujeros pasantes pueden permitir el paso del agente de ataque químico, por ejemplo, HF gaseoso, para grabar por ataque químico el material debajo de la capa metálica superior 1112.

Las Figs. 11B y 11C representan secciones transversales de un segundo y un
10 tercer conjunto de etapas de flujo de proceso para fabricar un dispositivo de MEMS que tiene una pluralidad de elementos resonantes. Un agente de ataque químico, por ejemplo, HF seco, es liberado a través de los agujeros pasantes 1114 en la capa metálica superior 1112. El agente de ataque químico graba por ataque químico parte de las capas IMD para soltar los anclajes y el puente del dispositivo de MEMS, como
15 se muestra en la Fig. 11B. El óxido 1142 de las capas IMD se queda para proporcionar soporte al dispositivo de MEMS. Por último, se deposita una capa de metalización 1182 sobre la capa metálica superior 1112 para sellar el dispositivo de MEMS del ambiente exterior, como se muestra en la Fig. 11C, por ejemplo, mediante normalmente deposición por pulverización (*sputtering*) de Al y modelado. En una
20 realización, el dispositivo de MEMS es fabricado utilizando tecnología de chip integrado basada en MEMS, basada en NEMS o basada en CMOS MEMS.

En algunas realizaciones, se dispone un dispositivo de MEMS en un circuito integrado. Las etapas de flujo del proceso de las Figs. 11A-11C se realizan en las
25 capas de interconexión del circuito integrado. Se producen las capas que forman los elementos eléctricos y/o electrónicos en un sustrato material semiconductor. Se producen las capas de interconexión, incluyendo una capa inferior de material conductor y una capa superior de material conductor, separadas por lo menos por una capa de material dieléctrico. Las capas superiores o las capas de pasivación, hechas
30 con una sub-capa de óxido de silicio y TiN en la parte superior, pueden ser modeladas

para abrir entonces los agujeros necesarios para aplicar el vHF después. Una parte del dispositivo de MEMS se forma dentro de las capas de interconexión aplicando HF gaseoso a la por lo menos una capa de material dieléctrico según las etapas de flujo de proceso descritas con respecto a las Figs. 11A-11C.

5 En algunas realizaciones, un dispositivo de MEMS incluye un elemento resonante que tiene un electrodo protector que incluye un dedo o vía delgada en su superficie frente a un electrodo sensible. El dedo delgado puede aumentar la sensibilidad de los dispositivos de inercia o cualquier dispositivo electrostático, y no se limita a la realización comentada más adelante. El dedo delgado puede fabricarse
10 como una vía que no tiene metal dispuesto encima de la misma. Como tal, el dedo delgado se deposita en esencia como un saliente en la superficie del electrodo sensible. Las Figs. 12A y 12B muestran realizaciones ilustrativas de dispositivos de MEMS 1200 y 1250 que tienen unos dedos delgados. El dispositivo 1200 incluye el electrodo sensible 1202 y el elemento resonante 1204 que tiene un electrodo protector que
15 incluye un dedo delgado 1206 en su superficie frente al electrodo sensible 1202. Similarmente, el dispositivo 1250 incluye el electrodo sensible 1252 y el elemento resonante 1254 que tiene un electrodo protector que incluye un dedo delgado 1256 en su superficie frente al electrodo sensible 1252. Si bien el electrodo sensible 1202 es una estructura de tres lados, el electrodo sensible 1252 incluye cuatro lados. Son
20 posibles muchas variaciones del electrodo sensible como puede establecer un experto en la técnica.

Dado que el dedo delgado 1206 o 1256 está dispuesto más cerca del electrodo sensible 1202 o 1252, puede ayudar a aumentar la variación de capacitancia entre el
25 electrodo resonante 1204 o 1254 y el electrodo sensible 1202 con respecto a un desplazamiento semejante del electrodo resonante. En algunas realizaciones, el movimiento del dedo delgado también produce un cambio topológico a causa de que el dedo delgado entra en la cavidad del electrodo sensible, que entonces se añade a la capacitancia de sus paredes así como a la superficie. Como resultado, la variación de
30 capacitancia por el desplazamiento vertical puede ser más alta, y por consiguiente la

presión electrostática puede ser más alta también. En algunas realizaciones, los dedos son más efectivos cuando la separación vertical es relativamente más grande que la separación lateral. En algunas realizaciones, la potencial mejora de la sensibilidad vertical puede ser de hasta aproximadamente el 550%. Esto puede tener como resultado una reducción lineal de tamaño de hasta aproximadamente 2,35 en el elemento resonante para sensibilidad semejante, por ejemplo, un elemento de diámetro de 42 μm con dedos delgados puede ser de sensibilidad equivalente a un elemento de diámetro de 100 μm sin dedos delgados.

En algunas realizaciones, pueden fabricarse múltiples elementos resonantes en las capas de interconexión y disponerse encima de un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) que puede controlar selectivamente los elementos resonantes. En algunas realizaciones, un solo tipo de dispositivo de MEMS es fabricado encima del ASIC, por ejemplo, un magnetómetro. Determinados dispositivos pueden no ser usados inicialmente y ser reservados para que haya redundancia en caso de fallo de otro dispositivo en uso. En caso de fallo de un dispositivo debido a asuntos durante la fabricación, el dispositivo redundante puede ayudar a mejorar el rendimiento. En caso de fallo de un dispositivo durante el funcionamiento, el dispositivo redundante puede ayudar a mejorar la fiabilidad a largo plazo.

20

En algunas realizaciones, los múltiples elementos resonantes se configuran como sensores de tipos diferentes. Por ejemplo, los elementos resonantes pueden incluir un magnetómetro, un giroscopio y un acelerómetro. En otro ejemplo, los elementos resonantes pueden incluir un magnetómetro de 3D, un giroscopio de 3D y un acelerómetro de 3D. En algunas realizaciones, los elementos resonantes se construyen encima de un ASIC y el ASIC puede cambiar entre cada elemento resonante según sea necesario. Por ejemplo, una célula de sensor de movimiento que se puede configurar puede formarse incluyendo un magnetómetro, un giroscopio y un acelerómetro dentro de las capas de interconexión del ASIC. El controlador ASIC de la célula del sensor movimiento puede seleccionar entonces si la célula de sensor de

30

movimiento debe ofrecer la funcionalidad de un magnetómetro, de un giroscopio o de un acelerómetro. En algunas realizaciones, un sensor híbrido de movimiento se construye con elementos redundantes así como múltiples tipos de dispositivos de sensor de movimiento, ofreciendo de ese modo los beneficios combinados de capacidad de configuración, redundancia y fiabilidad.

Los solicitantes consideran que todas las combinaciones funcionales de las realizaciones descritas en esta memoria son temas que se pueden patentar. Los expertos en la técnica sabrán o serán capaces de determinar, no usando nada más que una experimentación de rutina, muchos equivalentes de las realizaciones y prácticas descritas en esta memoria. Por consiguiente, se entenderá que los sistemas y los métodos descritos en esta memoria no se deben limitar a las realizaciones descritas en esta memoria, pero se ha de entender, a partir de las reivindicaciones siguientes, que se ha de interpretar de manera tan amplia como permita la ley. También cabe señalar que, si bien las reivindicaciones siguientes se disponen de una manera particular de tal manera que determinadas reivindicaciones dependen de otras reivindicaciones, ya sea directa o indirectamente, cualquiera de las reivindicaciones siguientes puede depender de cualquier otra de las reivindicaciones siguientes, ya sea directa o indirectamente para realizar las diversas realizaciones descritas en esta memoria.

Lo que se reivindica es:

Reivindicaciones

1. Un dispositivo de magnetómetro, que comprende:
un electrodo sensible dispuesto dentro del dispositivo de magnetómetro;
5 un elemento resonante dispuesto próximo al electrodo sensible, en donde el elemento resonante incluye un electrodo protector dispuesto alrededor de un hilo interior;
una fuente para generar una corriente conectada al elemento resonante para aplicar la corriente a través del hilo interior provocando con ello un desplazamiento
10 del elemento resonante;
en donde un campo magnético del elemento resonante es medido como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además:
15 una pluralidad de elementos resonantes dispuestos próximos al elemento resonante;
la pluralidad de hilos de guía dispuestos próximos a los elementos resonantes, en donde los hilos de guía conectan eléctricamente los elementos resonantes de tal manera que la corriente se propaga a través de la pluralidad de elementos resonantes
20 en un sentido.
3. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además:
una fuente de voltaje conectada al electrodo protector para aplicar un voltaje constante al electrodo protector con respecto al electrodo sensible.
25
4. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde la corriente es periódica.
5. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde los al menos dos elementos resonantes están mecánicamente acoplados de tal manera que comparten una
30 frecuencia resonante, en donde el acoplamiento mecánico de los al menos dos

elementos resonantes comprende la conexión física de los respectivos electrodos protectores con material conductor.

6. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el electrodo sensible está orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante que se produce en el plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección Z.

7. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el electrodo sensible está orientado con respecto al desplazamiento del elemento resonante que se produce fuera del plano, permitiendo con ello la medición del campo magnético en la dirección X o Y.

8. El dispositivo de la reivindicación 5, en donde la orientación del elemento resonador para mediciones en la dirección X es ortogonal a la orientación del elemento resonador para mediciones en la dirección Y.

9. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el electrodo sensible está soportado por lo menos en unas orillas del dispositivo mediante una pluralidad de distribuciones densas de columnas.

10. El dispositivo de la reivindicación 9, en donde cada columna está en contacto con sólo uno de entre el electrodo sensible y un electrodo inferior.

11. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde el electrodo sensible está rodeado por un electrodo protector para minimizar la capacitancia parasitaria.

12. El dispositivo de la reivindicación 9, en donde un electrodo superior y un electrodo inferior del dispositivo están conectados mediante dos columnas que tienen óxido en medio, recibiendo con ello soporte para el electrodo superior desde las dos columnas.

13. Un dispositivo de magnetómetro, que comprende:
una fuente para generar una corriente dispuesta dentro del dispositivo de magnetómetro;
- 5 una pluralidad de elementos resonantes dispuestos próximos a la fuente, en donde sólo uno de los elementos resonantes está conectado a la fuente;
- una pluralidad de hilos de guía dispuestos próximos a los elementos resonantes, en donde los hilos de guía conectan eléctricamente los elementos resonantes de tal manera que la corriente aplicada al elemento resonante conectado a
- 10 la fuente se propaga a través del resto de elementos resonantes en un sentido.
14. Un dispositivo de acelerómetro, que comprende:
un electrodo sensible dispuesto dentro del dispositivo de acelerómetro;
- un elemento resonante dispuesto próximo al electrodo sensible, en donde el
- 15 elemento resonante incluye un electrodo protector dispuesto alrededor de un núcleo interior de material dieléctrico;
- en donde una aceleración del elemento resonante es medida como una variación de capacitancia entre el electrodo protector y el electrodo sensible.
- 20 15. Un chip que comprende un dispositivo de MEMS dispuesto en un circuito integrado que comprende:
- elementos electrónicos formados en un sustrato de material semiconductor;
- una pila de capas de interconexión, producidas encima del sustrato de material semiconductor, incluyendo una pluralidad de capas de material conductor, cada capa
- 25 está separada por una capa de material dieléctrico; y
- el dispositivo de MEMS formado dentro de la pila de capas de interconexión aplicando HF gaseoso a la pila de capas de interconexión, en donde el dispositivo de MEMS incluye un electrodo protector de material conductor dispuesto alrededor de un núcleo interior de material dieléctrico.

100

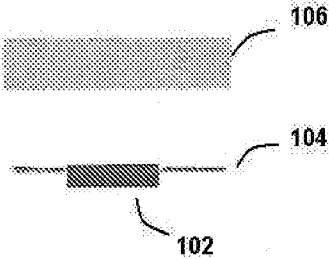


Fig. 1

200

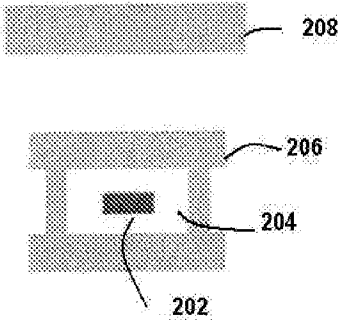


Fig.2

300

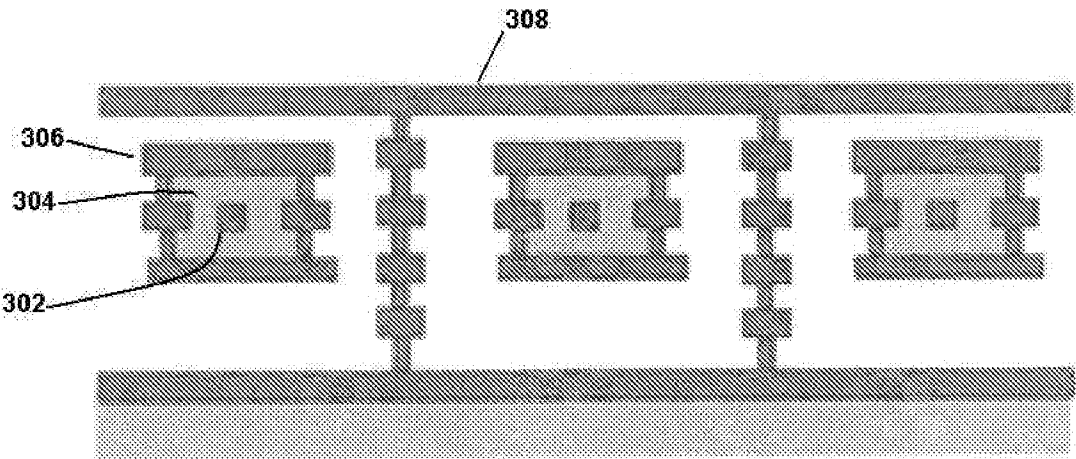


Fig. 3A

350

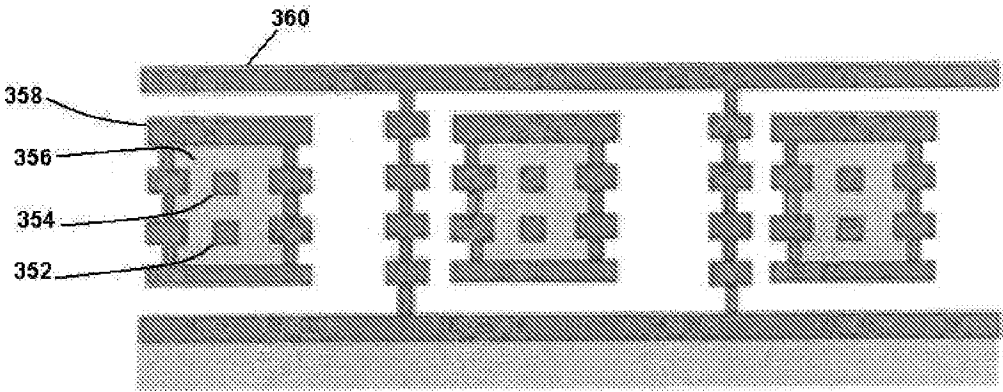


Fig. 3B

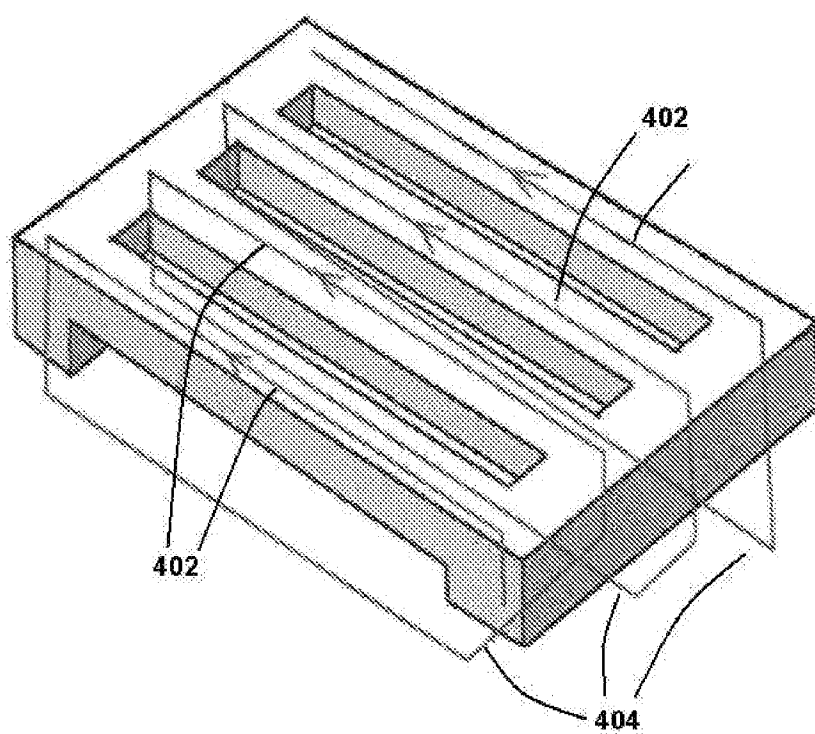
400

Fig. 4

500

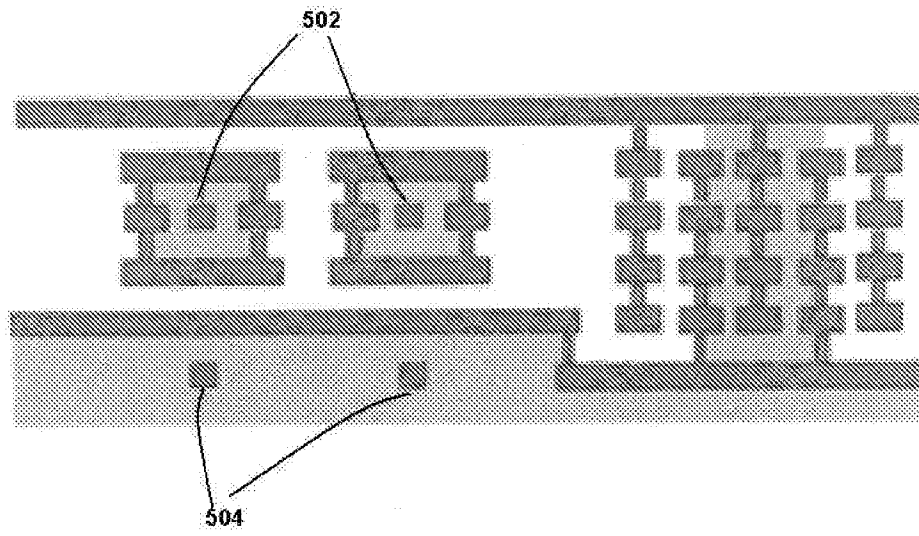


Fig. 5A

550

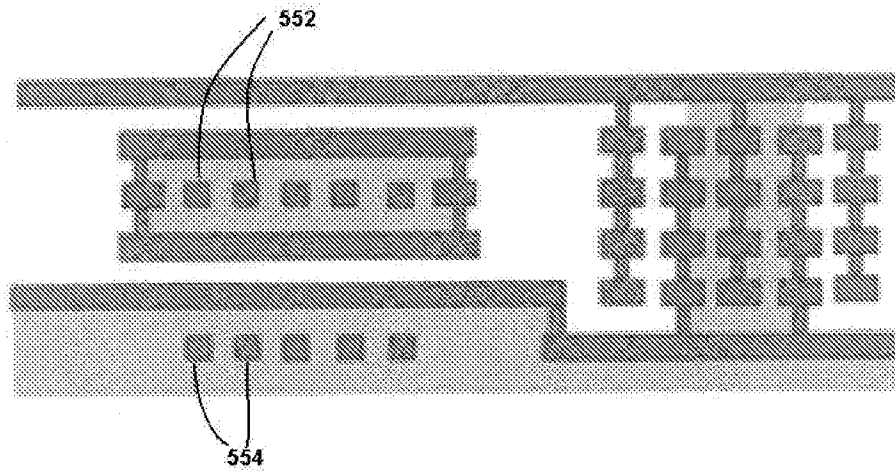


Fig. 5B

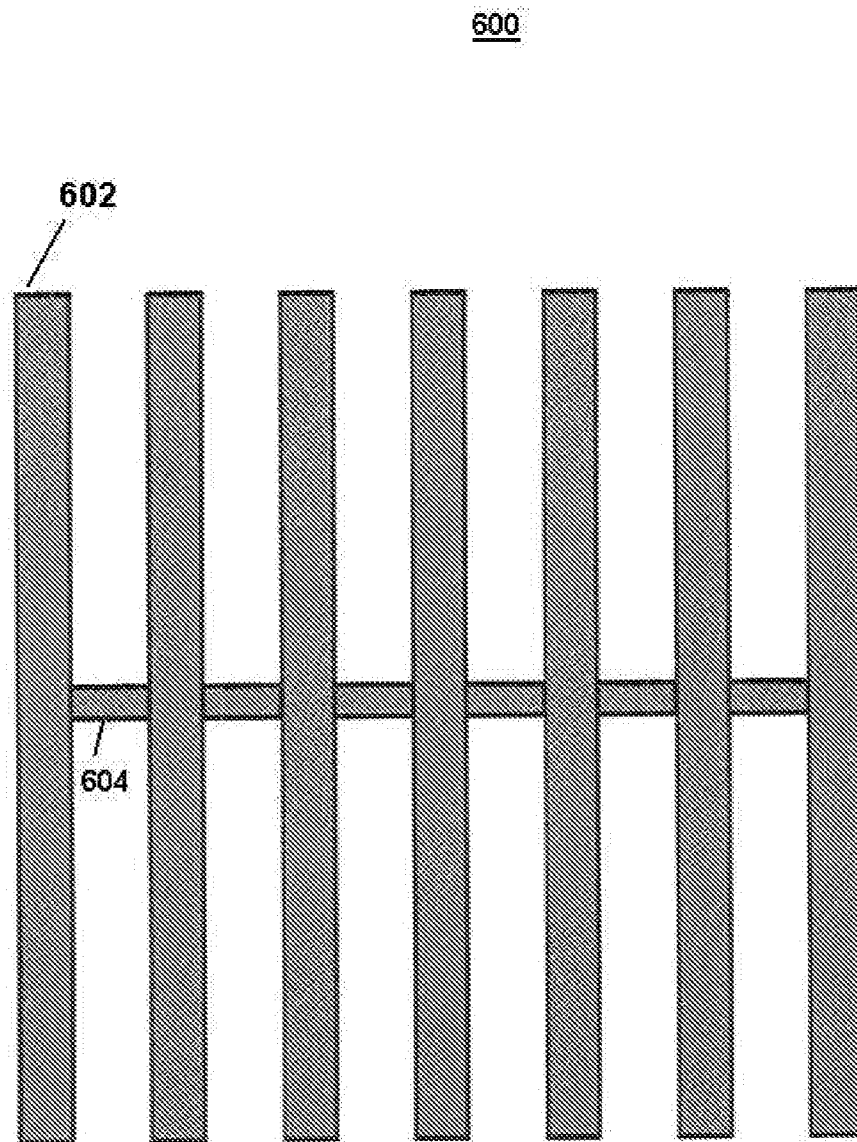


Fig. 6

700

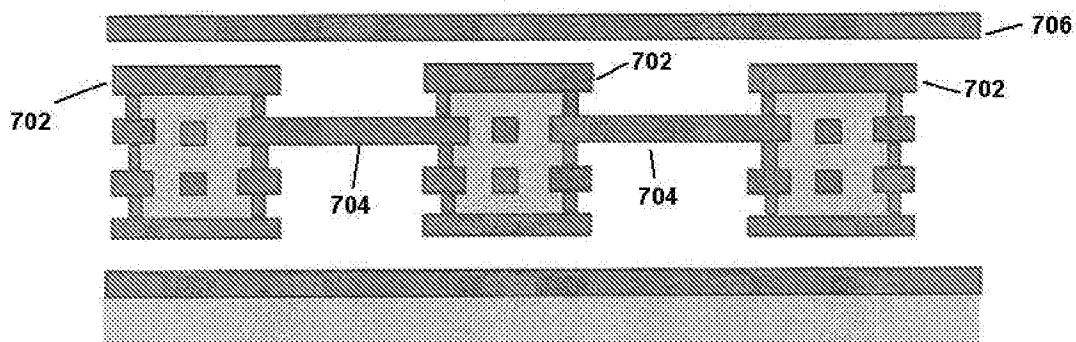


Fig. 7A

750

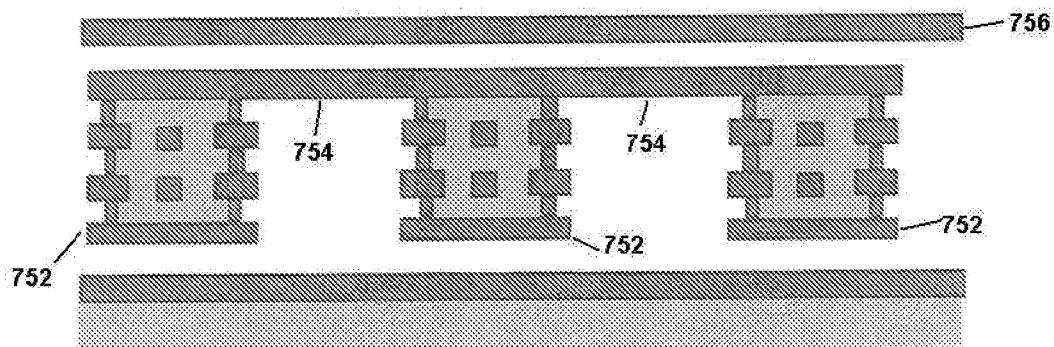


Fig. 7B

800

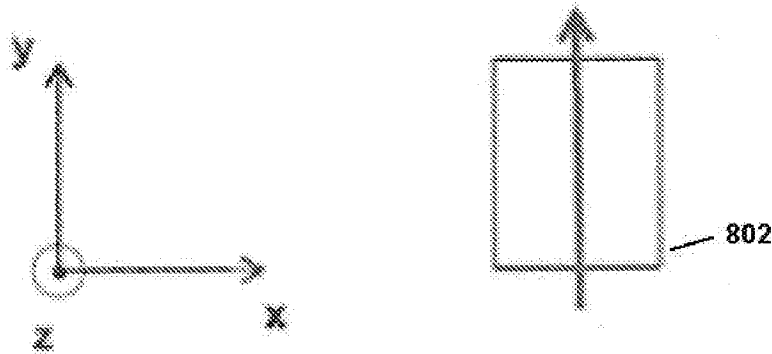


Fig. 8A

840

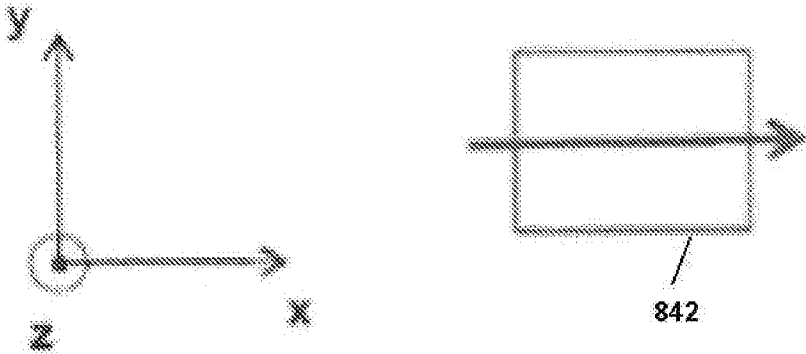


Fig. 8B

880

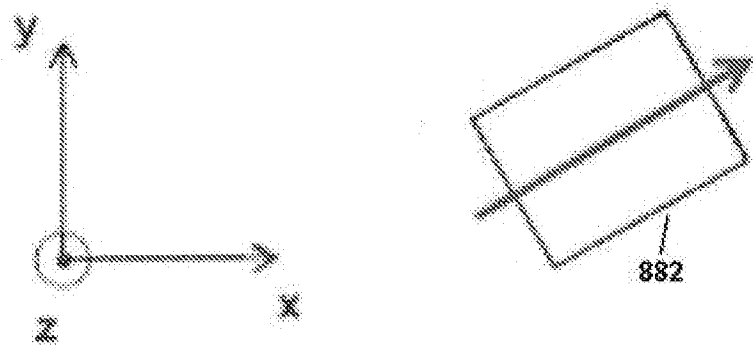


Fig. 8C

900

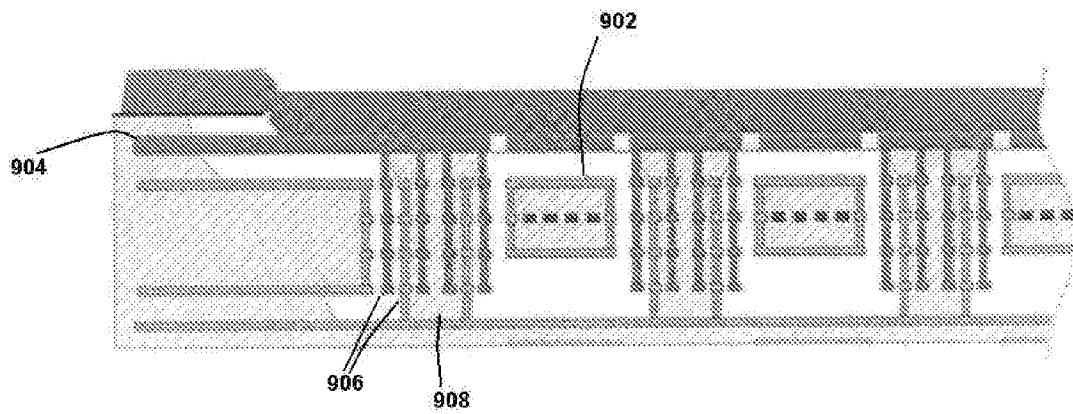


Fig. 9

1000

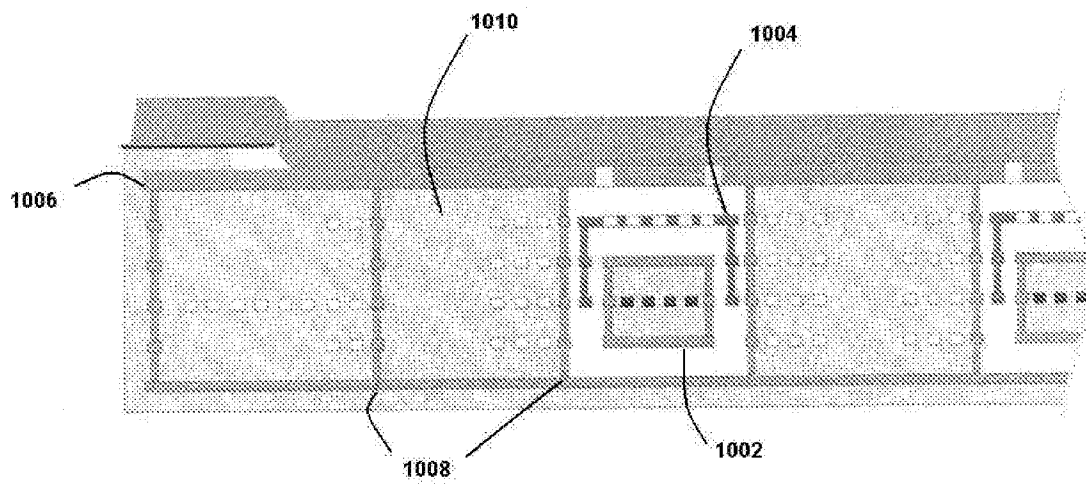


Fig.10

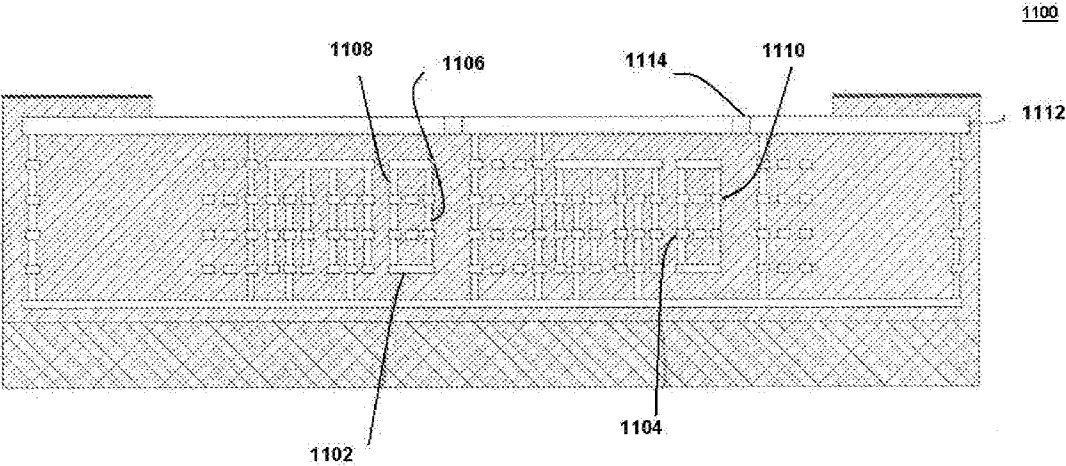


Fig. 11A

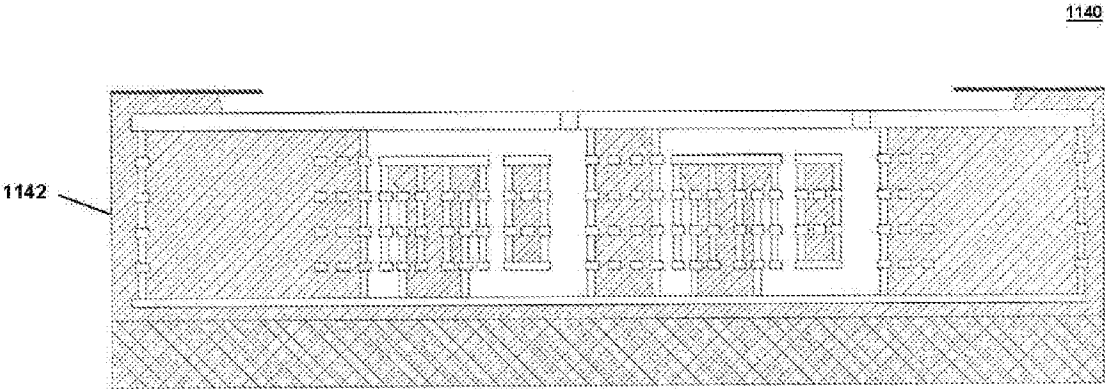


Fig. 11B

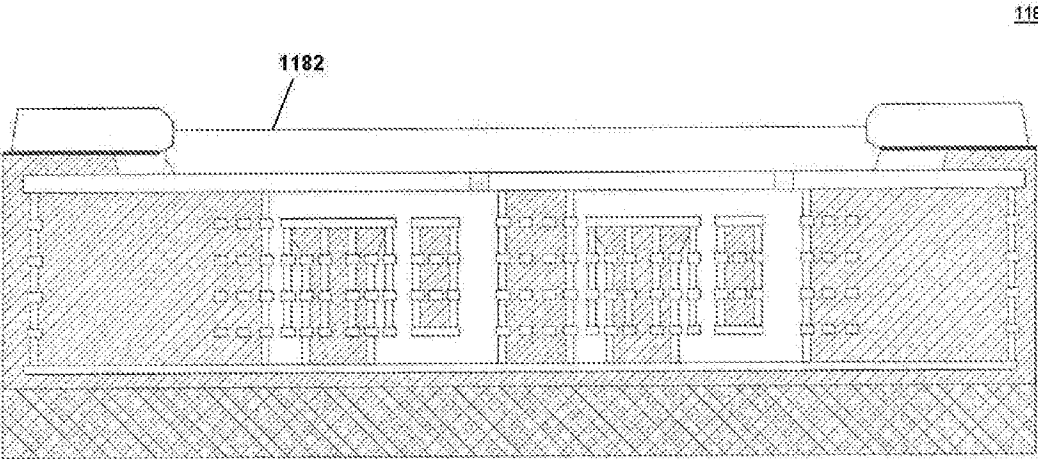


Fig. 11C

1200

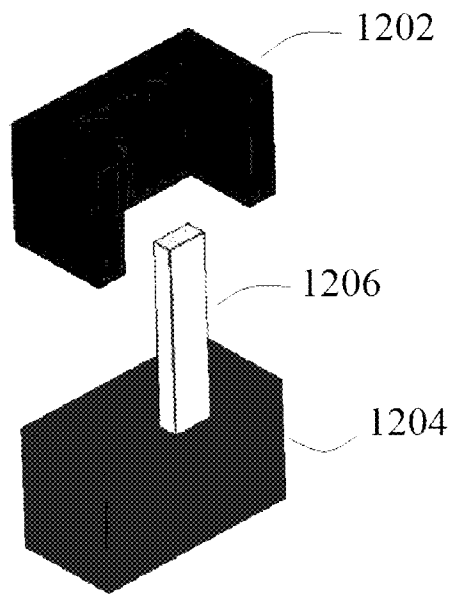


Fig. 12A

1250

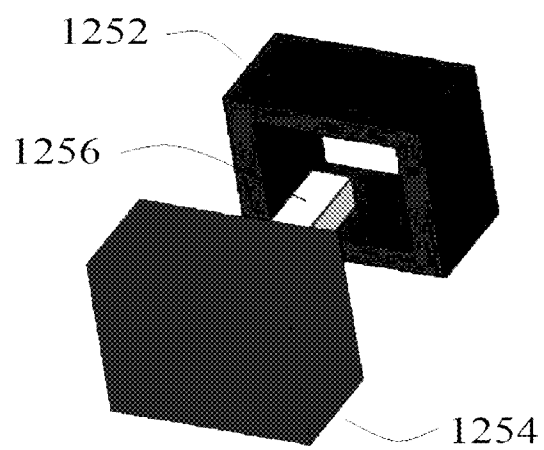


Fig. 12B