

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 412 887**

51 Int. Cl.:

B06B 1/06 (2006.01)

G01N 29/02 (2006.01)

G01N 29/036 (2006.01)

H01L 41/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2007 E 07762595 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 1977224**

54 Título: **Sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitable**

30 Prioridad:

23.01.2006 US 761172 P

11.07.2006 US 807020 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.07.2013

73 Titular/es:

**DREXEL UNIVERSITY (100.0%)
3141 CHESTNUT STREET
PHILADELPHIA, PENNSYLVANIA 191, US**

72 Inventor/es:

**MUTHARASAN, RAJAKKANNU;
MARALDO, DAVID;
CAMPBELL, GOSSETT y
RIJAL, KISHAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 412 887 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

Sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitable

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

- 5 La presente solicitud reivindica la prioridad para la solicitud de patente provisional de los Estados Unidos No. 60/761,172, titulada "sensores piezoeléctricos en voladizo", presentada en enero 23, 2006, y la solicitud de patente provisional estadounidense No. 60/807,020, titulada "sensores piezoeléctricos en voladizo", presentada el 11 de julio, 2006.

Campo técnico

- 10 El campo técnico se relaciona de manera general con sensores, y más específicamente se relaciona con sensores piezoeléctricos en voladizo y con la detección y medición de analitos que utilizan un sensor piezoeléctrico en voladizo.

Antecedentes

- 15 Los sensores en voladizo se pueden dividir ampliamente en dos categorías, dependiendo de las dimensiones del sensor: microvoladizos y macrovoladizos. Los sensores de microvoladizo se pueden utilizar en modo estático (doblado) y dinámico (resonancia). En modo estático, la deformación del brazo de voladizo se mide para determinar si se presenta un analito (sustancia bajo análisis). En modo dinámico, se mide una frecuencia de respuesta para determinar si está presente un analito. Los sensores de macrovoladizo normalmente no se utilizan en modo estático debido a que el doblado del brazo de voladizo es frecuentemente limitado. Los sensores de macrovoladizo se pueden utilizar bajo condiciones de inmersión en líquido o en un gas o vacío. Normalmente, se alcanza mayor
- 20 sensibilidad cuando se utiliza un sensor en voladizo en un gas/ vacío que en un líquido. El amortiguamiento de líquido tiende a afectar adversamente la sensibilidad. Sin embargo, la medición de analitos en medio líquido tiene muchas aplicaciones prácticas.

- 25 Un tipo de sensor de microvoladizo es un sensor de microvoladizo con base en silicio. N sensor microvoladizo con base en silicio normal comprende un microvoladizo que actúa como un resonador. El microvoladizo es accionado por un accionador externo en la base del microvoladizo para generar vibraciones en el resonador. Normalmente, se detectan vibraciones mediante un detector óptico externo. Una desventaja de los microvoladizos basados en silicio normales son los componentes ópticos externos complejos requeridos para detección. Adicionalmente, los medios de detección ópticos limitan desventajosamente la aplicación del sensor en microvoladizo para limpiar ópticamente las muestras. Otra desventaja es la complejidad y el peso añadido al sensor debido al accionador externo. Aún otra
- 30 desventaja es que el accionador externo se puede ubicar sólo en la base del microvoladizo, lo que limita su efectividad al conducir la vibración del voladizo. Una desventaja adicional de los sensores de microvoladizo basados en silicio es que son mecánicamente frágiles. Sin embargo, no se pueden utilizar sensores de microvoladizo basados en silicio en ambientes de alto flujo de líquido. Adicionalmente, los sensores de microvoladizo basados en silicio normales pierden sensibilidad de detección en medio líquido debido al amortiguamiento viscoso.

- 35 Otro tipo de sensor de voladizo, es un sensor piezoeléctrico de voladizo pasado un cuarzo. El cuarzo es un piezoeléctrico débil, y sin embargo, muchos de los sensores de voladizo basados en silicio similares, sensores piezoeléctricos en voladizo basados en cuarzo pierden la sensibilidad de detección en medio líquido debido al amortiguamiento viscoso. Adicionalmente, la sensibilidad de detección de los sensores basados en cuarzo se limita por la geometría plana del sensor.

- 40 Los sensores piezoeléctricos en voladizo convencionales se conocen por ser fabricados con una capa piezoeléctrica unida a una capa no piezoeléctrica sobre parte de la superficie completa de la capa piezoeléctrica. En algunos voladizos piezoeléctricos convencionales, la capa piezoeléctrica se fija en un extremo de tal manera que se excita el material piezoeléctrico, la capa no piezoeléctrica se flexiona para acomodarse a la tensión provocada en el material piezoeléctrico. Cuando la frecuencia de excitación es la misma que la frecuencia natural de la estructura mecánica
- 45 subyacente, se produce la resonancia. Este tipo de sensor piezoeléctrico en voladizo es conocido por operar a menores frecuencias de aproximadamente 100 kHz en tamaño de milímetros. Actualmente, se obtienen mayores frecuencias sólo al fabricar el sensor de voladizo muy corto (menos de 1.0 mm de longitud), muy angosto (menos de 0.1 mm de ancho), y muy delgado (menos de 100 micras de espesor). Sin embargo, al reducir las dimensiones del sensor en voladizo, particularmente el ancho, hace al sensor menos utilizable en un medio líquido debido al
- 50 amortiguamiento viscoso. El amortiguamiento aumenta inversamente con el cuadrado del ancho del voladizo.

Los documentos WO 2005/043126, US2003/224551, EP 1536227, WO98/50773 y US5212988 describen voladizos que tienen capas piezoeléctricas y no piezoeléctricas en donde la capa no piezoeléctrica se une en el extremo cerca a la base.

Resumen

Un aparato de detección y piezoeléctrico de voladizo de autodetección y autoexcitación incluye una capa piezoeléctrica y una capa no piezoeléctrica unida a la capa piezoeléctrica de tal manera que un extremo distal de la capa no piezoeléctrica se extiende más allá de un extremo distal de la capa piezoeléctrica o un extremo distal de la capa piezoeléctrica se extiende más allá de un extremo distal de la capa no piezoeléctrica. Es decir, la capa piezoeléctrica se acopla a la capa no piezoeléctrica de tal manera que la capa piezoeléctrica y la capa no piezoeléctrica no son coextensivas. La porción base no se une a la capa no piezoeléctrica. Los electrodos se asocian funcionalmente con la capa piezoeléctrica. El sensor y piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se utiliza para detectar cambio de masa. Para determinar la masa de un analito en el aparato de detección, se mide la frecuencia de resonancia del elemento mecánico del sensor de voladizo. La frecuencia de resonancia medida se compara con una frecuencia de resonancia inicial para determinar una diferencia en la frecuencia. La diferencia en la frecuencia es indicadora de una masa de un analito en el aparato de detección.

Breve Descripción de los Dibujos

El anterior resumen, así como la siguiente descripción detallada, se comprende mejor cuando se lee en conjunto con los dibujos adjuntos. Para el propósito de ilustrar un sensor piezoeléctrico o en voladizo de autodetección, autoexcitación, se muestran en los dibujos construcciones de ejemplo del mismo; sin embargo, un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no se limita a los métodos específicos e instrumentalidades descritas.

La Figura 1 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

La Figura 2 es una vista de sección transversal de un ejemplo de sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que describe regiones de ubicación de electrodos para electrodos asociados en forma funcional con la capa piezoeléctrica.

La Figura 3 es una vista de sección transversal de un ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que describe la ubicación de electrodos de ejemplo dentro de una porción base del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

La Figura 4 es una vista de sección transversal de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación de ejemplo que describe la ubicación de electrodo de ejemplo no dentro de una porción base del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

La Figura 5 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación en donde el extremo distal de la capa piezoeléctrica está a ras con el extremo distal de la capa no piezoeléctrica.

La Figura 6 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación en donde el extremo distal de la capa piezoeléctrica se extiende más allá del extremo distal de la capa no piezoeléctrica y el extremo próximo de la capa piezoeléctrica se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica.

La Figura 7 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que tiene una porción no piezoeléctrica anclada y una porción piezoeléctrica no anclada.

La Figura 8 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, en donde la capa no piezoeléctrica no se une a ninguna porción base.

La Figura 9 es una ilustración de otra configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación en donde la porción piezoeléctrica tiene un ancho diferente al de la porción piezoeléctrica.

La Figura 10 es una ilustración de una configuración de ejemplo de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que comprende una capa piezoeléctrica y una capa no piezoeléctrica, en donde el ancho, de la capa piezoeléctrica es menor que el ancho de la capa no piezoeléctrica 16, y el extremo distal de la capa piezoeléctrica se extiende más allá del extremo distal de la capa no piezoeléctrica y el extremo próximo de la capa piezoeléctrica se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica.

La Figura 11 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para detectar un analito que utiliza el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

La Figura 12 es una gráfica de un espectro de resonancia de ejemplo de la configuración del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación descrito en la Figura 1, operado al aire.

5 Descripción Detallada de las Realizaciones de Ilustración.

Un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación como se describe aquí proporciona la capacidad para detectar y medir cantidades extremadamente pequeñas de un analito. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede utilizar para detectar y medir un analito inmerso en un líquido y un analito contenido en un gas o vacío. En diversas configuraciones de ejemplo, el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación comprende por lo menos una capa piezoeléctrica en por lo menos una capa no piezoeléctrica, en donde la capa piezoeléctrica se acopla a la capa no piezoeléctrica de tal manera que la capa piezoeléctrica y la capa no piezoeléctrica no son coextensivas. La capa piezoeléctrica, y la capa no piezoeléctrica, o ambas se pueden acoplar a por lo menos una base. La capa piezoeléctrica y la capa no piezoeléctrica pueden tener largo, ancho, y espesor diferentes.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede utilizar para determinar la masa de un analito acumulado allí. En una realización de ejemplo, se coloca un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación en un medio (por ejemplo, líquido, gas, vacío). Aunque en el medio, se mide una frecuencia de resonancia del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación y se compara con un valor inicial de frecuencia de resonancia. Se la diferencia en la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial es indicadora de una cantidad de masa de analito acumulada (por ejemplo, unida, absorbida, adsorbida) en el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

Los analitos se pueden unir directa o indirectamente a la superficie de la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. La unión de un analito a la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación resulta en un cambio en la masa del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, un cambio en la rigidez del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, o una combinación de los mismos. Los cambios en masa y/o rigidez se pueden medir con cambios en frecuencia de resonancia, se pueden supervisar y medir mediante un dispositivo de análisis adecuado, tal como un amplificador operacional, un analizador de impedancia, un analizador de red, un circuito oscilador, o similar, por ejemplo. Se pueden detectar y medir los cambios de frecuencia de resonancia, en donde por lo menos una porción del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se sumerge en un líquido. También se pueden detectar y medir los cambios de frecuencia de resonancia, en donde por lo menos una porción del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se sumerge en un gas vacío.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación por ejemplo se puede operar en altas frecuencias, tales como, en el orden de 0.1 MHz. a 6 MHz. En estas altas frecuencias, se puede obtener un factor Q (la relación de la frecuencia pico de resonancia con relación al ancho de pico de resonancia en la mitad de la altura del pico), en el orden de 10 a 100, bajo inmersión en líquido. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede operar a frecuencias altas relativas en medio líquido, medio de gas, y un vacío. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación por lo tanto proporciona sensibilidad extrema a los cambios de masa. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación es especialmente adecuado para analitos que están presentes en muy bajas concentraciones en medios tales como en fluidos corporales, agua, y materiales alimenticios, por ejemplo.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación descrito aquí proporciona la capacidad de detectar cambios en la masa acumulada allí tan pequeños como 100 attogramo/Hz (100×10^{-18} gramos/Hertz) o menos cuando se sumerge en un medio líquido. Así, con respecto a detectar cambios en la masa, el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación es aproximadamente 1 millón de veces más sensible que un sensor microvoladizo de cristal de cuarzo, aproximadamente 100,000 veces más sensible que los instrumentos analíticos estándar, y aproximadamente 10,000 veces más sensible que diseños piezoeléctricos en voladizo de tres capas, convencionales.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación permite la detección de concentraciones extremadamente pequeñas de analito que se unen a la porción no piezoeléctrica del mismo. Utilizando el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, son detectables los patógenos y proteínas en concentraciones tan bajas como unos patógenos/ mL y, para proteínas de tamaño promedio (60 kilo-Daltons, kDa), por lo menos de 1 patógeno/mL. Adicionalmente, se puede detectar que se une a una unidad estructural orgánica u inorgánica en la porción no piezoeléctrica. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede operar en medios que tienen relativamente altos índices de flujo. Los sensores piezoeléctricos en voladizo se pueden operar en medios que tienen índices de flujo de 0.5 a 10.0 mL/minuto, que es aproximadamente 1000 veces el índice de flujo utilizado exitosamente con microvoladizos de modo doblado conocidos.

Diversas aplicaciones de ejemplo de los sensores piezoeléctricos en voladizo incluye la detección de agentes de bioterrorismo, tales como *Bacillus anthracis*, la detección de patógenos transmitidos por alimentos, tales como *E. coli*, la detección de patógenos en alimento y agua, la detección de determinados tipos de células en fluidos corporales (por ejemplo, células tumorales en circulación), la detección de biomarcadores en fluidos corporales (por ejemplo, proteínas que marcan alfa-fetoproteína patofisiológicamente específica, beta-2-microglobulina, antígeno de tumor de vejiga, marcador CA-15-3 de cáncer de mama, y otros CA (antígenos cancerígenos), calcitonina, antígeno carcinoembrionario, y otros), la detección de marcadores de explosivos tales como trinitrotolueno, la presencia de dinitrotolueno, y la detección de toxinas transmitidas por aire y agua. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación también se puede utilizar para la detección de entidades biológicas en niveles de picogramos, y para la detección de interacciones de proteína-proteína, ambas en estado estacionario y cinético.

Los patógenos, tales como *E. coli* por ejemplo, se pueden detectar utilizando el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. La detección de una proteína modelo, lipoproteína, ADN, y/o ARN en una concentración de 1.0 femtogramo por mL (10-15 gramos) y patógenos en 1 patógeno/mL, respectivamente se puede lograr al medir en líquido que utiliza el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación inmovilizado con anticuerpos específicos al analito objetivo en una frecuencia de aproximadamente 1 a 2 MHz. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación es capaz de detectar un analito objetivo sin falsos positivos o negativos incluso cuando están presentes entidades contaminadas. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación descrito aquí es particularmente ventajoso cuando se utiliza con una muestra cruda, y sin preparación, etapa de concentración, y/o enriquecimiento ningún tipo. La detección de un analito que utiliza el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede llevar a cabo directamente en muestras crudas bajo condiciones de flujo, tales como por ejemplo 0.5 a 10.0 mL/minuto. Si hay disponibles muestras limpias, tal como in un ambiente de laboratorio, se puede alcanzar detección en 1 femtogramo/mL. Esta sensibilidad es aproximadamente 100 veces más sensible que la sensibilidad asociada con técnicas ópticas conocidas.

Como se describe adelante, la sensibilidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se debe en parte al diseño geométrico del mismo. Los anchos y longitudes respectivos de las capas piezoeléctrica y no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación determinan la sensibilidad, y también la forma del pico del espectro de frecuencia proporcionado por el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Como se describe en más detalle adelante, el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación comprende una capa piezoeléctrica y una capa no piezoeléctrica acopladas juntas de tal manera que una porción de la capa piezoeléctrica se extiende más allá de la capa no piezoeléctrica, o una porción de la capa no piezoeléctrica se extiende más allá de la capa piezoeléctrica, o una combinación de las mismas. Por lo tanto, la capa piezoeléctrica y la capa no piezoeléctrica no son coextensivas. Es decir, el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se configura de tal manera que una superficie completa de la capa no piezoeléctrica no se acopla a una superficie completa de la capa piezoeléctrica.

La sensibilidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se debe en parte a que utiliza la capa piezoeléctrica del sensor en voladizo para el accionamiento y detección y las propiedades electromagnéticas de la capa piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. En la resonancia, el voladizo oscilante concentra la tensión en la capa piezoeléctrica hacia una porción de base del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Esto resulta en un cambio amplificado en el componente resistivo de la capa piezoeléctrica, y un gran desplazamiento en la frecuencia de resonancia. Dirigir esta tensión a una porción de la capa piezoeléctrica que tiene un módulo de doblado bajo (por ejemplo, más flexible) permite la explotación del desplazamiento asociado en la frecuencia de resonancia para detectar cambios extremadamente pequeños en la masa del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Por ejemplo, si se anclan la capa piezoeléctrica y la capa no piezoeléctrica de un sensor piezoeléctrico en voladizo en el mismo extremo (por ejemplo, encapsulado en epoxi), el sensor es menos sensible a los cambios en la masa debido a que el esfuerzo de flexión en la capa piezoeléctrica de detección próxima al extremo anclado es inferior comparado con el caso cuando solo se ancla la capa piezoeléctrica. Esto se debe a que el módulo de doblado de las dos capas combinadas es mayor que el caso de anclar solo la capa piezoeléctrica. El módulo de doblado es el producto del módulo elástico y el momento de inercia aproximadamente el eje neutro. Y, el momento de inercia es proporcional a la potencia al cubo del espesor.

La Figura 1 es una ilustración de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 12 que comprende una porción piezoeléctrica 14 y una porción no piezoeléctrica 16. Las porciones piezoeléctricas se marcan con una letra mayúscula p ("P"), y las porciones no piezoeléctricas se marcan con las letras mayúsculas np ("NP"). El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 12 representa una realización de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, de saliente, no anclado. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 12 se denomina "no anclado" porque la capa no piezoeléctrica 16 no se adhiere a la porción de base 20. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 12 se denomina, "saliente" porque la capa no piezoeléctrica 16 se extiende más allá de la punta distal 24 de la capa piezoeléctrica 14 para crear una porción sobresaliente 22 de la capa no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de una porción adhesiva 18. La porción piezoeléctrica 14 y la

porción no piezoeléctrica se superponen en la región 23. La porción adhesiva 18 se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a una porción de base 20.

La porción piezoeléctrica 14 puede comprender cualquier material adecuado tal como titanato zirconato de plomo, soluciones sólidas de niobato de magnesio plomo-titanato de plomo, titanato de estroncio plomo, sílice de cuarzo, zirconato y titanato de plomo cerámico piezoeléctrico (PZT), compuestos de fibra de polímero piezoeléctrico, o similares, por ejemplo. La porción no piezoeléctrica 16 puede comprender cualquier material adecuado tal como vidrio, cerámica, metales, polímeros y compuestos de uno o más de cerámica, y polímeros, tales como dióxido de silicio, cobre, acero inoxidable, titanio, o similares, por ejemplo.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación puede comprender porciones que tienen cualquier combinación apropiada de dimensiones. Además, las dimensiones físicas pueden ser no uniformes. Por lo tanto, pueden ser cónicas la capa piezoeléctrica y/o la capa no piezoeléctrica. Por ejemplo, la longitud (por ejemplo, L_P en la Figura 1) de la porción piezoeléctrica (por ejemplo, la porción piezoeléctrica 14) puede variar de aproximadamente 0.1 a aproximadamente 10 mm. La longitud (por ejemplo, L_{NP} en la Figura 1) de la porción no piezoeléctrica (por ejemplo, la porción no piezoeléctrica 16) puede variar de aproximadamente 0.1 a aproximadamente 10 mm. La región de superposición (por ejemplo, la región de superposición 23) puede variar de aproximadamente 0.1 a aproximadamente 10 mm en longitud. El ancho (por ejemplo, W_P en la Figura 1) de la porción piezoeléctrica (por ejemplo, la porción piezoeléctrica 14), y el ancho (por ejemplo, W_{NP} en la Figura 1) de la porción no piezoeléctrica (por ejemplo, la porción no piezoeléctrica 16), puede variar de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 4.0 mm. También el ancho (por ejemplo, W_P en la Figura 1) de la porción piezoeléctrica puede diferir del ancho (por ejemplo, W_{NP} en la Figura 1) de la porción no piezoeléctrica. El espesor (por ejemplo, T_P en la Figura 1) de la porción piezoeléctrica (por ejemplo, la porción piezoeléctrica 14), y el espesor (por ejemplo, T_{NP} en la Figura 1) de la porción no piezoeléctrica (por ejemplo, la porción no piezoeléctrica 16), puede variar de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 4.0 mm. El espesor (por ejemplo, T_P en la Figura 1) de la porción piezoeléctrica also puede diferir del espesor (por ejemplo, T_{NP} en la Figura 1) de la porción no piezoeléctrica.

La Figura 2 es una vista en sección transversal del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 12 que representa las regiones de ubicación de electrodos 26 para los electrodos asociados operacionalmente con la porción piezoeléctrica 14. Los electrodos se pueden colocar en cualquier ubicación apropiada sobre la porción piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación como se indica por paréntesis 26. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 3, los electrodos 28 se pueden acoplar a la porción piezoeléctrica 14 dentro la porción de base 20. O, como se representa en la Figura 4, los electrodos 32 se pueden acoplar a la porción piezoeléctrica 14 en cualquier ubicación no dentro de la porción de base 20 y no se superpone por la porción no piezoeléctrica 16. Los electrodos no necesitan ser colocados simétricamente cerca de la porción piezoeléctrica 14. En una realización de ejemplo, un electrodo se puede acoplar a la porción piezoeléctrica 14 dentro de la porción de base 20 y el otro electrodo se puede acoplar a la porción piezoeléctrica 14 no dentro de la porción de base 20. Los electrodos, o cualesquier medios apropiados (por ejemplo, los medios inductivos, medios inalámbricos), se pueden utilizar para proporcionar una señal eléctrica a y recibir una señal eléctrica de la porción piezoeléctrica 14. En una realización de ejemplo, los electrodos se pueden acoplar a la porción piezoeléctrica 14 a través de una almohadilla de unión o similares (representada como los elementos 30 en la Figura 3 y los elementos 34 en la Figura 4). Las almohadillas de unión de ejemplo pueden comprender cualquier material adecuado (por ejemplo, oro, óxido de silicio) capaz de inmovilización de un material receptor y/o un material absorbente apropiado para uso en la detección química o para bio-detección.

Los electrodos se pueden colocar en cualquier ubicación apropiada. En una realización de ejemplo, los electrodos se ubican operativamente cerca de una ubicación de tensión concentrada en la capa piezoeléctrica 14. Como se describió anteriormente, la sensibilidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se debe en parte a que dirige ventajosamente (concentración) la tensión en la capa piezoeléctrica 14 y que coloca los electrodos próximos a este. Las configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación descrito aquí (y variantes de los mismos) tienden a concentrar oscilación asociada con la tensión en la capa piezoeléctrica 14. En la resonancia, en algunas de las configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, el voladizo oscilante concentra la tensión en la capa piezoeléctrica 14 hacia la porción de base 20. Esto resulta en un cambio amplificado en el componente resistivo de la capa piezoeléctrica 14, y un gran desplazamiento en la frecuencia de resonancia en las ubicaciones de alta tensión. Dirigir esta tensión a una porción de la capa piezoeléctrica 14 que tiene un módulo de doblado bajo (por ejemplo, más flexible) permite la explotación del desplazamiento asociado en la frecuencia de resonancia para detectar cambios extremadamente pequeños en la masa del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Por lo tanto, en las configuraciones de ejemplo del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, el espesor de la capa piezoeléctrica 14 ubicada cerca de la porción de base 20 es más delgadas que las porciones de la capa piezoeléctrica 14 más lejanas desde la porción de base 20. Esto tiende a concentrar la tensión hacia la porción más delgada de la capa piezoeléctrica 14. En las configuraciones de ejemplo, los electrodos se ubican en o cerca de las ubicaciones de la oscilación asociada con la tensión concentrada cerca de la porción de base del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. En otras configuraciones de ejemplo de los electrodos

de sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se posicionan próximos a la ubicación de tensión concentrada en la capa piezoeléctrica independientemente de la proximidad de la tensión concentrada a una porción de base del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

Se puede configurar el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación de acuerdo con una pluralidad de configuraciones, algunas de las cuales se representan en la Figura 5 a la Figura 16. Sin embargo se debe entender, que las configuraciones mostradas aquí no representan todas las posibles configuraciones, sino más bien una muestra representativa de las configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. La Figura 5 es una ilustración de una configuración de ejemplo 36 de sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no anclado en donde el extremo distal 40 de la porción piezoeléctrica 14 está a ras con el extremo distal 38 de la porción no piezoeléctrica 16. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 36 se denomina "no anclado" debido a que la porción no piezoeléctrica 16 no se adhiere a la porción de base 20. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva 18. La porción adhesiva 18 se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a una porción de base 20.

La Figura 6 es una ilustración de una configuración de ejemplo 42 de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no anclado en donde el extremo distal 44 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo distal 46 de la porción no piezoeléctrica 16 y el extremo próximo 43 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo próximo 45 de la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva 18. La porción adhesiva 18 se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción de base 20.

También se puede configurar el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación para comprender múltiples porciones de base. Las configuraciones de ejemplo del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que comprende múltiples porciones de base se representan en la Figura 7 a la Figura 14. La configuración del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación para que comprenda múltiples porciones de base que no es intuitiva en razón a que la expectativa de un experto en la técnica sería que la adhesión de ambos extremos del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación proporcionaría una pobre respuesta como resultado de las restricciones del desplazamiento del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación como resultado de su adhesión a las múltiples porciones de base. Para las configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que comprende dos porciones de base, en una realización de ejemplo, se mide la tensión en la porción piezoeléctrica, en vez del desplazamiento de la porción piezoeléctrica. La configuración del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación comprende dos porciones de base proporciona un sensor estable y robusto que se pueden desarrollar bajo relativamente altas condiciones de flujo de medio y proporcionar excelente sensibilidad de cambio de masa. Junto con proporcionar un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación mecánicamente robusto que puede soportar un rango relativamente amplio de condiciones de flujo de medio con determinación mínima en el desempeño, configurar el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación comprende dos porciones de base para proporcionar una frecuencia fundamental (por ejemplo, mayor de 100 kHz) es decir tres a cuatro veces mayores que un sensor en voladizo que tiene una única porción de base y de dimensiones similares.

La Figura 7 es una ilustración de una configuración de ejemplo 90 de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación anclado que comprende dos porciones de base 20, 50, en donde la porción piezoeléctrica 14 se adhiere a la porción de base 20 y la porción no piezoeléctrica 16 se adhiere a la porción de base 50. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva 18. La porción adhesiva 18 se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. El extremo distal 98 de la porción no piezoeléctrica 16 se extiende más allá del extremo distal 96 de la porción piezoeléctrica 14. El extremo próximo 92 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo próximo 94 de la porción no piezoeléctrica 16.

La Figura 8 es una ilustración de una configuración de ejemplo 100 de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación anclado que comprende dos porciones de base 20, 50, en donde la porción no piezoeléctrica 16 no se adhiere a ninguna porción de base 20 o porción de base 50. En la configuración representada en el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 100, el extremo próximo 102 de la porción piezoeléctrica 14 se adhiere a la porción de base 20 y el extremo distal 104 de la porción piezoeléctrica 14 se adhiere a la porción de base 50. El extremo próximo 102 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo próximo 106 de la porción no piezoeléctrica 16 y el extremo distal 104 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo distal 108 de la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva 18. La porción adhesiva 18 se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16.

La Figura 9 es una ilustración de una configuración de ejemplo 110 de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no anclado que comprende una porción piezoeléctrica 14 y una porción no piezoeléctrica 16, en donde el ancho, W_p , de la porción piezoeléctrica es menor que el ancho, W_{NP} , de la porción no piezoeléctrica 16. La configuración 110 representada en la Figura 9 es similar a la configuración 12 representada en la Figura 1, con la excepción que W_p es menor que W_{NP} . De acuerdo con lo anterior, el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación 110 representa una realización de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, en saliente, no anclado. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva (porción adhesiva no mostrada en la Figura 9. La porción adhesiva se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a una porción de base 20.

La Figura 10 es una ilustración de una configuración de ejemplo 112 de un sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no anclado que comprende una porción piezoeléctrica 14 y una porción no piezoeléctrica 16, en donde el ancho, W_p , de la porción piezoeléctrica es menor que el ancho, W_{NP} , de la porción no piezoeléctrica 16, y en donde el extremo distal 114 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo distal 116 de la porción no piezoeléctrica 16 y el extremo próximo 118 de la porción piezoeléctrica 14 se extiende más allá del extremo próximo 120 de la porción no piezoeléctrica 16. La configuración 112 representada en la Figura 10 es similar a la configuración 42 representada en la Figura 6, con la excepción que W_p es menor que W_{NP} . La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción no piezoeléctrica 16 a través de la porción adhesiva (porción adhesiva no mostrada en la Figura 10. La porción adhesiva se posiciona entre las porciones de superposición de la porción piezoeléctrica 14 y la porción no piezoeléctrica 16. La porción piezoeléctrica 14 se acopla a la porción de base 20.

La Figura 11 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para detectar un analito que utiliza el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Se proporciona el sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación en la etapa 120. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se puede configurar de acuerdo con las descripciones proporcionadas anteriormente, o configurar de acuerdo con cualquier variante apropiada del mismo. El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se prepara para recibir un analito en la etapa 122. En una realización de ejemplo, un atractor de analito se aplica a la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. El atractor es específico a un analito. Por lo tanto el atractor atraerá un analito objetivo y no atraerá otras sustancias. Por ejemplo, la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación puede comprender un atractor para atraer agentes de bioterrorismo, tales como *Bacillus anthracis*, patógenos transmitidos por alimento, tales como *E. coli*, patógenos en alimento y agua, tipos de células en fluidos corporales (por ejemplo, células tumorales en circulación), biomarcadores en fluidos corporales (por ejemplo, las proteínas que marcan alfa-fetoproteína de patofisiología específica, beta-2-microglobulina, antígeno de tumor de vejiga, marcador CA-15-3 de cáncer de mama, y otros CA (antígenos cancerígenos), calcitonina, antígeno carcinoembrionario, y otros), marcadores de explosivos tales como trinitrotolueno, dinitrotolueno, toxinas transmitidas por aire y agua, entidades biológicas, tales como una proteína, o una combinación de las mismas, por ejemplo.

El sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se expone a un medio en la etapa 124. El medio puede comprender cualquier medio apropiado, tal como un líquido, un gas, una combinación de un líquido y un gas, o un vacío, por ejemplo. El medio puede exhibir una amplia variedad de condiciones de flujo. Si está presente un analito objetivo en el medio, el analito objetivo se acumulará sobre la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que se ha tratado con el atractor. Como se describió anteriormente, la acumulación (por ejemplo, unión) del analito objetivo sobre la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación resultará en un cambio en la rigidez del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación y/o un aumento en la masa del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, que reducirá la frecuencia de resonancia del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación.

La frecuencia de resonancia del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se mide en la etapa 126. La frecuencia de resonancia se puede medir por cualesquier medios adecuados, tales como un amplificador operacional, un analizador de impedancia, un analizador de red, un circuito oscilador, o similares, por ejemplo. Cuando se excita el material piezoeléctrico de la porción piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se flexiona para acomodar la deformación provocada en el material piezoeléctrico. Cuando la frecuencia de excitación es la misma que la frecuencia natural de la estructura mecánica subyacente, ocurre la resonancia.

La frecuencia de resonancia medida se compara con una frecuencia de resonancia inicial en la etapa 128. La frecuencia de resonancia inicial es la frecuencia de resonancia del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación que no tiene analito acumulado allí. Si no se mide una diferencia en la frecuencia (desplazamiento de frecuencia) entre la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial (en la etapa 130), esta se determina, en la etapa 132, que no detecta analito. Si se mide una diferencia en la frecuencia

entre la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial (en la etapa 130), está se determina, en la etapa 134, que detecta un analito, es decir, un analito está presente en el medio. En la etapa 136, la cantidad de masa del analito que se ha acumulado sobre la porción no piezoeléctrica del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación se determina de acuerdo con la desviación de frecuencia medida en la etapa 130.

- 5 Se han llevado a cabo varios experimentos que utilizan diversas configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. La Figura 12, una gráfica 137 de un espectro de resonancia de ejemplo de la configuración 12 del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, representada en la Figura 1, operado en aire. El ancho, W_p , y el ancho, W_{NP} , donde cada uno tiene aproximadamente 2 mm. La gráfica 137 muestra el ángulo de fase (entre el voltaje de excitación y la corriente de excitación) versus la frecuencia de excitación, en un voltaje de excitación de 100 mV. El primer modo de frecuencia de resonancia 140 ocurre entre 150 y 200 kHz y el segundo modo de frecuencia de resonancia 142 ocurre entre 250 y 300 kHz. El espectro de resonancia muestra altos picos característicos en orden en aproximadamente 980 kHz, 2.90 MHz y 4.60 MHz.

- 15 Se determinan los factores de calidad como una relación de la frecuencia de resonancia con el ancho del pico en la mitad de la altura del pico. Como resultado, el factor de calidad es una medida de la agudeza de los picos de resonancia. Los experimentos han mostrado que el factor de calidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación no se reduce significativamente cuando el sensor se coloca en diferentes ambientes que varían desde vacío hasta ambientes de flujo de líquido. También, los experimentos han mostrado que valores Q para las diversas configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación normalmente varían entre 10 y 70, dependiendo del modo de frecuencia respectivo donde se detecta el pico. Las diversas configuraciones del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, cuando se utiliza en vacío, ambientes de aire, y viscoso, que incluyen flujos, normalmente no tendrá más de una reducción del 20%-35% en el valor Q. Esta pérdida relativamente pequeña en el valor total del factor de calidad refleja la capacidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación para detectar exactamente productos químicos y diversos elementos biológicos en ambientes viscosos, que incluyen agua y torrente sanguíneo.

- 25 Los experimentos han mostrado que la sensibilidad del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación es una función de las dimensiones del mismo. Los cambios específicos en la geometría del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación mejora la sensibilidad de cambio de masa del sensor, y por lo tanto, la respuesta del sensor a la detección de baja concentración de analito. El espectro de resonancia, una gráfica del ángulo de fase versus la frecuencia de excitación, en aire, muestra picos de resonancia de modo doblado dominante en 102 6 0.05, 970 6 0.05, y 1810 6 0.05 kHz, respectivamente. Al cambiar la geometría del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación, se mejoran las características de resonancia del sensor. Los modos de resonancia de doblado correspondientes ocurren en altas frecuencias y tienen ángulos de fase más grandes, sugieren que los picos de resonancia del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación son más sensibles y son menos amortiguados.

- 35 En un experimento de ejemplo, se mide la sensibilidad de cambio de masa del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación. Se agrega una masa conocida de cera de parafina a una superficie de vidrio del sensor piezoeléctrico en voladizo de autodetección, autoexcitación y se utiliza el cambio en la frecuencia de resonancia para calcular la sensibilidad de masa, expresada en g/Hz. Se realiza medición directa de la sensibilidad de cambio de masa en líquido; así como también la relación de masa conocida con el cambio en la frecuencia de resonancia en líquido antes y después que se agrega la masa. Se determina que la sensibilidad de masa del modo de resonancia investigado bajo líquido es 1.5×10^{-15} g/Hz.

REIVINDICACIONES

1. Un sensor (12) que comprende:

una capa piezoeléctrica (14) que comprende un extremo próximo y un extremo distal;

una porción de base (20) acoplada al extremo próximo de la capa piezoeléctrica;
- 5 una capa no piezoeléctrica (16) que comprende un extremo próximo y un extremo distal, en donde por lo menos una porción de la capa piezoeléctrica (14) se acopla a por lo menos una porción de la capa no piezoeléctrica (16) de tal manera que la capa piezoeléctrica (14) y la capa no piezoeléctrica (16) no son coextensivas; y

electrodos (28, 32) asociados operativamente con la capa piezoeléctrica (14), caracterizada porque la porción de base (20) no se adhiere al extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).
- 10 2. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:

el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) se extiende más allá del extremo distal de la capa piezoeléctrica (14); y

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).
- 15 3. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:

el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) está a ras con el extremo distal de la capa piezoeléctrica (14); y

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).
4. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:

20 el extremo distal de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16); y

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).
5. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

25 una segunda porción de base (5) acoplada a una de la capa piezoeléctrica (14) y la capa no piezoeléctrica (16).
6. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, que comprende adicionalmente:

una segunda porción de base (50) acoplada a una de la capa piezoeléctrica (14) y la capa no piezoeléctrica (16); y en donde:

el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) se acopla a la segunda porción de base (50); y
- 30 el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) se extiende más allá del extremo distal de la capa piezoeléctrica (14).
7. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde:

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se acopla a la primera porción de base (20);

el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) se acopla a la segunda porción de base (50);
- 35 el extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16) se extiende más allá del extremo distal de la capa piezoeléctrica (14); y

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).

8. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde:

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se acopla a la primera porción de base (20);

5 el extremo distal de la capa piezoeléctrica (14) se acopla a la segunda porción de base (50);

el extremo distal de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo distal de la capa no piezoeléctrica (16); y

el extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14) se extiende más allá del extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).

10 9. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde la capa no piezoeléctrica (16) comprende por lo menos una capa de vidrio, de cerámica, de metal, de polímero, y un compuesto de polímero y cerámica.

10. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde la capa no piezoeléctrica (16) comprende por lo menos una de dióxido de silicio, cobre, acero inoxidable, y titanio.

15 11. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde la capa piezoeléctrica (14) comprende por lo menos una de titanato zirconato de plomo, soluciones sólidas de niobato de magnesio plomo-titanato de plomo, titanato de estroncio plomo, sílice de cuarzo, zirconato y titanato de plomo cerámico piezoeléctrico (PZT), y un compuesto de fibra de polímero – piezocerámica.

20 12. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde una longitud de la capa no piezoeléctrica (16) está en un rango de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 10.0 mm.

13. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde una longitud de la capa piezoeléctrica (14) está en un rango de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 10.0 mm.

14. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde un ancho de la capa no piezoeléctrica (16) está en un rango de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 4.0 mm.

25 15. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde un ancho de la capa piezoeléctrica (14) está en un rango de aproximadamente 0.1 mm a aproximadamente 4.0 mm.

16. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde por lo menos una dimensión física de por lo menos una de la capa piezoeléctrica (14) y la capa no piezoeléctrica (16) es no uniforme.

30 17. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde los electrodos (28, 32) se utilizan para medir una frecuencia de resonancia del sensor (12).

18. Un sensor (12) de acuerdo con la reivindicación 17, en donde la frecuencia de resonancia medida es indicativa de una cantidad de analito acumulado sobre el sensor (12).

19. Un sensor (12) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 5, en donde:

la oscilación asociada con la tensión se concentra en una ubicación en la capa piezoeléctrica (14); y

35 los electrodos (28, 32) se posicionan próximos a la ubicación de la tensión concentrada.

20. Un método para detectar un analito, el método comprende las etapas de:

proporcionar (120) un sensor (12) que comprende:

una capa piezoeléctrica (14);

una capa no piezoeléctrica (16), en donde por lo menos una porción de la capa piezoeléctrica (14) se acopla a por lo menos una porción de la capa no piezoeléctrica (16) de tal manera que la capa piezoeléctrica (14) y la capa no piezoeléctrica (16) no son coextensivas;

una porción de base (20) acoplada al extremo próximo de la capa piezoeléctrica (14); y

- 5 electrodos (28, 32) asociados operativamente con la capa piezoeléctrica (14); que exponen (124) por lo menos una porción de la capa no piezoeléctrica (16) a un medio;

medir (126), a través de los electrodos (28, 32), una frecuencia de resonancia del sensor (12);

comparar (128) la frecuencia de resonancia medida con una frecuencia de resonancia inicial; y

- 10 si la frecuencia de resonancia medida difiere de la frecuencia de resonancia inicial, determinar (132, 134) que un analito está presente en el medio,

caracterizado porque la porción de base (20) no se adhiere al extremo próximo de la capa no piezoeléctrica (16).

21. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde la frecuencia de resonancia inicial es una frecuencia de resonancia del sensor (12) que no tiene analito acumulado allí.

- 15 22. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde el medio comprende uno de un líquido, un gas, y un vacío.

23. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde el analito comprende por lo menos uno de un agente de bioterrorismo, un patógeno transmitido por alimento, un patógeno de agua, un tipo de célula en fluidos corporales, un biomarcador en un fluido corporal, una indicación de un material explosivo, una toxina transportada por aire, una toxina transportada por agua, y una entidad biológica.

- 20 24. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende adicionalmente determinar (136) una cantidad de analito acumulado sobre el sensor (12) de acuerdo con la diferencia entre la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial.

- 25 25. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende adicionalmente determinar un cambio en una cantidad de masa de un analito acumulado sobre el sensor (12) de acuerdo con la diferencia entre la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial, en donde una diferencia de 1 Hertz entre la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial es indicativa de un cambio en masa de aproximadamente 100 attogramos.

- 30 26. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende adicionalmente detectar (132, 134) una presencia de un analito en el medio, en donde el analito comprende por lo menos uno de una proteína, una lipoproteína, ADN, y ARN en el medio en una concentración de de 1 femtogramo por mL.

27. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, que comprende adicionalmente detectar (132, 134) una presencia de un analito en el medio, en donde el analito comprende un patógeno en el medio en una concentración de 1 patógeno por mL.

- 35 28. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde una diferencia en la frecuencia de resonancia medida y la frecuencia de resonancia inicial es indicativa de una tensión en la capa piezoeléctrica (14).

29. Un método de acuerdo con la reivindicación 20, en donde la oscilación asociada con la tensión se concentra en una ubicación en la capa piezoeléctrica (14), el método comprende adicionalmente posicionar los electrodos (28, 32) próximos a la ubicación de la tensión concentrada.

12

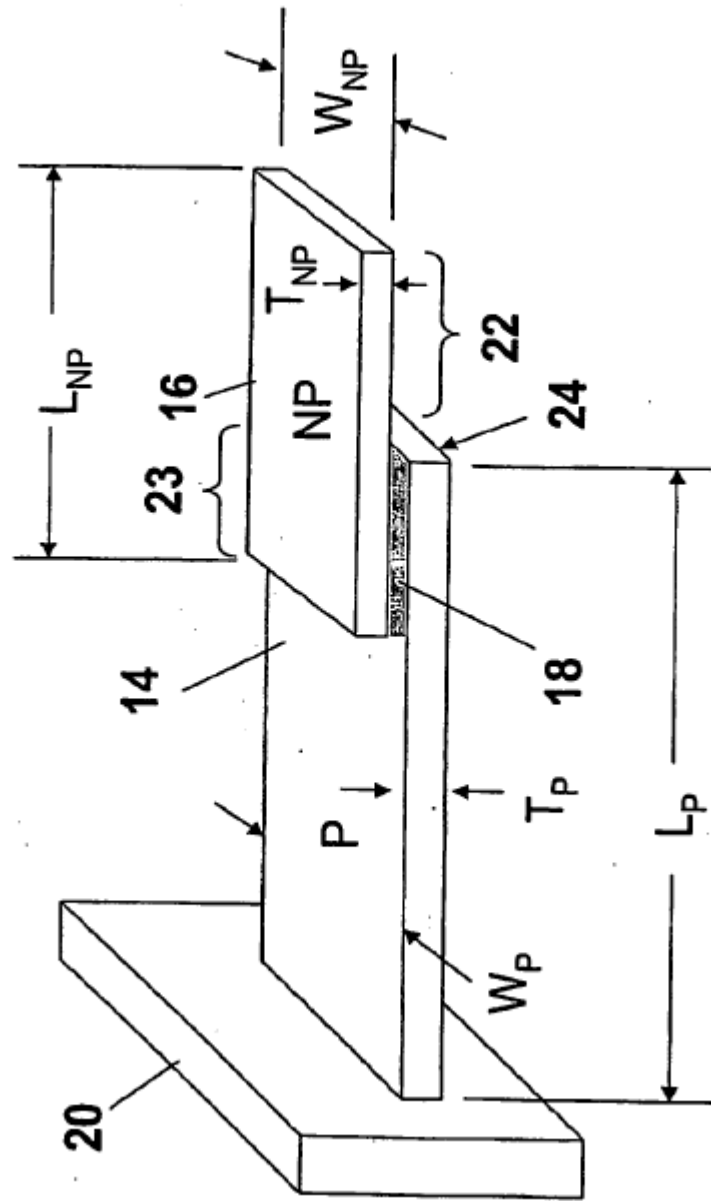


FIGURA 1

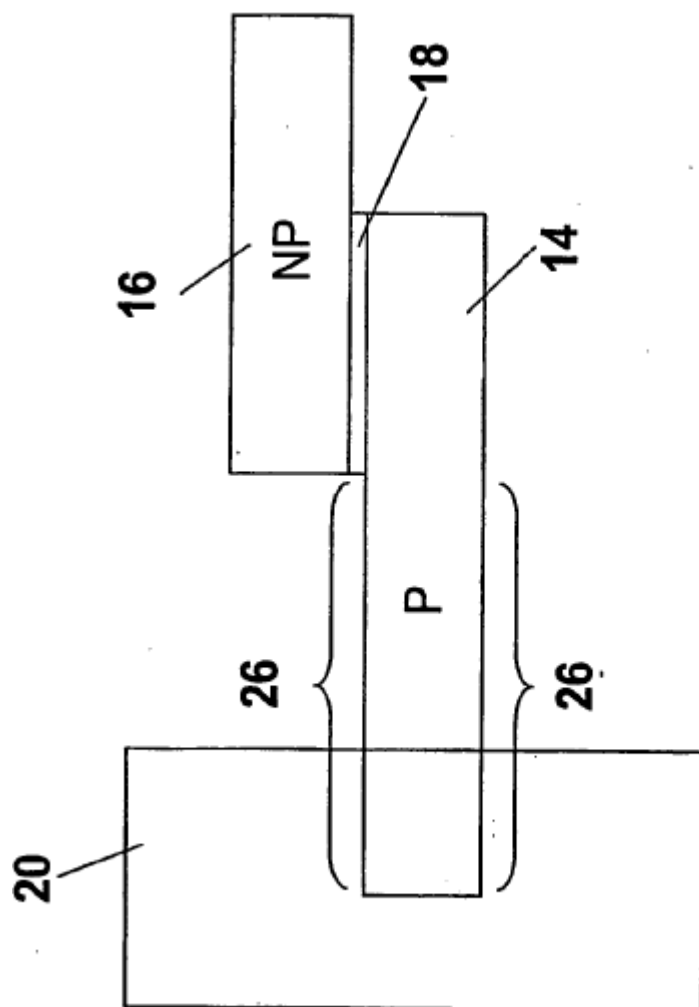


FIGURA 2

12

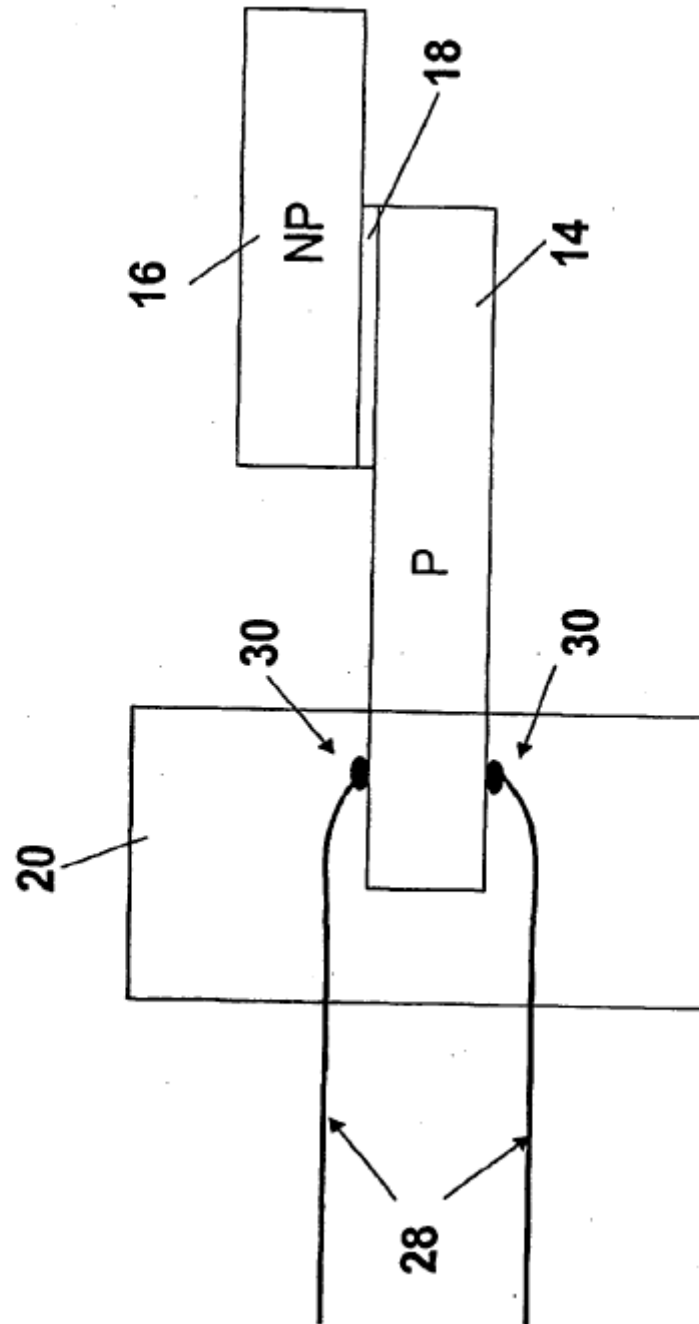


FIGURA 3

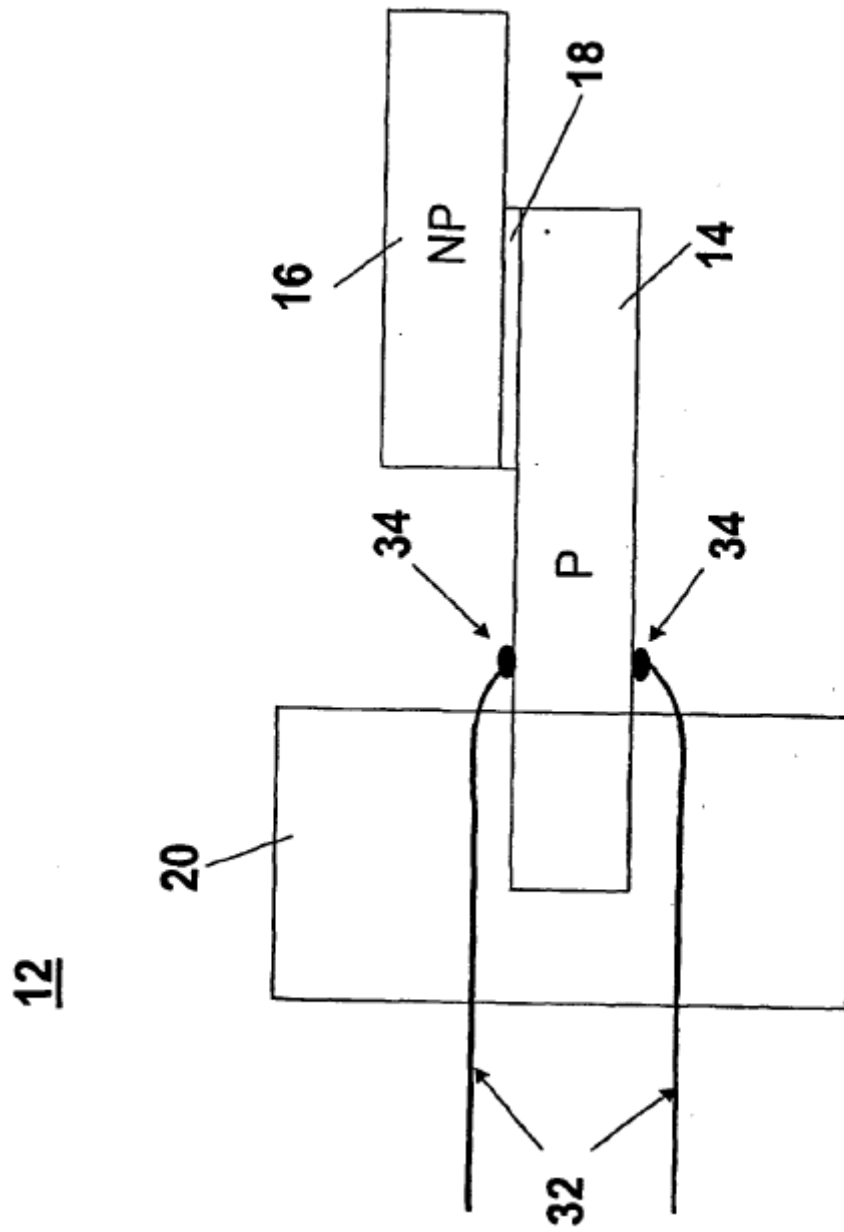


FIGURA 4

36

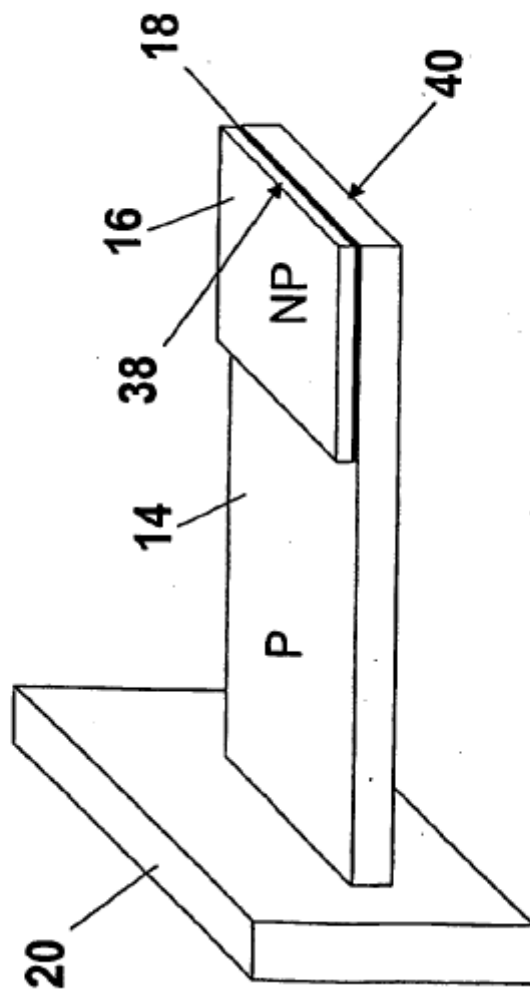


FIGURA 5

42

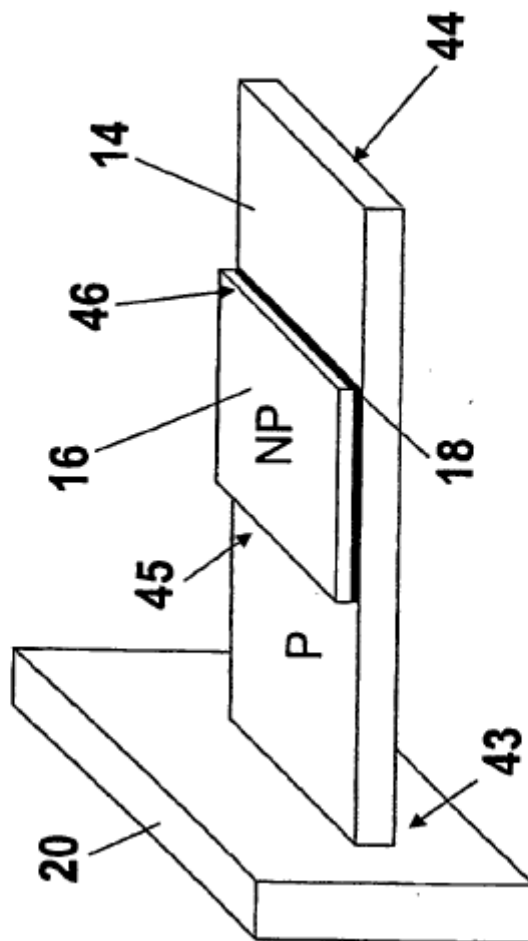


FIGURA 6

90

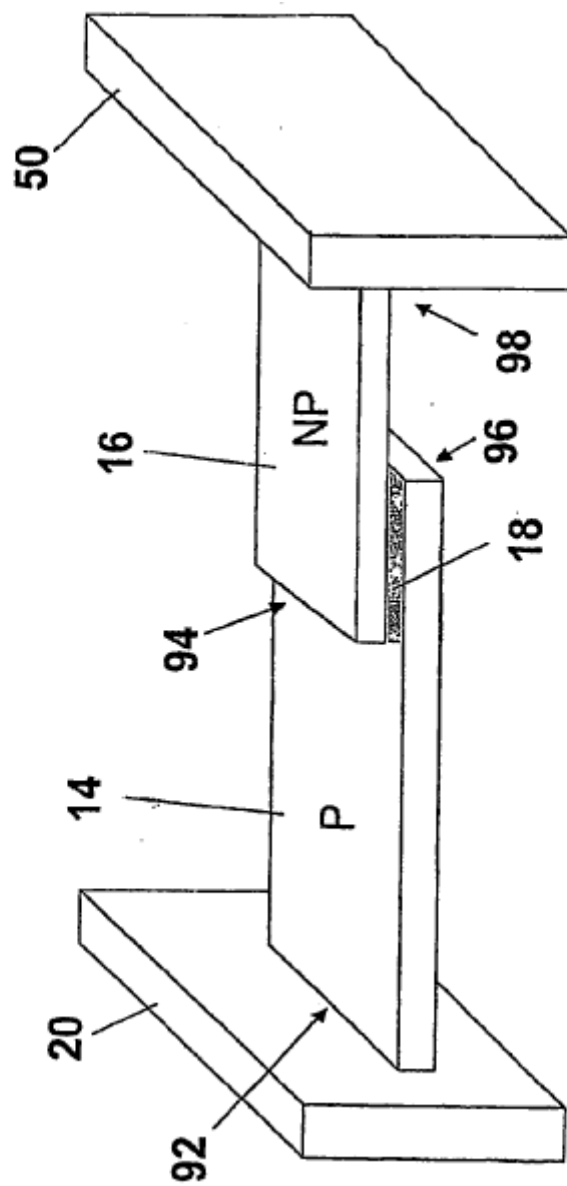


FIGURA 7

100

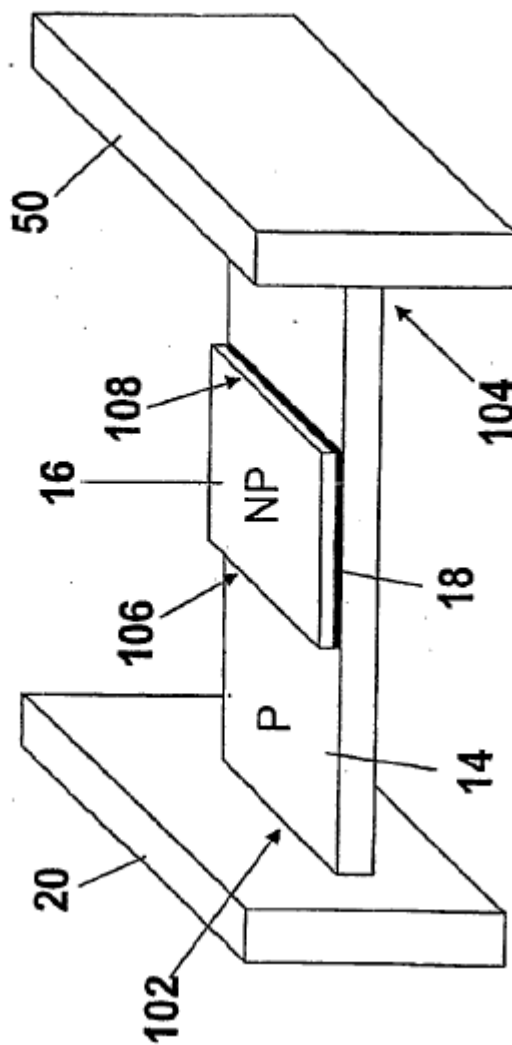


FIGURA 8

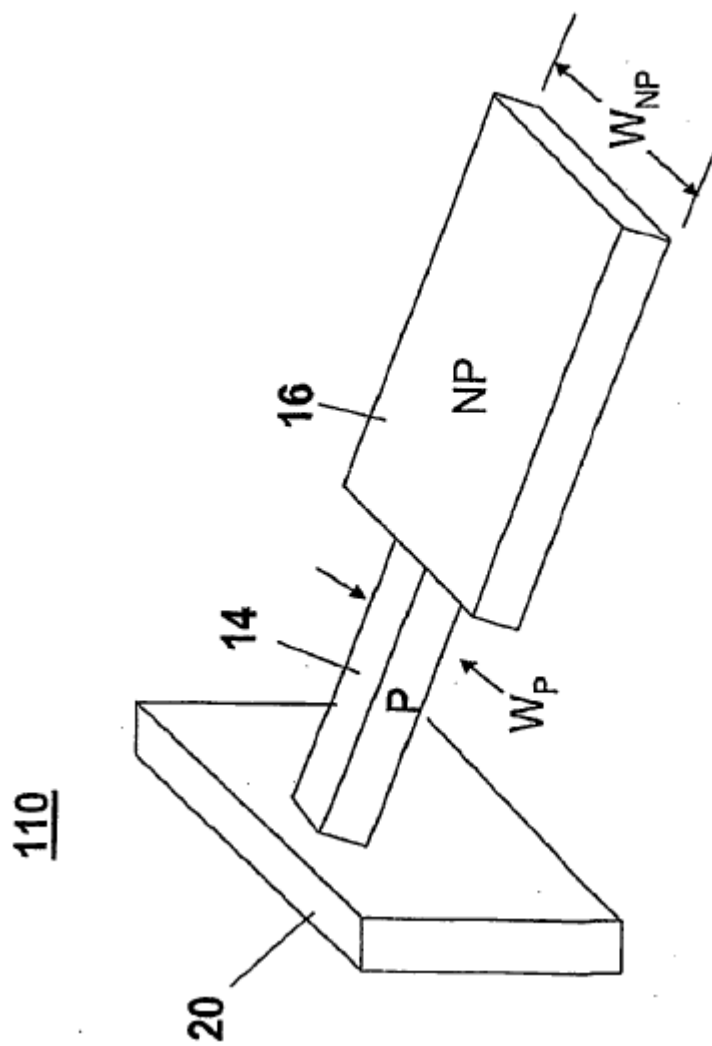
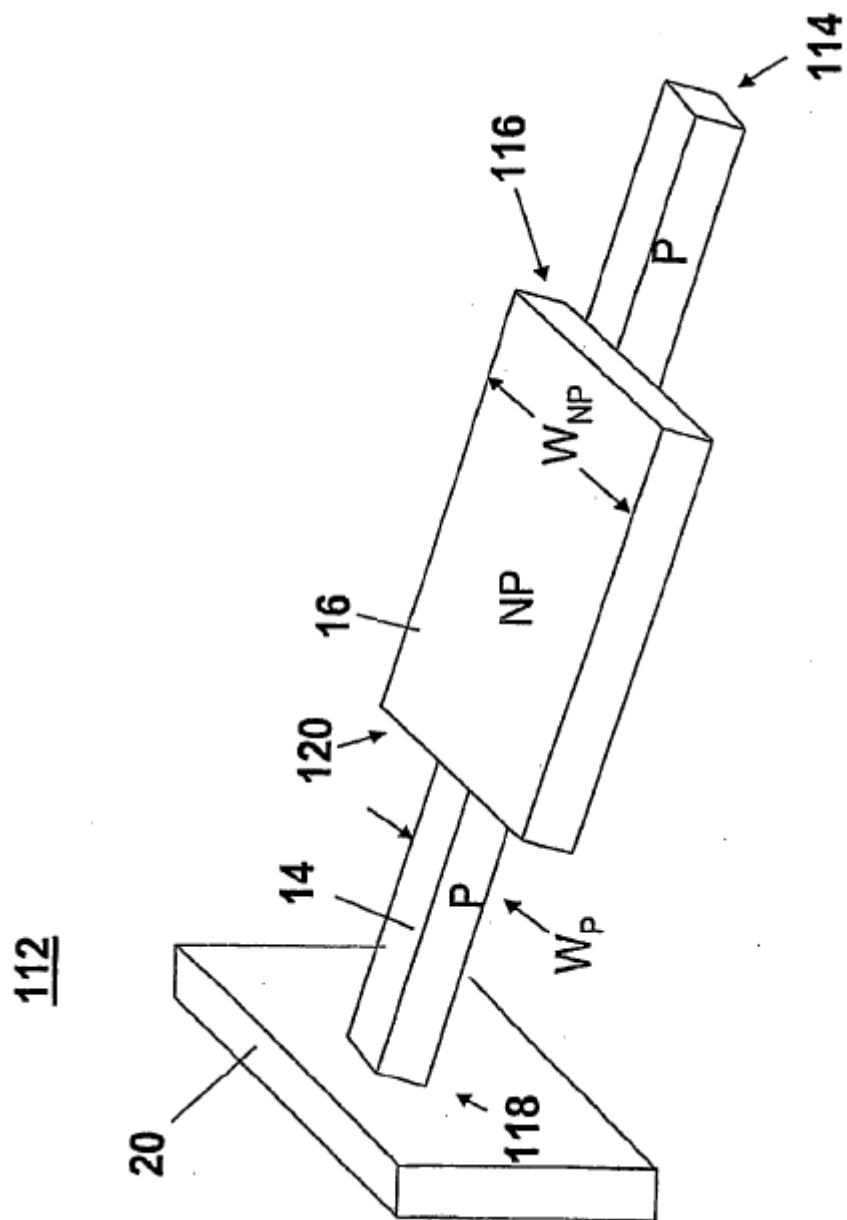


FIGURA 9

**FIGURA 10**

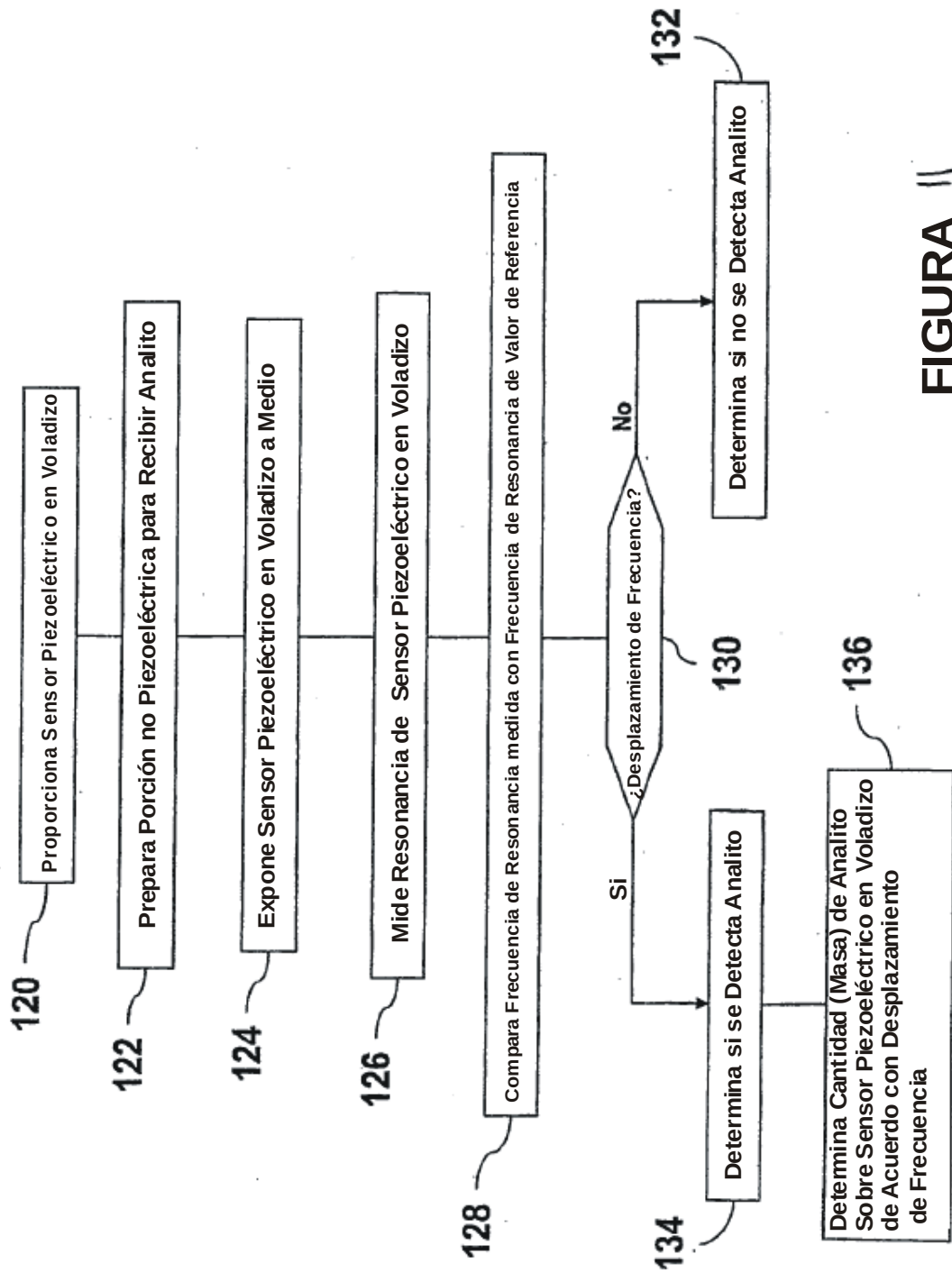


FIGURA II

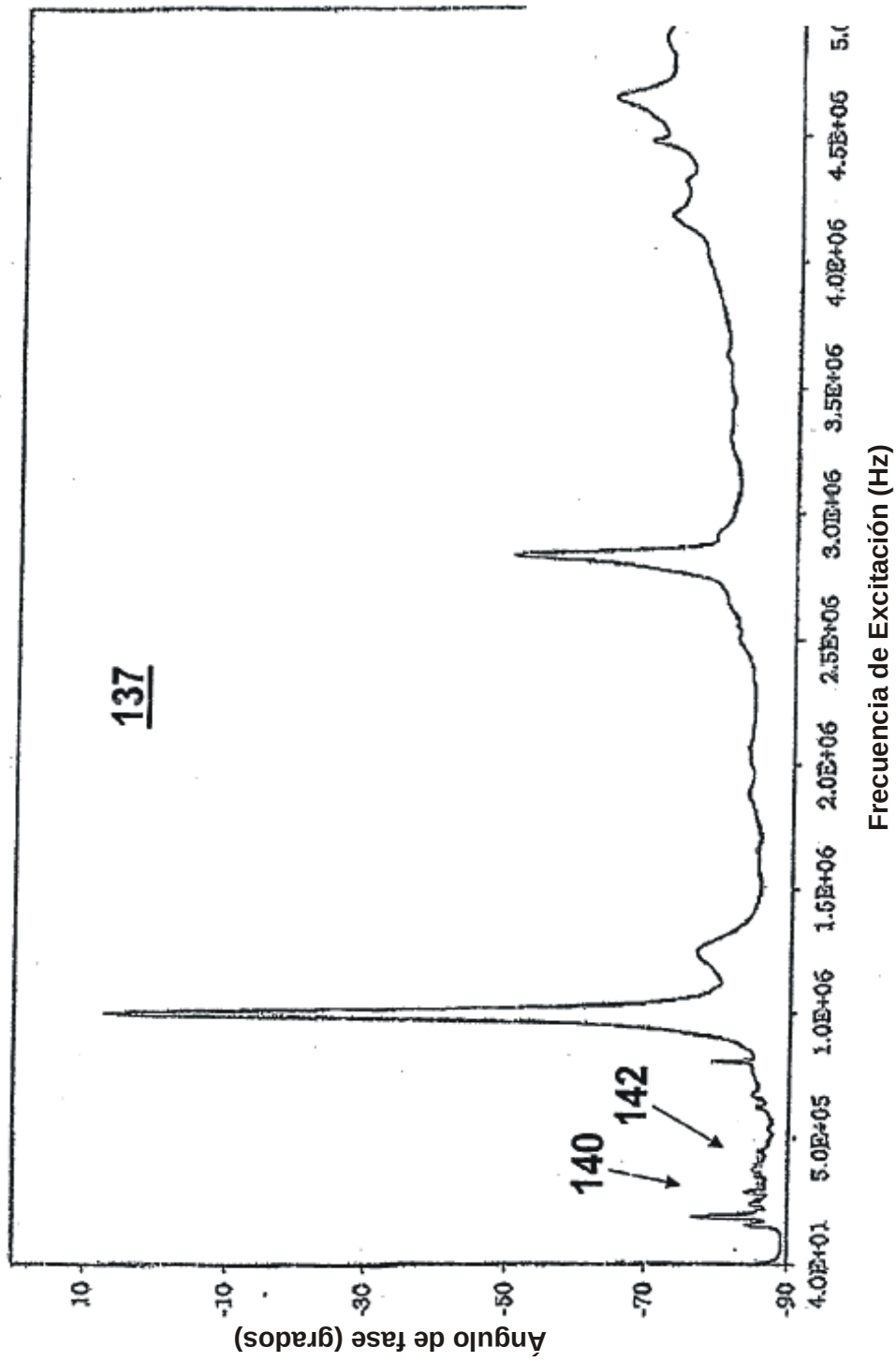


FIGURA 12