

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 603 576**

51 Int. Cl.:

H01L 41/09 (2006.01)

H01L 41/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.11.2012** **PCT/GB2012/052741**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2013** **WO13064841**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2012** **E 12788246 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2016** **EP 2777082**

54 Título: **Dispositivo o actuador piezoeléctrico de recogida de energía**

30 Prioridad:

04.11.2011 GB 201119130

04.11.2011 GB 201119129

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

28.02.2017

73 Titular/es:

ALTENERGIS PLC. (100.0%)
2nd Floor Berkeley Square House Berkeley
Square
London, Greater London W1J 6BD, GB

72 Inventor/es:

LI, LIJIE y
RONAN, GERARD ANTHONY

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 603 576 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo o actuador piezoeléctrico de recogida de energía

- 5 La invención se refiere a un dispositivo o actuador piezoeléctrico de recogida de energía y particularmente pero no exclusivamente se refiere a un dispositivo o actuador piezoeléctrico de recogida en configuración dimorfa.

10 Los materiales piezoeléctricos se han usado en transductores para convertir esfuerzos mecánicos en cargas eléctricas para aplicaciones de captación de energía. La recogida de energía piezoeléctrica en una configuración denominada dimorfa es el enfoque más popular, la cual extrae la energía mecánica para la generación de energía eléctrica. Los recogedores de energía piezoeléctrica son frecuentemente voladizos en vibración cubiertos con una capa de material piezoeléctrico. El material piezoeléctrico convierte los esfuerzos mecánicos, por ejemplo a partir de vibraciones ambientales, en una carga que puede alimentar un dispositivo eléctrico. Alternativamente dichos dispositivos pueden funcionar a la inversa para convertir energía eléctrica en energía mecánica o trabajo, por ejemplo en una aplicación de motor o actuador. Típicamente, la longitud del voladizo en dichas disposiciones se cubre con un material piezoeléctrico en una tira continua única.

20 Los sistemas de recogida de energía basados en las tecnologías de conversión mecánica a eléctrica han atraído en los últimos años un interés considerable de la investigación, particularmente para la alimentación de sensores inalámbricos. La investigación ha implicado metodologías de recogida de energía basadas en técnicas de transducción que incluyen piezoeléctrica, electromagnética y electrostática. De estas, la transducción piezoeléctrica se considera la tecnología más prometedora en este campo y ha atraído una atención de investigación significativa dado que generalmente tiene una eficiencia de acoplamiento electromecánico más alta y no requiere fuentes de tensión externas en comparación con otras tecnologías. La transducción piezoeléctrica es particularmente atractiva en áreas de aplicación tales como los sistemas micro-electromecánicos (MEMS) y redes de sensores inalámbricos (WSN). Las redes de sensores inalámbricos tienen el potencial de proporcionar ventajas significativas en comparación con metodologías cableadas existentes en varios campos de aplicación que incluyen: aplicaciones medioambientales, de salud, seguridad y militares debido a su flexibilidad, facilidad de implementación y capacidad operativa en entornos operativos difíciles. Actualmente, la mayor parte de las WSN usan una batería, recargable o en otra forma, para la alimentación lo que puede limitar su aplicación debido a su alto coste, volumen, tamaño y corta vida operativa. El desarrollo de fuentes de energía a partir del ambiente (por ejemplo, para convertir la vibración mecánica en electricidad) para alimentar los WSN o microsistemas ha atraído por lo tanto un creciente interés en los últimos años.

35 Un factor principal que impide una amplia aplicación práctica de los dispositivos de recogida de energía piezoeléctrica es la pequeña cantidad de energía que se genera por los materiales piezoeléctricos conocidos. La actividad de investigación reciente se ha dirigido hacia la mejora de la eficiencia de energía y vida de los dispositivos de recogida de energía piezoeléctrica. Esto puede conseguirse mediante: el incremento del ancho de banda; sintonizando la frecuencia de resonancia del voladizo; selección de material(es) apropiado(s) tales como aquellos con una eficiencia de acoplamiento más alta, y la mejora de los circuitos de conversión CA-CC. La estructura del dispositivo se ha reconocido como un factor clave que afecta a la eficiencia. Actualmente, la configuración de barra en voladizo es la estructura más popular para dichos dispositivos. Una configuración en voladizo con un material piezoeléctrico fijado a la parte superior o inferior del sustrato se considera actualmente la estructura óptima para recogida de energía en términos de su simplicidad y buena eficiencia de acoplamiento. Las configuraciones de recogida de energía de voladizos convencionales se basan en una placa o capa piezoeléctrica continua. Sin embargo, los dispositivos de recogida conocidos basados en una barra en voladizo piezoeléctrica funcionan predominantemente en movimientos/modos de vibración de flexión. Esto es debido a que en los modos torsionales puros, las cargas generadas sobre la superficie de la estructura se categorizan en dos grupos, áreas de carga positiva y negativa. Estas áreas tienen la misma cantidad de carga con signos opuestos debido a la fuerza simétrica de la estructura de barra en voladizo en torsión. Así la producción eléctrica total a partir de la superficie de dispositivos de configuraciones conocidas en torsión será cero dado que ambas áreas positiva y negativa se cancelan entre sí, proporcionando una carga neta cero.

55 Existe por lo tanto un requisito de un dispositivo mejorado de recogida de energía piezoeléctrica, y/o consumo de energía cuando está en un modo de operación inverso, motor/actuador.

El documento DE 10 2010 018875 divulga un dispositivo de recogida de energía que tiene dos elementos piezoeléctricos diferentes, o bien uno encima del otro o uno adyacente al otro a lo largo de una barra en voladizo, pero estos no se disponen lado con lado a lo largo de la longitud de una barra en voladizo.

60 El documento US 2007/0125176 divulga un dispositivo de recogida de energía que tiene una pluralidad de barras en voladizo de diferentes formas y tamaños que tienen diferentes frecuencias naturales para la recogida de energía a través de un amplio espectro de frecuencias de excitación y estando cada barra en voladizo separada de las restantes y resonando a frecuencias diferentes.

65

El documento EP 2 109 058 se refiere principalmente a la sintonía de un dispositivo de captura piezoeléctrica en donde la barra está provista con actuadores de aleta lateral para alterar la geometría y por ello la rigidez y frecuencia de resonancia de la barra en modos de flexión para la operación a lo largo de una banda de frecuencia más ancha. La pila de captura piezoeléctrica es continua y por lo tanto es incapaz de funcionar como un dispositivo de recogida de energía en modos torsionales de vibración.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención se proporciona un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica que comprende un material piezoeléctrico sobre un sustrato, en el que dicho material piezoeléctrico se divide en una pluralidad de zonas discretas para proporcionar una pluralidad de elementos piezoeléctricos sobre el sustrato que están eléctricamente aislados entre sí en el que los elementos se disponen a lo largo de la longitud de una barra en voladizo y en el que la capa piezoeléctrica se divide, o se divide adicionalmente, con un espacio de aislamiento extendido en la dirección longitudinal de la barra para una recogida de energía en modos torsionales de vibración de la barra. En este sentido los presentes inventores han diseñado una configuración de recogida de energía en voladizo dimorfa novedosa que comprende una capa segmentada de material piezoeléctrico y una capa de sustrato. La capa segmentada proporciona una eficiencia mejorada en comparación con dispositivos conocidos que tienen una capa no segmentada del mismo tamaño y forma. Por ello un dispositivo de acuerdo con este aspecto de la invención puede tener una capacidad de generación de energía mayor que los dispositivos conocidos de similar forma y tamaño y/o una mayor eficiencia cuando opera en un modo inverso de operación, es decir, cuando se configura para convertir energía eléctrica a energía mecánica o trabajo en una aplicación de motor o actuador. Por brevedad, en la descripción que sigue la expresión "dispositivo de recogida de energía" se refiere también a dicho dispositivo configurado para funcionar en un modo inverso como motor/actuador para proporcionar movimiento cuando se aplica una corriente eléctrica al dispositivo. Se apreciará que dispositivos que tienen una capa segmentada tendrán una frecuencia natural diferente a dispositivos similares que tengan una capa no segmentada y de ese modo la frecuencia natural de un dispositivo segmentado puede adaptarse a la del entorno operativo esperado.

La capa piezoeléctrica puede segmentarse de tal manera que al menos una de las superficies del material piezoeléctrico sea eléctricamente discontinua de modo que se minimicen las corrientes superficiales.

Preferentemente, los elementos segmentados se disponen en una matriz con un espacio eléctricamente aislante entre elementos adyacentes. Esto proporciona una estructura simple para fabricación del dispositivo.

Preferentemente, la barra en voladizo está provista con un peso equilibrado o desequilibrado. En la mayoría de aplicaciones se concibe que la barra se proporcione con un peso desequilibrado debido a la funcionalidad del equilibrado de dichas barras.

En realizaciones preferidas, los elementos pueden disponerse en una disposición de extremo a extremo a lo largo de la longitud de la barra con un espacio aislante entre elementos adyacentes para la recogida de energía en modo(s) de flexión del movimiento de la barra.

El dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con el aspecto anterior de la invención puede tener una capa piezoeléctrica que se divide para proporcionar entre 2 y 30 elementos adyacentes, preferentemente entre 6 y 20 elementos, el más preferido 20 elementos. En una realización los presentes inventores han descubierto que un número óptimo de elementos segmentados es 20 o en la región del mismo, aunque las eficiencias mejoran con entre 2 y 30 elementos.

Como se ha explicado anteriormente, el dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con el aspecto anterior de la invención comprende una capa piezoeléctrica que se divide, o se divide adicionalmente, con un espacio aislante que se extiende en la dirección longitudinal de la barra para recogida de energía en el/los modo(s) torsional(es) de vibración de la barra. Las cargas eléctricas generadas por los modos de torsión de vibración se distribuyen, durante el uso, en la misma forma que dispositivos conocidos que tienen una capa no segmentada única. Sin embargo, las cargas positiva y negativa sobre lados adyacentes del espacio no se cancelan entre sí tal como lo harían en caso contrario con un dispositivo que no tenga una capa piezoeléctrica segmentada, dado que no están eléctricamente conectadas. De ese modo la energía eléctrica generada a partir de la capa piezoeléctrica en ambos lados del espacio puede añadirse para mejorar la capacidad de generación de energía del dispositivo. El espacio aísla eléctricamente los segmentos, lo que permite la recogida de energía tanto en los modos/movimientos de flexión como de torsión.

En realizaciones preferidas el dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica puede comprender adicionalmente medios para recoger simultánea y/o secuencialmente energía eléctrica en ambos modos de torsión y de flexión de vibración de la barra. En esta forma la energía puede recogerse a partir de un único dispositivo en múltiples modos de vibración para maximizar la cantidad de energía que puede producir el dispositivo.

El dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica puede comprender adicionalmente medios para la selección de uno o más de dichos segmentos o grupos del mismo en dicha capa piezoeléctrica para la recogida de energía en uno o más modos de vibración. En esta forma es posible que solo áreas o zonas seleccionadas del

dispositivo, más específicamente de la capa piezoeléctrica, pudieran seleccionarse para recogida de energía. Áreas o zonas que tengan la mayor diferencia de potencial, con respecto al sustrato u otra referencia, podrían seleccionarse para maximizar la eficiencia del dispositivo en uno o más modos de vibración. La energía generada a partir de los segmentos o zonas seleccionadas podría sumarse o incrementar la producción del dispositivo.

Los presentes inventores han demostrado mediante estudios experimentales de un recogedor de energía en voladizo piezoeléctrico o actuador que tiene una capa piezoeléctrica que se divide en dos partes separadas, con un sustrato de soporte y una masa desequilibrada fija sobre el extremo en voladizo, que esta configuración permite la conversión de energía en ambos modos/movimientos de flexión y de torsión. Dado que los modos de torsión tienden a tener una frecuencia natural más alta que los modos de producción de orden bajo para una barra en voladizo se entenderá que el ancho de banda utilizable del dispositivo se mejora por medio de la recogida de energía en ambos modos de flexión y torsión, en ambos órdenes fundamental y más elevado del mismo.

En realizaciones preferidas la relación de grosor del sustrato/capa piezoeléctrica está sustancialmente entre 1:1 y 2:1, preferentemente la relación de grosor de sustrato/capa piezoeléctrica es sustancialmente 1:1 o 2:1. La relación de grosor entre piezoeléctrico y sustrato es un factor importante en términos de rendimiento del dispositivo de recogida de energía. Se ha descubierto que la relación de grosor óptima es independiente del tamaño y geometría (ancho y longitud) del dispositivo y la relación de grosor óptimo para la recogida de energía es de aproximadamente 1:1 en algunas realizaciones.

Preferentemente, el material del sustrato es acero.

En realizaciones preferidas, el material del sustrato tiene un grosor sustancialmente en el intervalo de 100-200 micrómetros. En un dispositivo que tenga acero como el material de sustrato la energía almacenada y la tensión en circuito abierto se ha descubierto que están en un máximo cuando el grosor del sustrato de acero es de 100 o 200 micrómetros, correspondientes a una relación de grosor de 1:1 y 2:1.

Preferentemente, el material piezoeléctrico comprende una película piezoeléctrica de fluoruro de polivinilideno (PVDF) recubierta con una capa delgada de aluminio en ambos lados de la misma.

La presente invención contempla también otros aspectos que incluyen un sensor, un sensor inalámbrico o dispositivos MEM que comprenden un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con el aspecto mencionado anteriormente de la invención.

La presente invención contempla también un sensor o sensor inalámbrico que incluye adicionalmente medios para la aplicación de una corriente eléctrica a la capa piezoeléctrica u otro elemento piezoeléctrico del dispositivo para alterar la rigidez del dispositivo y de ese modo alterar la frecuencia de resonancia natural del dispositivo. Esto puede ser útil en realizaciones en donde es útil alterar la sensibilidad el sensor.

La presente invención contempla también un actuador piezoeléctrico que comprende adicionalmente medios para la aplicación de una corriente eléctrica a la capa piezoeléctrica u otro elemento piezoeléctrico del dispositivo para provocar que el dispositivo, o una parte del mismo, flexione. Este aspecto de la presente invención encuentra aplicación particular en aplicaciones en donde se requiere movimiento, por ejemplo para proporcionar una fuerza de actuación.

El dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de la presente invención puede comprender uno o más elementos piezoeléctricos que tengan una geometría irregular. Por ejemplo, en lugar de ser de forma regular tal como un rectángulo, uno o más, o todos, los elementos pueden ser de una forma irregular.

El dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de la presente invención puede comprender elementos piezoeléctricos que tengan diferentes formas y tamaños. De ese modo, un elemento o elementos seleccionados pueden tener una forma y tamaño particulares seleccionadas de mayor eficiencia en una zona del dispositivo, y otro elemento o grupo de elementos otra. Se apreciará que en realizaciones específicas todos los elementos pueden ser de una forma y tamaño diferente.

La presente invención se describirá ahora más particularmente, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 (a) muestra una disposición esquemática de un dispositivo de captura piezoeléctrica dimorfo continuo convencional;

la Figura 1 (b) muestra una disposición esquemática de un dispositivo de captura piezoeléctrica segmentado en 20, la dimensión de la capa piezoeléctrica aquí es de 14 mm de largo, 2 mm de ancho, 0,2 mm de grueso. La segmentación con un espacio de 0,05 mm de la capa piezoeléctrica se dispone uniformemente a lo largo del eje X;

la Figura 1 (c) es una malla de modelo FE segmentado;

la Figura 2 es una representación gráfica que muestra el potencial superficial a lo largo del eje X de una configuración de placa continua conocida y configuraciones de 6, 20 segmentos de dispositivos de recogida de energía de acuerdo con una realización de la invención;

la Figura 3 es una representación gráfica del desplazamiento eléctrico a lo largo del eje X de una configuración de placa continua conocida y las configuraciones segmentadas como en la Figura 2;

la Figura 4 es una característica gráfica de la energía eléctrica almacenada respecto al número de segmentos discretos en dispositivos que tienen una capa piezoeléctrica segmentada;

la Figura 5 es una representación gráfica que muestra la respuesta dinámica de una configuración de capa continua conocida y un dispositivo con capa de 20 segmentos;

la Figura 6 es una representación esquemática de una estructura en voladizo con capa piezoeléctrica simple (o continua) conocida para un dispositivo de recogida de energía;

la Figura 7 es una representación esquemática de una estructura en voladizo de capa piezoeléctrica de película dividida para un dispositivo de recogida de energía de acuerdo con una realización de la invención;

la Figura 8 muestra la respuesta en frecuencia de una estructura de capa continua tradicional;

la figura 9 (a) muestra la respuesta en frecuencia de una película (o segmento) en la disposición de la Figura 7; y

la Figura 9 (b) muestra la respuesta en frecuencia de una película adyacente (o segmento) en la disposición de la Figura 7.

Como se ha mencionado previamente la configuración de recogida de energía en voladizo convencional se basa en una placa o capa piezoeléctrica continua, por ejemplo como se muestra en la Figura 1(a). Para conseguir una potencia de salida más alta, los inventores han descubierto que se consigue una eficiencia de recogida de energía mayor con una configuración de recogida de energía 10 en voladizo dimorfa que comprende una capa segmentada de material piezoeléctrico 12 y una capa de sustrato 14, uno de cuyos ejemplos se muestra en la Figura 1(b) y en el modelo FE de la Figura 1(c). La eficiencia incrementada del dispositivo de recogida de energía de la presente invención se ha demostrado por los inventores en un estudio de comparación uno contra otro usando métodos de elementos finitos (FEM), usando una configuración convencional (Figura 1(a)) y la configuración de la Figura 1(b) con varias segmentaciones, es decir un número diferente de elementos piezoeléctricos 16 segmentados, eléctricamente separados. En la disposición conocida mostrada en la Figura 1(a), se muestra una capa de material piezoeléctrico 12a no segmentado sobre un sustrato 14a.

A modo de antecedente, la metodología de la recogida de energía piezoeléctrica se basa en la teoría siguiente.

El efecto piezoeléctrico, la interacción entre el campo eléctrico y la mecánica fue descubierto por J. y P. Curie en 1880. La recogida de energía piezoeléctrica emplea materiales activos que generan cargas cuando se tensionan mecánicamente. Las relaciones entre esfuerzo, tensión, campo eléctrico y desplazamiento eléctrico de un voladizo dimorfo son controlados por las ecuaciones escritas en la forma fuerza-carga.

$$S = s^E T + d^T E \quad (1)$$

$$D = \varepsilon^T E + dT \quad (2)$$

En las que S es el vector de esfuerzo mecánico, T es el vector de tensión mecánica, s^E es el tensor de cumplimiento elástico, d es la constante de tensión piezoeléctrica, D es el vector de desplazamiento eléctrico, E es el vector de campo eléctrico, ε^T es el tensor de permitividad dieléctrica.

La configuración 10 de recogida de energía en voladizo dimorfa mostrada en la Figura 1(b) comprende una capa segmentada de material piezoeléctrico 12 y una capa de sustrato 14 ((cristal de silicio único). El material piezoeléctrico es preferentemente nitruro de aluminio (AlN) dado que es compatible con la tecnología CMOS estándar, tiene biocompatibilidad, buen coeficiente piezoeléctrico, buenos coeficientes de acoplamiento electromecánico, baja permitividad y elevado módulo de Young. La capa piezoeléctrica se segmenta o divide a lo largo de la longitud del sustrato de modo que cada segmento proporciona un elemento piezoeléctrico separado que está eléctricamente aislado de los segmentos de elementos adyacentes por un espacio o discontinuidad de aislamiento relativamente pequeña en la capa piezoeléctrica. En el ejemplo ilustrado se muestran los espacios entre elementos adyacentes 16 que se disponen a lo largo de la longitud del sustrato en una matriz bidimensional con los espacios extendiéndose normales a la dirección longitudinal de la barra en voladizo que comprende la capa piezoeléctrica y el sustrato. Se entenderá que la carga inducida sobre la capa piezoeléctrica 12 debido al esfuerzo

puede determinarse a partir de las ecuaciones siguientes:

$$Q_{sal} = \int_{A_p} D_{z,p} dA_p \quad (3)$$

- 5 en la que $D_{z,p}$ es el desplazamiento eléctrico, A_p es el área del elemento piezoeléctrico. La energía eléctrica almacenada del dispositivo de recogida segmentado. E_{almac} puede expresarse como

$$E_{almac} = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i * V_i}{2} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i * V_i^2}{2} = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i^2}{2C_i} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \frac{\left(\int_{A_{p,i}} D_{z,p,i} dA_{p,i} \right)^2}{C_i} \quad (4)$$

- 10 en la que Q_i , V_i , C_i , $D_{z,p,i}$, $A_{p,i}$ son la carga inducida, potencial, capacidad, desplazamiento eléctrico, área de la i-ésima pieza piezoeléctrica segmentada, respectivamente. Para configuración convencional, $N = 1$. Se ve a partir de la ecuación (4) que la energía eléctrica inducida es proporcional al valor cuadrado del desplazamiento eléctrico. Dado que las distribuciones del desplazamiento eléctrico a lo largo del eje Y son uniformes en la estructura aplicada en este caso, la energía eléctrica almacenada de los materiales piezoeléctricos depende de la distribución del
15 desplazamiento eléctrico a lo largo del eje X.

El modelizado y la simulación, típicamente basados en FEM, son etapas estándar para la investigación y predicción del rendimiento de los dispositivos de recogida de energía de alta eficiencia. El FEM mostrado en la Figura 1(c) se modelizó con software disponible comercialmente —COMSOL—. Los presentes inventores investigaron la
20 configuración de diversas segmentaciones desde 1 a 30, es decir el FEM con varios grados de segmentación, variando desde 2 segmentos separados y eléctricamente aislados a 30 en el material piezoeléctrico. En el caso de la configuración de 20 segmentos, la malla del FEM en el ejemplo descrito comprende 2328 elementos que tienen un número total de grados de libertad de 106015. Cada capa de material se divide en 3 elementos linealmente separados a lo largo del grosor (Figura 1(c)). Las propiedades del nitruro de aluminio son proporcionadas por
25 Comsol. Para la estructura de soporte —silicio—, en este ejemplo, se aplicaron las siguientes propiedades del material al modelo: módulo de Young $E = 205$ GPa, relación de Poisson $\nu = 0,28$ y densidad $\rho = 2330$ kg/m³. La fuerza puntual de 0,01 N mostrada en la Figura 1(b) se aplicó aquí para inducir esfuerzos mecánicos sobre el dispositivo. Se determinaron la tensión de salida y la energía eléctrica almacenada en el modo estático y su respuesta dinámica usando el modelo de FEM.

30 Se investigaron unos FEM basados en 2 a 30 segmentos o elementos discretos en la capa piezoeléctrica. Los valores predichos de potencial superficial y desplazamiento eléctrico lo largo del eje X de algunas configuraciones representativas, continua, 6 y 20 segmentos se muestran en las Figuras 2 y 3 respectivamente. La energía eléctrica almacenada en el modo estático se calculó de acuerdo con la ecuación (4). Puede verse a partir de la Figura 4 que
35 cuando la capa piezoeléctrica se divide en 20 piezas, la energía eléctrica almacenada tiene un valor máximo en el FEM investigado.

En modo dinámico, y como se muestra en la Figura 5, la energía eléctrica almacenada en la configuración continua (segmentación cero) es $1,98 \times 10^{-9}$ J a una frecuencia de resonancia de 1120 Hz, mientras que la energía eléctrica
40 almacenada de la configuración de 20 segmentos es $3,86 \times 10^{-9}$ J a 1120 Hz.

En resumen los inventores investigaron tanto el rendimiento estático como dinámico de recogedores de energía basados en AIN de capa piezoeléctrica de varios elementos. Los resultados de los análisis y simulación teóricos de esas configuraciones han mostrado que una configuración segmentada tiene una producción de energía eléctrica
45 más alta que las estructuras conocidas, es decir disposiciones no segmentadas. Más aún, las configuraciones segmentadas tienen una frecuencia de resonancia más baja, lo que incrementa la capacidad para adaptarse a la frecuencia o frecuencias de vibración ambientales y de ese modo incrementar la potencia de salida de un dispositivo de recogida de energía de acuerdo con este aspecto de la invención.

50 En referencia ahora a las Figuras 6 a 9(b), una realización adicional de un dispositivo 20 de recogida de energía en voladizo piezoeléctrica mostrado en la Figura 7 comprende una capa piezoeléctrica 22 dividida en un par de tiras 24 y 26 que se extienden longitudinalmente en paralelo adyacentes, de sustancialmente el mismo tamaño y forma, una estructura de soporte 28 y una masa fija 30 desequilibrada sobre el extremo libre o distal del sustrato en voladizo. En esta realización las tiras 24 y 26 piezoeléctricas están eléctricamente aisladas entre sí por el espacio longitudinal 32
55 en el material piezoeléctrico entre las tiras. Como se explicará adicionalmente, esta disposición permite una conversión de energía en ambos modos/movimientos de flexión y de torsión.

Se entenderá que en esta realización, la carga eléctrica generada por las dos tiras piezoeléctricas 24 y 26, en movimientos/modos torsionales puros, será más o menos igual para cada tira. Sin embargo, la carga generada por
60 cada tira tendrá una polaridad opuesta a la otra, una positiva, una negativa. En esta realización de las tiras piezoeléctrica se definen elementos discretos que, durante el uso, no se cancelan entre sí como en disposiciones

conocidas tal como la que se muestra en la Figura 1(a), debido al hecho de que las dos tiras piezoeléctricas están eléctricamente separadas por el delgado espacio 32 en la parte media de la capa piezoeléctrica.

En una investigación experimental adicional se realizó una comparación directa entre las características de rendimiento de un dispositivo de recogida de energía piezoeléctrica dimorfo construido de acuerdo con la presente realización de la invención (Figura 7) y un dispositivo de una construcción conocida (Figura 6) similar a la mostrada en la Figura 1(a) y previamente denominada como la configuración en capa continua. Ambos dispositivos se construyeron en el estudio experimental usando una capa piezoeléctrica de material de PVDF, y un delegado sustrato de acero en voladizo, con la capa piezoeléctrica dividida en tiras paralelas en el dispositivo de acuerdo con la presente realización como se ha descrito previamente.

Los dispositivos de las Figuras 6 y 7 comprenden ambos una estructura de voladizo piezoeléctrica que comprende una película piezoeléctrica de fluoruro de polivinilideno (PVDF) recubierta con una delgada capa de aluminio en ambos lados y un sustrato en voladizo de acero. La película de PVDF se adhirió sobre el sustrato en voladizo de acero por medio de un epoxi conductor. En este sentido se entenderá que un lado de la película está conectado al sustrato de acero y el otro lado está abierto. Se unió una masa de acero desequilibrada que medía 9 mm x 8 mm x 6 mm al extremo libre o distal del voladizo con un epoxi no conductor.

La estructura se ilustra en las Figuras 6 y 7 mostrando las dimensiones del sustrato de acero y la película de PVDF piezoeléctrica. La realización en voladizo de película dividida de la Figura 7 se construye con dos películas de PVDF delgadas que se fijan sobre la superficie del sustrato. En las Figuras 6 y 7 se entenderá que el extremo proximal más ancho del voladizo respectivo se fija sobre un soporte (no mostrado) que se fija a una tabla de sacudida (no mostrada) para la finalidad de la investigación experimental anteriormente mencionada.

En la investigación anteriormente mencionada, se usó un sacudidor mecánico (LDS V406) para la generación de una fuerza mecánica oscilante. El sacudidor fue accionado por un generador de función programable TITG1010 comercialmente disponible que produce una señal sinusoidal de 800 mV pico a pico en los terminales del sacudidor. La salida de la película piezoeléctrica se conectó a un osciloscopio.

Las características de respuesta en frecuencia (tensión respecto a frecuencia) de ambas estructuras piezoeléctricas, Figuras 6 y 7, tal como se determinaron por dicho experimento, se presentan en las Figuras 8 y 9(a), 9(b), respectivamente. Para la disposición conocida de la Figura 6, los terminales de salida del dispositivo son la superficie superior de la película de PVDF y los terminales del sustrato. La Figura 8 muestra la respuesta de la estructura conocida con diferentes frecuencias de excitación mecánica. Puede verse que hay tres picos principales a 16,4 Hz, 195 Hz y 590 Hz. Puede notarse que hay una diferencia considerable entre las tensiones de salida a diferentes frecuencias de resonancia. La tensión máxima tiene lugar a 195 Hz con un valor de pico a pico de 4,8 V.

En la disposición de la Figura 7 la tensión de salida para ambas películas se midió entre la película respectiva y el sustrato. La Figura 9(a) y la Figura 9(b) muestran las respuestas en frecuencia de las películas superior e inferior respectivamente. Una de las películas, denominada de aquí en adelante como la película superior, tiene cuatro picos principales (un pico extra respecto a la configuración conocida de la Figura 6), mientras que la otra película, de aquí en adelante denominada como la película inferior, tiene tres picos principales. En la Figura 9(a), tres de los picos son a frecuencias próximas a los picos de la película simple (18 Hz, 200 Hz y 630 Hz). El pico restante es a 575 Hz. Para la película inferior, el pico a 575 Hz no es claro; en su lugar se muestra una curva con forma de campana de gauss ensanchada centrada alrededor de 630 Hz. Con respecto a la amplitud, la estructura conocida genera una tensión más alta que la nueva estructura, lo que es debido al área mucho mayor del material piezoeléctrico de la estructura conocida usada en el experimento. La tensión máxima que se midió en la estructura clásica fue 4,8 V, y la tensión medida máxima en una de las películas del nuevo dispositivo fue 1,14 V.

En el intervalo de bajas frecuencias, alrededor de 15-20 Hz, ambas estructuras conocida y de película dividida, tienen una resonancia mecánica. En el caso de la estructura conocida se observó que cuando el sacudidor mecánico tiene una señal sinusoidal de entrada de 800 mV pico a pico a una frecuencia de resonancia de 16,5 Hz, la señal de salida es lineal y retardada en una pequeña fase. La tensión pico a pico a esta frecuencia es de 2,32 V. La salida del dispositivo de película dividida se midió a casi la misma frecuencia de resonancia (18 Hz) y la salida de ambas películas superior e inferior bajo las mismas condiciones de entrada se observó que era aproximadamente 1 V pico a pico para cada película.

Para validar la teoría de que el voladizo piezoeléctrico de película dividida trabaja en los modos de flexión y de torsión, los presentes inventores observaron las tensiones de salida medidas de ambas películas a 18 Hz y 200 Hz. La salida de las películas se descubrió que la estaban casi en fase indicando que la estructura de la película dividida piezoeléctrica estaba en el modo de flexión a estas frecuencias. Un desplazamiento de fase de 180° observado entre las películas superior e inferior a 560 Hz mostró que el modo de resonancia de la estructura de película dividida experimental a esa frecuencia tenía componentes torsionales. Se entenderá que si las salidas de ambas películas de la estructura de película dividida se combinan usando un desplazamiento de fase externo, puede conseguirse una tensión pico a pico de 2,5 V y con un incremento sustancial en la potencia de salida.

5 En resumen, las Figuras 6 a 9(b) describen la validación mediante experimento de una novedosa estructura de recogida de energía piezoeléctrica que tiene la ventaja de recoger tanto los movimientos de flexión como de torsión. En comparación con un dispositivo conocido, la estructura de película dividida comprende dos películas piezoeléctricas divididas sobre el sustrato común. Se ensayaron y caracterizaron tanto la estructura en voladizo piezoeléctrica conocida como la de película dividida con respecto a la respuesta en frecuencia y salida de potencia. Por el experimento los presentes inventores han confirmado que la estructura de película dividida puede recoger tanto los movimientos de flexión como de torsión.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica que comprende un material piezoeléctrico sobre un sustrato, en el que dicho material piezoeléctrico se divide en una pluralidad de zonas discretas para proporcionar una pluralidad de elementos piezoeléctricos sobre el sustrato que están eléctricamente aislados entre sí, en el que los elementos se disponen a lo largo de la longitud de una barra en voladizo, caracterizado por que la capa piezoeléctrica se divide, o se divide adicionalmente, con un espacio de aislamiento que se extiende en la dirección longitudinal de la barra para una recogida de energía en modo(s) torsional(es) de vibración de la barra.
2. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dichos elementos se disponen en una matriz con un espacio eléctricamente aislante entre elementos adyacentes.
3. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que la barra está provista con un peso equilibrado o desequilibrado.
4. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que los elementos se disponen en una disposición de extremo a extremo a lo largo de la longitud de la barra con un espacio aislante entre elementos adyacentes para la recogida de energía en modo(s) de flexión del movimiento de la barra.
5. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente que comprende adicionalmente medios para recoger simultánea y/o secuencialmente energía eléctrica en ambos modos de torsión y de flexión de vibración de la barra.
6. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que la capa piezoeléctrica se divide para proporcionar entre 2 y 30 elementos adyacentes, preferentemente entre 6 y 20 elementos, de manera más preferente 20 elementos.
7. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente que comprende adicionalmente medios para la selección de uno o más de dichos segmentos o grupos de los mismos en dicha capa piezoeléctrica para la recogida de energía.
8. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que la relación de grosor del sustrato/capa piezoeléctrica está sustancialmente entre 1:1 y 2:1, preferentemente 1:1 o 2:1.
9. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que el material del sustrato tiene un grosor sustancialmente en el intervalo de 100-200 micrómetros.
10. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que el material piezoeléctrico comprende una película piezoeléctrica de fluoruro de polivinilideno (PVDF) recubierta con una capa delgada de aluminio en ambos lados de la misma.
11. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que la capa piezoeléctrica se segmenta de tal manera que al menos una de las superficies del material piezoeléctrico es eléctricamente discontinua de modo que se minimizan las corrientes superficiales.
12. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que uno o más de los elementos piezoeléctricos tiene una geometría irregular.
13. Un dispositivo o actuador de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en el que al menos elementos piezoeléctricos seleccionados tienen diferentes formas y/o tamaños.
14. Un sensor que comprende un dispositivo de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.
15. Un sensor inalámbrico que comprende un dispositivo de recogida de energía piezoeléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.

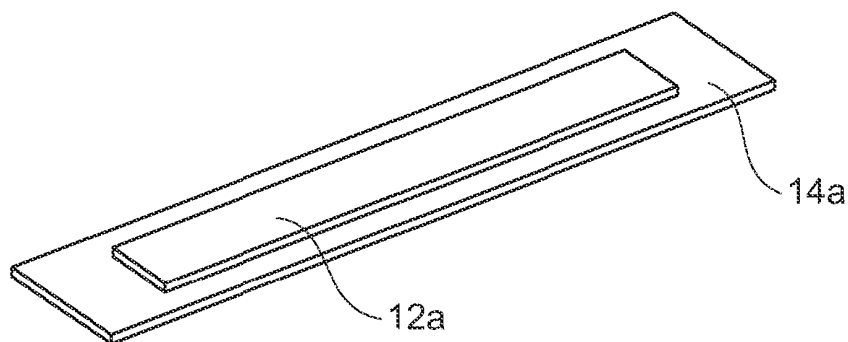


Fig. 1a

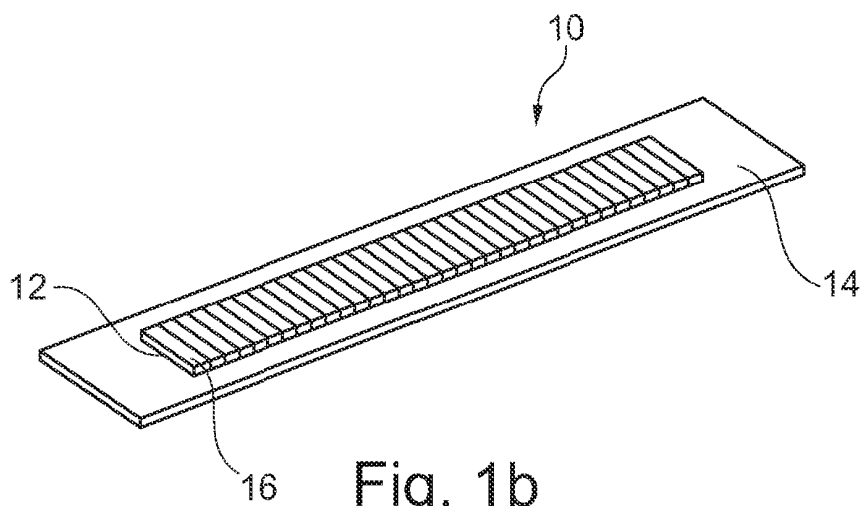


Fig. 1b

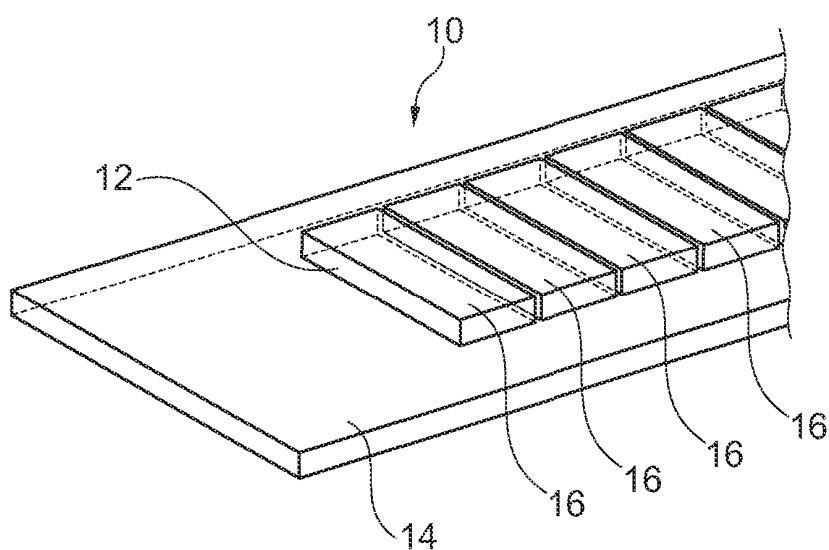


Fig. 1c

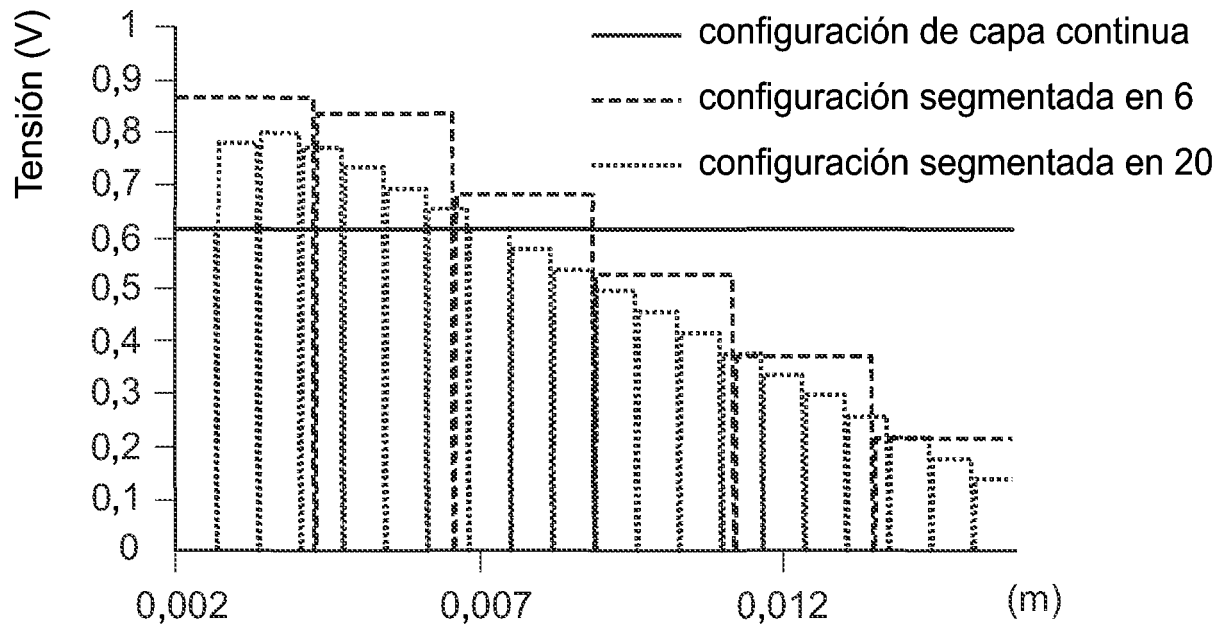


Fig. 2

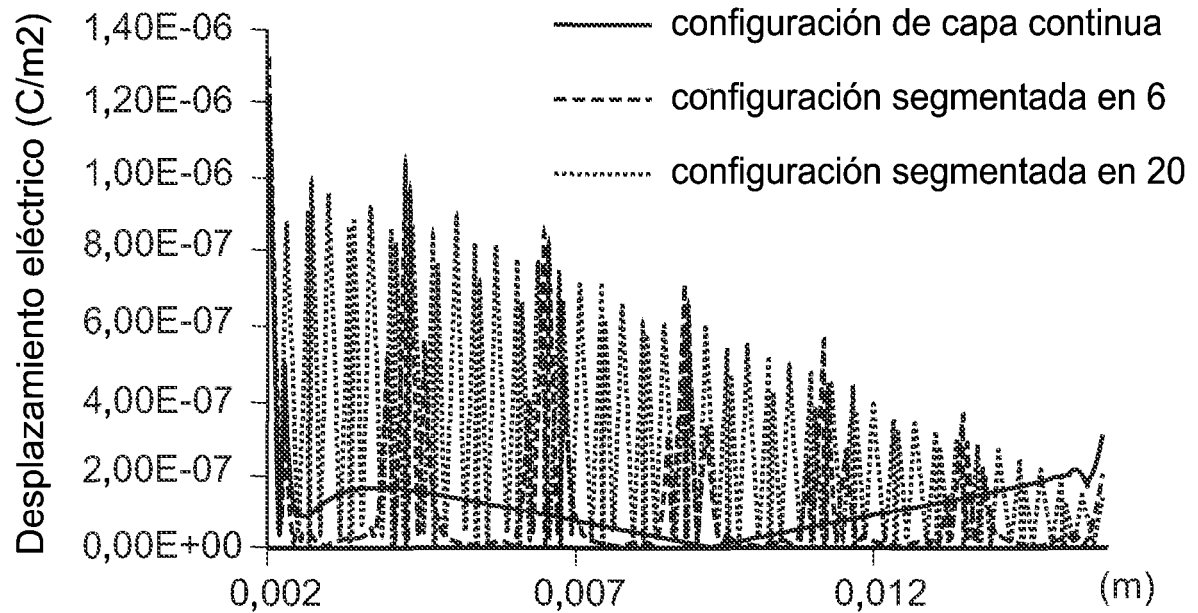


Fig. 3

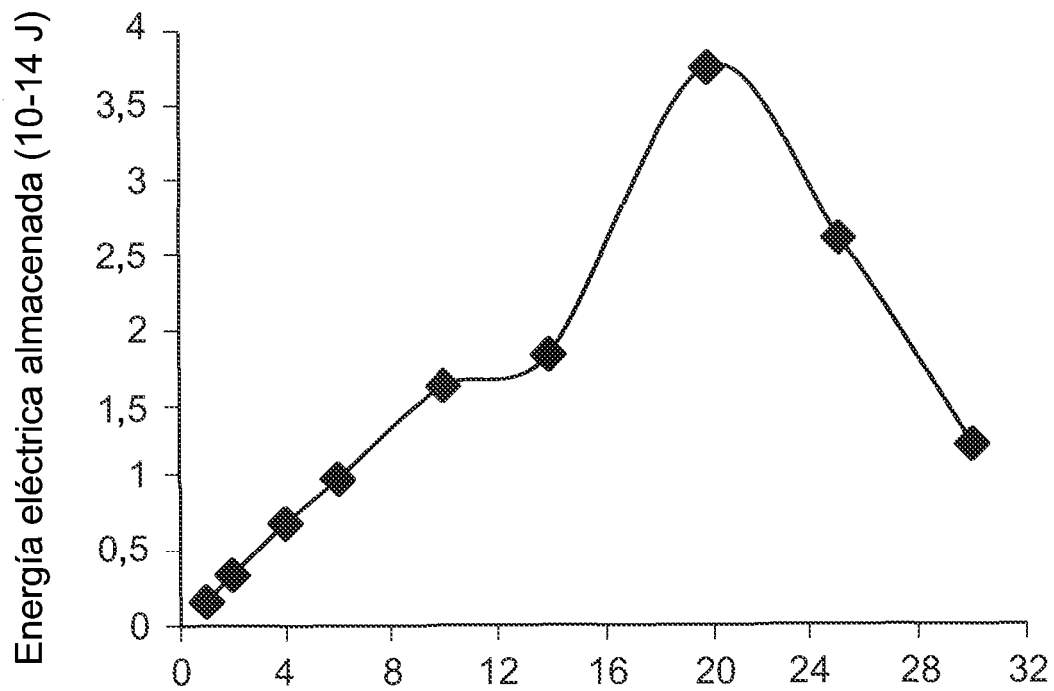


Fig. 4

Espectro de la energía eléctrica almacenada (J)

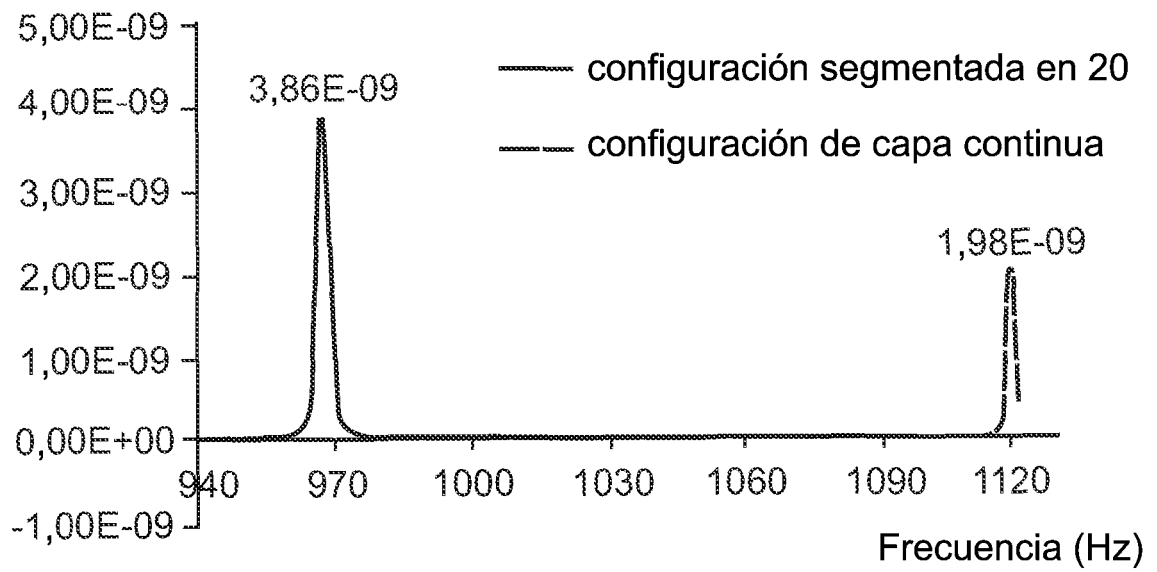


Fig. 5

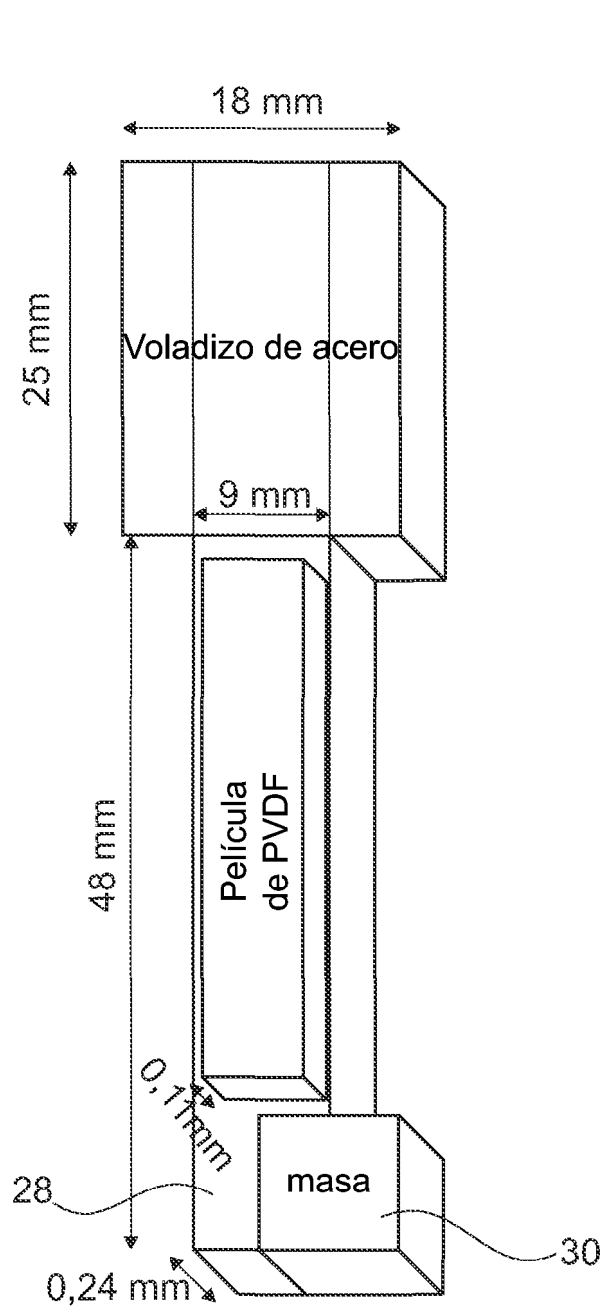


Fig. 6

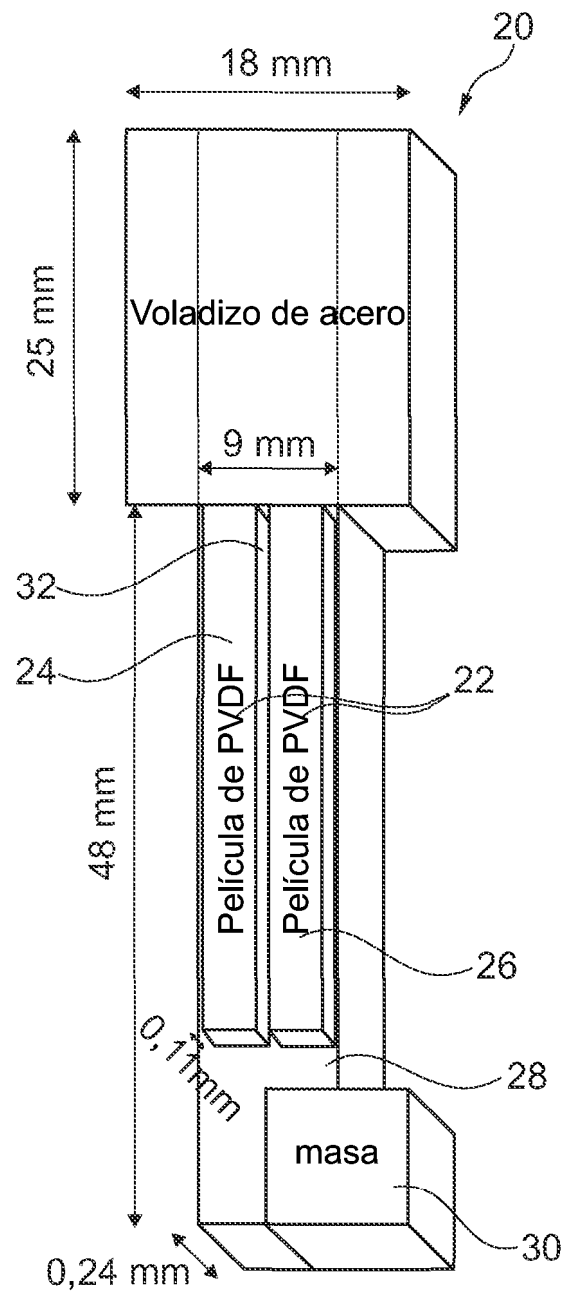


Fig. 7

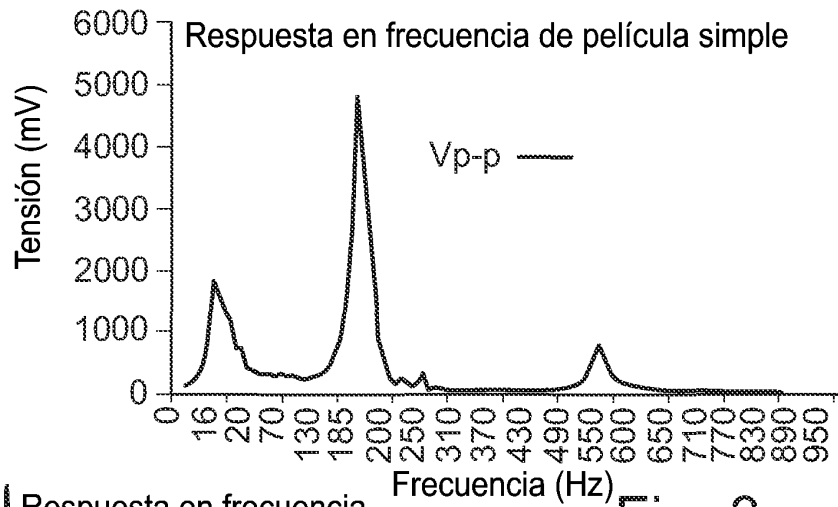


Fig. 8

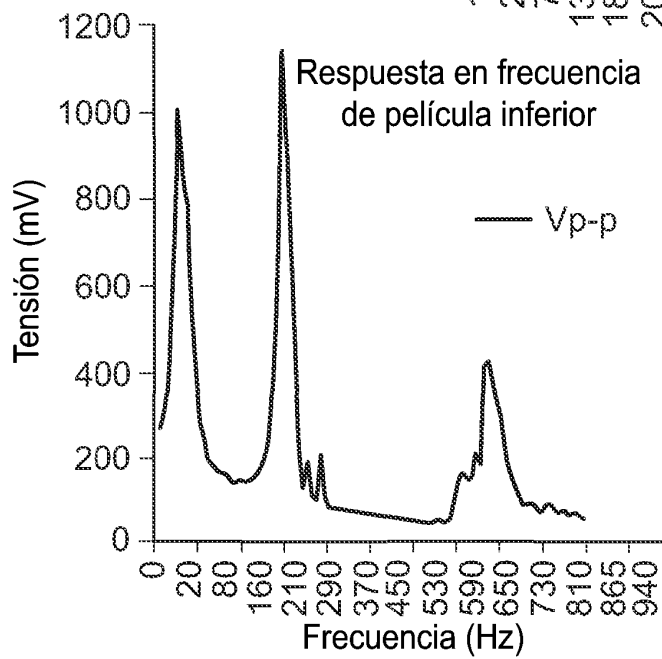


Fig. 9a

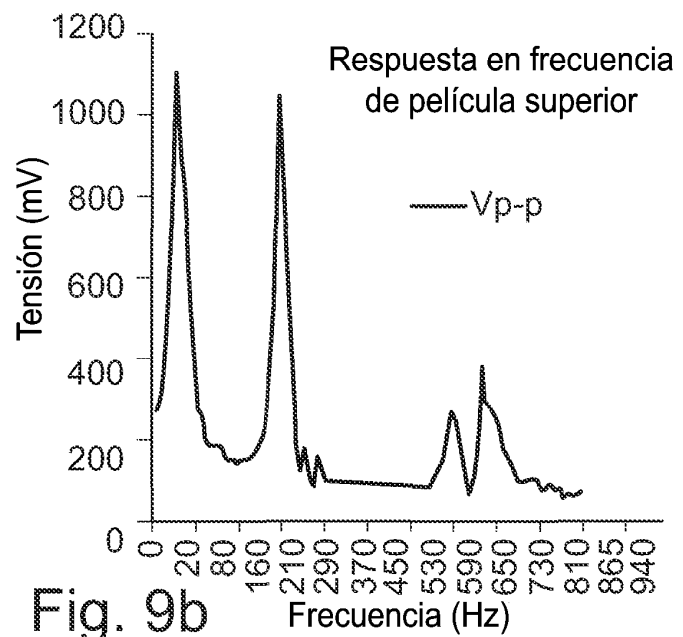


Fig. 9b