

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 715**

51 Int. Cl.:
H01L 41/047 (2006.01)
H01L 41/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08732677 .3**
- 96 Fecha de presentación: **21.03.2008**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2140505**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.01.2010**

54 Título: **Sistemas de recogida de energía vibracional piezoeléctrica que incorpora una recogida de energía en el modo de curvatura paramétrico**

30 Prioridad:
21.03.2007 US 896077 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.10.2012

73 Titular/es:
**THE UNIVERSITY OF VERMONT AND STATE
AGRICULTURAL COLLEGE (100.0%)
85 SOUTH PROSPECT STREET
BURLINGTON, VT 05405, US**

72 Inventor/es:
**ANDOSCA, ROBERT, G. y
WU, JUNRU**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 389 715 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

Sistemas de recogida de energía vibracional piezoeléctrica que incorpora una recogida de energía en el modo de curvatura paramétrico

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere, en general, al campo de recogida de energía vibracional. En particular, la presente invención se refiere al sistema de recogida de energía vibracional piezoeléctrica que incorpora la recogida de energía en el modo de curvatura paramétrico.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Durante el último cuarto de siglo se ha producido un aumento muy importante en el nivel de integración de los circuitos integrados (ICs). Al mismo tiempo, se produjo una disminución significativa correspondiente en la magnitud de los circuitos integrados ICs. Por ejemplo, la anchura de una puerta de MOSFET (transistor de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor) está actualmente en el orden de magnitud de 45 nm y está previsto que sea de 18 nm en 2010. Esto es menos que 1/500 de la anchura de un cabello humano. Los componentes del circuito integrado ICs no solamente se han reducido en tamaño en gran medida, sino que también se redujo su consumo de energía. Los circuitos integrados suelen fabricarse utilizando circuitos de tecnología CMOS (semiconductor de metal-óxido complementario), que se fabrica a partir de dispositivos de n-FET y p-FET duales. Los circuitos de tecnología CMOS consumen mucha menos energía que los circuitos puramente nMOS o puramente pMOS.

15

20

La reducción en el tamaño y en el consumo de energía de los circuitos integrados ha dado lugar a la reciente proliferación de la tecnología de circuitos integrados inalámbricos, de la que no se disponía hace tan solo una década. Actualmente, existe una diversidad de dispositivos que utilizan circuitos inalámbricos de baja potencia, incluyendo ordenadores portátiles, teléfonos móviles, reproductores MP3, teléfonos inteligentes, auriculares de telefonía, teléfonos de auriculares, encaminadores, unidades de control de juegos, adaptadores de Internet móviles y cámaras espía, por nombrar tan solo unos pocos. Por supuesto, cada uno de estos dispositivos requiere alguna clase de suministro de energía autónomo para su funcionamiento. En condiciones normales, los suministros de energía para estos dispositivos son baterías eléctricas, que suelen ser baterías sustituibles.

25

30

Un campo de tecnología inalámbrica de importante interés actual, y que es el objetivo de numerosos trabajos de investigación, es el campo de las redes de sensores inalámbricos. En realidad, los investigadores tienen previsto que en el futuro se incluya una amplia adopción de redes de sensores inalámbricos (WSNs). En las redes WSNs, sensores inalámbricos se distribuirán a través de un entorno particular para constituir una malla o red *ad-hoc* que retransmita los datos de las mediciones a un concentrador central. El entorno particular podría ser cualquiera de entre un automóvil, una aeronave, una fábrica y un edificio, entre muchos otros. Una red WSN comprenderá varias decenas de miles de nodos de sensores inalámbricos que funcionarán utilizando transmisiones multisalto a través de cortas distancias. Cada nodo inalámbrico incluirá, por lo general, un sensor, circuitos electrónicos inalámbricos y una fuente de suministro de energía. El resultado será la creación de un entorno inteligente en respuesta a sus condiciones y habitantes, si los hubiere.

35

40

Un nodo de sensor inalámbrico, de forma similar a los demás dispositivos inalámbricos anteriormente citados, necesita alguna clase de suministro de energía eléctrica autónomo para proporcionar energía a los circuitos electrónicos situados en ese nodo. A tal respecto, se podrían utilizar baterías convencionales, tales como baterías de litio-ión, baterías de zinc-aire, baterías de litio, pilas alcalinas, baterías de níquel-metal-hidruro y baterías de níquel-cadmio. Sin embargo, para los nodos sensores inalámbricos diseñados para funcionar más allá de la vida útil típica de dichas baterías, en algún momento se tendrían que sustituir las baterías. Esto podría representar importantes problemas y aumento de gastos dependiendo del número de nodos en cuestión y de la accesibilidad de dichos nodos, sin mencionar la necesidad de disposición de las baterías. En consecuencia, alternativas a las baterías y otros tipos de suministro de energía que necesitan una atención periódica, tal como pilas de combustible de micro-tamaño, será deseables para numerosas redes WSNs.

45

50

Dichos suministros de energía autónomos alternativos se basarían normalmente en la recuperación (o "recogida") de energía desde el entorno ambiente de un nodo sensor inalámbrico. Por ejemplo, si el nodo sensor inalámbrico está expuesto a luz suficiente, el suministro de energía autónomo alternativo podría incluir células fotoeléctricas o solares. Como alternativa, si el nodo sensor inalámbrico está expuesto a un movimiento de aire suficiente, el suministro de energía alternativo podría incluir una micro-turbina para recoger energía desde el aire en movimiento. Otros suministros de energía autónomos alternativos podrían basarse también en las fluctuaciones de la temperatura, fluctuaciones de la presión u otras influencias medioambientales.

55

60

Sin embargo, existirán numerosos casos en los que el medio ambiente no incluya cantidades suficientes de luz, movimiento del aire, fluctuación de la temperatura y variación de la presión para proporcionar energía suficiente para un nodo sensor inalámbrico particular. Sin embargo, el nodo sensor puede estar sometido a vibraciones constantes y/o bastante predecibles, por ejemplo, que emanen de la estructura que soporta el nodo o a la que está unido el nodo. En

65

este caso, se puede utilizar un recuperador (o colector) de energía vibracional que esencialmente convierta la energía vibracional en energía eléctrica.

Un tipo particular de dispositivo de recogida de energía vibracional utiliza vigas resonantes que incorporan un material piezoeléctrico, que genera una carga eléctrica cuando se deforman durante la resonancia de las vigas causadas por las vibraciones ambientales (fuerzas impulsoras). Un inconveniente de numerosos dispositivos de recogida de energía vibracional piezoeléctrica convencionales (PVEHs) es que son dispositivos con amortiguamiento mínimo que tienen factores de alta calidad (Q). De este modo, son efectivos solamente con anchos de banda muy pequeños de frecuencia vibracional. Esto le hace problemático bajo cualquiera o más de una diversidad de circunstancias, de modo que cuando el nodo sensor inalámbrico está sujeto a variaciones de la temperatura que cambian la sintonía del PVEH, cuando la frecuencia de las vibraciones ambientales varía en el tiempo y cuando los métodos de fabricación utilizados para obtener el PVEH causan variación en la sintonía 'tal como se construye' de los PVEH.

SUMARIO DE LA INVENCION

Una forma de realización de la presente invención es un sistema de recogida de energía vibracional. El sistema de recogida de energía vibracional incluye: una viga resonante que tiene propiedades de sección transversal, una frecuencia de resonancia fundamental en una primera dirección de curvatura y una frecuencia en modo paramétrico en una segunda dirección de curvatura perpendicular a dicha primera dirección de curvatura, en donde dichas propiedades de sección transversal se seleccionan para sintonizar dicha frecuencia de resonancia fundamental a una primera frecuencia deseada y para sintonizar dicha frecuencia en el modo paramétrico a una segunda frecuencia deseada, incluyendo dicha viga resonante material piezoeléctrico para generar energía eléctrica en respuesta a la curvatura de dicha viga resonante en cada una de dichas primera y segunda direcciones de curvatura.

Una aplicación que no es parte de la presente invención es una unidad de recogida de energía vibracional. La unidad de recogida de energía vibracional incluye: una pluralidad de módulos de recogida de energía vibracional piezoeléctrica (PVEH) eléctricamente conectados entre sí, en donde cada uno de dichos módulos PVEH incluye una pluralidad de vigas PVEH habilitadas en el modo paramétrico, estando cada una configurada para la recogida de carga eléctrica desde cada una de entre una excitación de resonancia fundamental y una excitación en modo paramétrico.

Otra aplicación que no es parte de la presente invención es un sensor inalámbrico. El sensor inalámbrico incluye: un transductor para recogida de datos; un transmisor inalámbrico para transmitir los datos a un receptor separado del sensor inalámbrico y un sistema de suministro de energía de recogida de energía vibracional piezoeléctrica (PVEH) habilitado para el modo paramétrico (PME), en comunicación eléctrica con cada uno de dicho transductor y dicho sensor inalámbrico, estando dicho suministro de energía PME PVEH configurado para recuperar la energía vibracional en un medio ambiente para el sensor inalámbrico cuando esté en uso para generar energía eléctrica para su utilización en la alimentación de dicho transductor y dicho transmisor inalámbrico durante su utilización.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Para los fines de ilustrar la invención, los dibujos muestran aspectos de una o más formas de realización de la invención. Sin embargo, ha de entenderse que la presente invención no está limitada a las disposiciones e instrumentalidades precisas ilustradas en los dibujos, en donde:

La Figura 1 es una vista isométrica de un ejemplo de una unidad de recogida de energía vibracional piezoeléctrica (PVEH) fabricada en conformidad con los conceptos de la presente invención;

La Figura 2A es una vista en planta ampliada de uno de los módulos PVEH del sistema representado en la Figura 1, que muestra múltiples grupos de vigas PVEH habilitadas en el modo paramétrico (PME); la Figura 2B es una vista en sección transversal parcial ampliada y en despiece de tres de los módulos PVEH, representados en la Figura 1, que ilustran sus configuraciones inmediatamente antes de su unión mutua; la Figura 2C es una vista en sección transversal parcial ampliada de los seis módulos de PVEH superiores de la Figura 1 fijados entre sí en la pila acabada;

La Figura 3 es una representación gráfica de un espectro de frecuencia típico (tensión en relación con la frecuencia) para una viga PVEH del tipo voladizo fabricada utilizando prácticas convencionales;

La Figura 4 es una representación gráfica de espectros de frecuencias (tensión en relación con la frecuencia) para un conjunto de vigas PME PVEH de tipo voladizo fabricadas utilizando conceptos de la presente invención, ilustrando la representación gráfica los efectos de diferentes relaciones de anchura: espesor sobre los espectros de frecuencias de las vigas diferentes;

La Figura 5 es una representación gráfica de un espectro de frecuencias (tensión en relación con la frecuencia) para un módulo PVEH que contiene tres grupos de vigas PME en donde los grupos están sintonizados a frecuencias ligeramente distintas;

La Figura 6 es una vista en sección transversal longitudinal ampliada de una viga PME PVEH bimorfa fabricada en conformidad con los conceptos de la presente invención;

La Figura 7 es una vista en sección transversal según se toma a lo largo de la línea 7-7 de la Figura 6;

La Figura 8 es una vista en sección transversal de una viga PME PVEH monomorfa fabricada en conformidad con los conceptos de la presente invención;

Las Figuras 9A-P son una serie de diagramas que ilustran etapas de un proceso de fabricación que se puede utilizar para obtener una viga PME PVEH monomorfa, en donde cada una de las Figuras 9A-P contiene una vista en sección transversal longitudinal y una vista en sección transversal relativas a la viga acabada;

Las Figuras 10A-B son una serie de diagramas que ilustran etapas alternativas que se pueden utilizar para obtener una viga PME PVEH monomorfa, en donde cada una de las Figuras 10A-B contiene una vista en sección transversal longitudinal y una vista en sección transversal relativas a la viga acabada;

La Figura 11 es una vista esquemática/diagramática de un sensor inalámbrico obtenido en conformidad con los conceptos de la presente invención y

La Figura 12 es un diagrama de bloques de una red de sensores inalámbricos que utilizan cada uno una fuente de suministro de energía basada en PME para la alimentación eléctrica de cada sensor en placa y las comunicaciones dentro de la red.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Haciendo referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 ilustra un ejemplo de una unidad de recogida de energía vibracional piezoeléctrica (PVEH) 100 obtenida en conformidad con los conceptos de la presente invención. Como apreciarán los expertos en esta materia, dicha unidad PVEH se puede utilizar para generar energía eléctrica a partir de la energía vibracional recuperada en el medio ambiente en el que está montada o de cualquier otro modo, colocada, la unidad PVEH. Aunque la unidad PVEH 100 ilustrada en la Figura 1 está en el ámbito del régimen de tamaños de microescala, este ejemplo particular es de una forma aproximadamente paralelepípedica rectangular de aproximadamente 7,5 mm a lo largo de cada borde base y de 13,5 mm a lo largo de la altura, mientras que otras unidades PVEH obtenidas en conformidad con los conceptos de la presente invención se pueden construir, de forma alternativa, en otro régimen dimensional, tal como un régimen de tamaños de mesoescala, que utiliza técnicas de fabricación que serán fácilmente entendidas por los expertos en esta técnica. Debido al tamaño de la unidad PVEH 100 ejemplo, los expertos en esta técnica reconocerán que se pueden obtener utilizando técnicas de fabricación de MEMS (sistemas microelectromecánicos). Ejemplos de técnicas de fabricación de MEMS se describen a continuación en relación con las Figuras 9A-P y 10A-B.

Las unidades PVEH obtenidas en conformidad con los conceptos de la presente invención, tal como la unidad PVEH 100, son en particular, aunque no exclusivamente, adecuadas para aplicaciones en donde los dispositivos se utilizan para el suministro de energía, en forma requerida o deseada, para hacer el dispositivo autónomo por cualquiera o más de una diversidad de razones, tales como inaccesibilidad física, inviabilidad de proporcionar hilos de suministro de energía o cambiar las baterías, indisponibilidad de fuentes de suministro de energía alternativas y coste, entre otros. No resulta práctico proporcionar un listado de todas las aplicaciones que pueden beneficiarse de la puesta en práctica de amplios conceptos de la presente invención. Sin embargo, puesto que las redes de sensores inalámbricos son actualmente una aplicación objetivo importante para esta tecnología, la presente invención contiene ejemplos de puesta en práctica de estos conceptos en un sensor inalámbrico y en una red de sensores que contiene dicho sensor inalámbrico. Según lo anteriormente expuesto, los expertos en esta materia apreciarán fácilmente que las redes de sensores inalámbricos no son, en absoluto, la única posible aplicación para los amplios conceptos aquí dados a conocer.

Con referencia continuada a la Figura 1, y también a la Figura 2A, a un nivel alto, la unidad PVEH 100 de este ejemplo incluye dieciséis módulos PVEH 104A-P (uno de los cuales, el módulo 104C, se representa en detalle en la Figura 2A). Los módulos 104A-P comparten la misma construcción general, que incluye una pluralidad de grupos o vigas PVEH similares, en donde la totalidad de las vigas, con un grupo, están sintonizadas a la misma frecuencia y la sintonía de las vigas difiere entre los grupos. Esta circunstancia operativa se ilustra en la Figura 2A por el módulo 104C que tiene seis grupos 200A-F que contiene cada uno ocho vigas PVEH idénticamente sintonizadas 204A-F (en este ejemplo, vigas de tipo voladizo) y en donde las sintonías de las vigas difieren entre los seis grupos. En este ejemplo, las diferentes sintonías se proporcionan cambiando las longitudes activas L_A a L_F de las vigas PVEH, 204A-F, respectivamente, según se representa en la Figura 2A. Ejemplos de formas adicionales/alternativas para variar las sintonías de vigas PVEH, 204A-F, se indican a continuación. Conviene señalar también que, en este ejemplo, cada viga PME PVEH, 204A-F, es una viga "bimorfa" en términos de la disposición de un material piezoeléctrico utilizado para fabricar las vigas y es también una viga de "electrodo dividido" en función de la manera en que los electrodos efectúan la recogida de energía eléctrica desde el material piezoeléctrico, estando especialmente configuradas para la recogida de energía desde la excitación en el modo paramétrico de la viga. Cada uno de los conceptos de electrodos divididos y bimorfos se describe a continuación en detalle.

Como se apreciará por los expertos en esta materia, el módulo PVEH 104C, ilustrado en la Figura 2A, es simplemente un ejemplo de un número prácticamente infinito de configuraciones de un módulo PVEH, que se pueden construir utilizando los amplios conceptos dados a conocer en la presente invención. Lo que sigue son algunos de los elementos que se pueden cambiar, solos y en diversas combinaciones entre sí, para proporcionar diseños diferentes: 1) el número de vigas PVEH en cada grupo puede diferir de las ocho ilustradas en diferentes diseños; 2) el número de vigas PVEH se puede variar entre los grupos; 3) el número de los grupos puede diferir de los seis ilustrados; 4) el número de grupos no idénticos puede ser diferente de los seis ilustrados; 5) cada módulo puede tener dos o más grupos que sean idénticos entre sí y 6) las vigas PVEH pueden ser distintas de las del tipo voladizo, tales como las del tipo de extremo fijo dual, las del tipo de extremo fijado dual, las del tipo de simplemente soportadas y las del tipo mixto que son combinaciones de otros tipos, entre otros. Las condiciones de soporte no limitan esa aplicación de los amplios conceptos de la presente invención.

Además, la totalidad de los módulos PVEH 104A-P, no necesitan ser los mismos que el módulo 104C ilustrado en la Figura 2. Por ejemplo, si se desean ajustes de sintonías de vigas diferentes, los dieciséis módulos PVEH 104A-P, representados en la Figura 1, pueden ser idénticos. Sin embargo, seis sintonías de vigas diferentes se pueden proporcionar en otras formas. Por ejemplo, cada módulo PVEH puede proporcionar dos sintonías diferentes, de modo que al menos otros dos de los módulos proporcione cada uno, todavía, dos sintonías diferentes. A modo de otro ejemplo, los módulos PVEH completos pueden tener solamente una sintonía de viga, de modo que las seis sintonías diferentes se proporcionen por al menos seis módulos que tengan todos ellos sintonías que difieran entre sí. Lo anterior es solamente una muestra de numerosas variaciones que se pueden realizar para conseguir un objetivo deseado.

Conviene señalar también que una unidad PVEH obtenida utilizando los amplios conceptos dados a conocer en la presente invención puede variar en el número de sintonías de vigas diferentes en función de los parámetros de diseño particulares en cuestión. Por ejemplo, en algunas aplicaciones, solamente se necesitará una sintonía de viga única para una unidad PVEH completa, mientras que, para otras aplicaciones, tres, seis, diez o más sintonías diferentes pueden resultar ventajosas. Algunos factores implicados en la determinación de cuántas sintonías de vigas deben proporcionarse se examinan a continuación.

Una unidad PVEH obtenida en conformidad con los conceptos de la presente invención, tal como una unidad PVEH 100 de la Figura 1, incluirá cualquiera o más de varias características que pueden proporcionarle una densidad de potencia relativamente alta (potencia generada por volumen unidad) y puede proporcionarle una respuesta de frecuencia relativamente amplia. Estas características incluyen vigas PVEH, de diseño especial, que no solamente recuperan la energía vibracional a partir de la excitación en el modo fundamental de las vigas en la dirección de la vibración impulsora, sino también recuperar energía a partir de la excitación en modo paramétrico de las vigas. La excitación en el modo paramétrico es un modo de resonancia no lineal perpendicular a la fuerza impulsora (vibración). Las vigas PVEH de la presente invención, que están especialmente diseñadas para recuperar energía a partir de la excitación en el modo paramétrico son convenientemente referidas, aquí y en las reivindicaciones adjuntas, como "habilitadas en el modo paramétrico" o "PME". Variando las propiedades de sección transversal de cada viga PME, la frecuencia de la excitación en el modo paramétrico de esa viga es susceptible de sintonización para crear el efecto deseado de aumentar la densidad de potencia de una unidad PVEH o de aumentar el ancho de banda de excitación efectiva de la unidad o ambas cosas a la vez. Además de aumentar el ancho de banda de excitación efectivo de cada viga sintonizando la frecuencia de excitación en el modo paramétrico, el ancho de banda de excitación global de una unidad PVEH de la presente invención se puede aumentar proporcionando múltiples grupos de vigas PVEH, en donde los grupos se sintonizan a frecuencias ligeramente distintas. Esta circunstancia operativa se ilustra en el contexto del módulo 104C de la Figura 2A por la presencia de los seis grupos 200A-F que tienen seis sintonías diferentes, según se ilustra visualmente por las seis longitudes diferentes L_A a L_F de las vigas 204A-F, respectivamente. Según se describe a continuación, las diferentes sintonías se pueden proporcionar en otras formas, tales como proporcionando vigas 204A-F en diferentes grupos con diferentes masas de prueba (228 en las Figuras 2B y 2C) y una combinación de variación de las longitudes L_A a L_F de y proporcionando masas de prueba distintas, entre otras.

Antes de describir varios ejemplos de vigas PME PVEH, se ilustra en la Figura 1 que los módulos PVEH, 104A-P, están configurados apilados y fijados con otro módulo y con los módulos extremos 108A-B con el fin de formar una unidad integrada autoempaquetada. Aunque no se ilustra con detalle en la Figura 1, los módulos PVEH 104A-P, están eléctricamente conectados entre sí y con los módulos extremos 108A-B, de modo que la energía eléctrica disponible desde las salidas 112, 116 es la suma de la energía generada por la totalidad de las vigas PME PVEH, tales como las vigas 204A-F (Figura 2A) de la totalidad de los módulos PVEH. Como entenderán los expertos en esta materia, los módulos PME pueden estar eléctricamente conectados entre sí en serie o en paralelo, dependiendo del empleo particular de la unidad PVEH 100. En este ejemplo, que de nuevo está en el régimen de microescala, cada módulo PVEH 104A-P es una pastilla de circuito integrado, con base de silicio, fabricada utilizando varias técnicas de deposición de capas, eliminación y ataque químico. Varias técnicas de procesamiento adecuadas para uso en la obtención de dichos módulos se describen a continuación en relación con las Figuras 9A-P y las Figuras 10A-B. Los módulos extremos 108A-B de este ejemplo se obtienen también utilizando técnicas similares y los diversos módulos PVEH 104A-P, y los módulos extremos, están unidos entre sí utilizando técnicas de unión adecuadas. Un ejemplo de una técnica de unión adecuada es la descrita a continuación en relación con las Figuras 2B-C. Conviene señalar que uno o ambos módulos extremos 108A-B pueden incluir circuitos rectificadores y reguladores (no ilustrados) como adecuados para un diseño particular.

Las Figuras 2B-C ilustran un ejemplo de cómo los módulos PVEH 104A-B, y los módulos extremos 108A-B de la Figura 1 pueden fijarse y estar eléctricamente conectados entre sí. La Figura 2B ilustra tres de los módulos PVEH, 104A-P de la Figura 1, concretamente los módulos PVEH 104E-G, en relación adecuada entre sí como si estuvieran durante la formación de la pila de la unidad PVEH 100 (Figura 1). Según se ilustra en la Figura 2B, en este ejemplo, cada módulo 104E-G está provisto de un elemento de vidrio sintetizado 208 que se utilizará para aglutinar los módulos entre sí en un proceso de montaje en vacío. El elemento de vidrio sintetizado 208 está colocado en tal manera que producirá un cierre hermético de las cavidades 212 que contendrán las vigas (en este caso, las vigas 204A) después de que los módulos PVEH 104E-G sean fijados entre sí. Una bola de suelda 216 de soldadura se coloca en cada módulo PVEH 104E-G, en cada lugar en donde debe realizarse la conexión eléctrica entre los módulos. En este diseño, el electro inferior 220 está eléctricamente conectado al sustrato de silicio 224. La Figura 2C muestra los seis módulos superiores, esto es, el módulo extremo 108A y los módulos PVEH 104A-E, unidos entre sí después del proceso de montaje en vacío. Según puede constatare en la Figura 2C, durante el proceso de montaje en vacío que incluye los módulos de calentamiento 104A-E, 108A a una temperatura suficiente que pueda fundir el elemento de vidrio sintetizado 208 y las bolas de suelda 216, las bolas de suelda fluyen y se solidifican para formar un relleno de un espacio entre módulos adyacentes, proporcionando de este modo una continuidad eléctrica entre los módulos adyacentes. Durante el proceso de montaje en vacío, se forma un vacío en cada una de las cavidades 212 y dicho vacío se mantiene por el cierre hermético proporcionado por el elemento de vidrio sintetizado 208 fundido y solidificado.

Para los fines de ilustración, la siguiente tabla proporciona valores mínimo y máximo aproximados de varios parámetros importantes para un conjunto de unidades PVEH de microescala ejemplo (no ilustradas) similares en general a la unidad PVEH 100 de la Figura 1. Como la unidad PVEH 100, cada uno de los módulos PVEH individuales en el conjunto ejemplo (correspondiente a los de los módulos PVEH 104A-P) es una pastilla de circuito integrado cuadrada de 7,5 mm x 7,5 mm que tiene un espesor de 675 μm , que es un espesor típico de una pastilla de silicio de 150 mm de diámetro. Por supuesto, se pueden utilizar otros espesores de la pastilla de circuito integrado, pero una pastilla de 675 μm de espesor proporciona un amplio espesor para crear las dos cavidades de dos caras 212 ilustradas en las Figuras 2B-C. Los módulos extremos (correspondientes a los módulos extremos 108A-B de la Figura 1), en este ejemplo, se obtienen a partir de las mismas pastillas de circuitos integrados, tal como se utilizan para obtener los módulos PVEH y, por lo tanto, tienen los mismos espesores. Cada una de las pastillas de circuito integrado correspondientes a los módulos PVEH incluyen vigas PME PVEH de electrodos divididos, bimorfos, que se obtienen durante las técnicas de procesamiento descritas a continuación en relación con las Figuras 9A-P y 10A-B. En este ejemplo, cada módulo PVEH (circuito integrado) contenía ocho grupos de sintonía similar teniendo cada grupo doce vigas PME PVEH eléctricamente conectadas juntas en serie y genera 0,2 V y 100 μW de potencia. En este ejemplo, la totalidad de las vigas PVEH en cada módulo PVEH están eléctricamente conectadas en serie para hacer máxima la tensión a través de los respectivos nodos de salida. En consecuencia, 10 circuitos integrados apilados eléctricamente en serie, después de la rectificación (suponiendo una pérdida de 0,5 V) conseguirán 1,5 V y 1 mW de potencia. Ésta será una pila de 7,425 mm de altura, incluyendo un circuito integrado en la parte superior. De forma similar, una pila de 4,05 mm de altura producirá 0,5 V y 0,5 mW de potencia, una pila de 10,8 mm producirá 2,5 V y 1,5 mW de potencia, una pila de 20,925 mm de altura producirá 5,5 V y 3 mW de potencia, etc.

Por supuesto, los valores contenidos en la siguiente tabla son específicos para este ejemplo y valores similares para otras unidades PVEH, obtenidas en conformidad con los amplios conceptos dados a conocer en la presente invención, tendrán otros valores dependiendo de su escala y construcción. Por ejemplo, mientras las frecuencias operativas mínima y máxima en la tabla están indicadas como 50 Hz y 1500 Hz, respectivamente, las unidades y módulos PVEH, obtenidos en conformidad con los amplios principios dados a conocer en la presente invención se pueden realizar para tener otras frecuencias operativas. En términos generales, numerosas aplicaciones para los módulos y unidades PVEH, que se obtengan en conformidad con la presente invención, probablemente requerirán frecuencias operativas (bandas) en una gama de 50 Hz a 250 Hz.

TABLA

Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidades
Volumen	0,22	1,17	cm^3
Tensión	0,5	5,5	Voltios
Potencia	0,5	3,0	mili vatios
Densidad de potencia	2,27	2,72	mW/cm^3
Aceleración	1 g	1 g	-
Frecuencia	50	1500	Hertzio
Ancho de banda	2	10	Hertzio

Nota: Todos los valores estimados

Las Figuras 3-5 representan diferencias significativas entre la tecnología PME PVEH de la presente invención y la tecnología PVEH convencional, así como para explicar conceptos que se refieren a la explotación de la excitación en modo paramétrico. La Figura 3 es un espectro de frecuencias 300 para una viga PVEH en voladizo convencional, de sección transversal rectangular, que tiene una anchura que es mucho mayor que su espesor. Por ejemplo, una anchura de dicha viga PVEH convencional sería del orden de magnitud de 50 veces el espesor de la viga. La Figura 3 ilustra también, de forma esquemática, una viga en voladizo 304 y el sistema de coordenadas 308 utilizado con referencia a las

Figuras 3-5 (y también las Figuras 6-8). En una viga PVEH convencional, que tenga una anchura mucho mayor que su espesor, la excitación en el modo paramétrico es esencialmente no existente. En consecuencia, y considerando solamente el primer armónico, el espectro de frecuencia 300 tiene solamente un máximo de frecuencia de resonancia fundamental 300A, en este caso en la gama de frecuencias de $120 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$ debido a la primera excitación del modo de curvatura en el plano ZX y un primer máximo de frecuencia armónica 300B, en este caso a $751,2 \text{ Hz} \pm 2 \text{ Hz}$, debido a la segunda excitación de modo también en el plano ZX, cada una debida a una vibración impulsora en el plano ZX.

La Figura 4 reproduce el espectro de frecuencias 300 de la Figura 3 y sus máximos de la frecuencia fundamental y primer armónico 300A-B, respectivamente y también contiene seis máximos adicionales 400, 402, 404, 406, 408, 410 resultantes de la curvatura de la viga en el plano YZ debido a la excitación en el modo paramétrico en relaciones de anchura: espesor diferentes mucho más pequeñas que la relación (>50) de la Figura 3. De nuevo, la excitación en el modo paramétrico causa curvatura en un plano (en este caso, el plano YX) perpendicular al plano de la vibración impulsora, en este caso, el plano ZX. Conviene señalar que el espectro de frecuencias 300 es igualmente aplicable a los haces muchos más estrechos que proporcionan máximos en el modo paramétrico 400, 402, 404, 406, 408, 410 porque, en general, para una viga de un espesor de dirección Z particular, el espectro de respuesta de frecuencias no cambia con la variación de las anchuras en dirección Y.

Según se ilustra en la Figura 4, los máximos en el modo paramétrico 400, 402, 404, 406, 408, 410 corresponden, respectivamente, a relaciones de anchura: espesor de 1,5, 2, 3, 4, 5 y 7, con las alturas de estos máximos disminuyendo cuando aumenta la relación. Aunque cualquiera de estas relaciones, u otras relaciones de anchura: espesor similarmente valoradas, se pueden utilizar para la recuperación de energía vibracional, en el modo paramétrico, las relaciones de 1 a aproximadamente 1,5 son de importancia particular puesto que los máximos de respuesta correspondientes (ilustrados por el máximo 400) en este intervalo se solapan con el máximo de resonancia fundamental 300A. En general, una relación de anchura: espesor pone la frecuencia de la excitación en el modo paramétrico dentro de aproximadamente 5 Hz de la frecuencia de resonancia fundamental. En consecuencia, la puesta en práctica de relaciones de anchura: espesor en este régimen en conjunción con circuitos que utilizan la excitación en el modo paramétrico prevista se pueden usar para ampliar el ancho de banda útil de un dispositivo PVEH, tal como una unidad PVEH 100 representada en la Figura 1. Conviene señalar que en una relación de anchura: espesor de 1, el máximo en el modo paramétrico (no ilustrado) coincidiría con el máximo de la resonancia fundamental 300A. En consecuencia, el uso de circuitos adecuados que aprovechen complemente la excitación de resonancia fundamental y la excitación en el modo paramétrico podrían prácticamente doblar el rendimiento de un dispositivo PME PVEH en relación con el mismo dispositivo que utiliza solamente la excitación de resonancia fundamental.

Aunque el ajuste de una viga PME PVEH, de modo que la frecuencia de excitación en el modo paramétrico esté próxima a la frecuencia de resonancia fundamental de la viga es de gran utilidad para ampliar el ancho de banda de la respuesta de frecuencia de esa viga, los expertos en esta materia apreciarán fácilmente que otros ajustes en el modo paramétrico pueden ser también de utilidad. En general, pero sin ser necesariamente limitador, actualmente está previsto que los ajustes (para vigas de sección transversal rectangular) que puedan encontrar aplicación de utilidad varían desde una relación de anchura: espesor de 1:1 a 8:1. Por ejemplo, existen entornos que contienen dos frecuencias de vibración fijas específicas que tienen una separación de más de 5 Hz (relación de anchura: espesor $> 1,5$). En tal caso, la frecuencia de resonancia fundamental de una viga PME PVEH podría ajustar a una de las frecuencias y la frecuencia en el modo paramétrico podría ajustarse en la otra, por ejemplo, haciendo que la relación de anchura: espesor de la viga, en algún valor desde 2:1 a 8:1, sea requerida. A modo de otro ejemplo, la relación de anchura: espesor podría ser 6,26:1. Esto doblaría la tensión y potencia de salida del segundo modo de resonancia de curvatura (véase máximo del primer armónico 300A y máximos 408, 410 correspondientes a las relaciones de anchura: espesor de 5:1 y 7:1, respectivamente).

Con la Figura 4 ilustrando el concepto de ampliación del ancho de banda aprovechando la excitación en el modo paramétrico, la Figura 5 ilustra cómo el ancho de banda efectivo de un dispositivo PVEH de la presente invención, tal como una unidad PVEH de la Figura 1, puede ampliarse todavía más proporcionando vigas PME que tengan ajustes algo diferentes de la frecuencia de resonancia fundamental. La Figura 5 ilustra un espectro de respuesta de frecuencia 500 para un sistema (no ilustrado) de vigas PME PVEH que incluye: 1) una o más vigas ajustada cada una a la misma frecuencia de resonancia fundamental del plano ZX (véase Figura 3) como la viga ilustrada en la Figura 3, esto es, 122 Hz (valor máximo 500A); 2) una o más vigas cada una ajustada para tener una frecuencia fundamental, en el plano ZX, de 114 Hz (máximo 500B) y 3) una o más vigas cada una ajustada para tener una frecuencia fundamental en el plano ZX de 130 Hz (máximo 500C). Los máximos del segundo modo de curvatura (primer armónico) 500D-F que corresponden, respectivamente, a los máximos del modo de frecuencia fundamental 500A-C, se ilustran para el contexto, pero suelen ser despreciables en el diseño de dicho sistema. Además de estos ajustes diferentes de la resonancia fundamental, en el plano ZX, cada una de las vigas con diferente ajuste presenta una relación de anchura: espesor de aproximadamente 1,5 (de nuevo, el espesor está en la dirección Z y la anchura en la dirección Y), que produce máximos de excitación en el modo paramétrico 500G-I que corresponde, respectivamente, a máximos de resonancia fundamental 500A-C. Como puede fácilmente deducirse, la adición de los efectos de proporcionar múltiples ajustes de la resonancia fundamental ligeramente desplazados y el aprovechamiento de las excitaciones en el modo paramétrico de las vigas con diferentes ajustes proporciona una ampliación importante del ancho de banda. En este ejemplo, el ancho de banda ampliado total, centrado cerca de 122 Hz, es aproximadamente 20 Hz.

La ampliación del ancho de banda en dispositivos de alto factor de calidad (Q), tal como vigas PVEH no amortiguadas, en gran medida, es de utilidad para cualquiera o más de una diversidad de razones. Por ejemplo, para dispositivos PVEH que deben funcionar durante un intervalo de temperaturas, un ancho de banda ampliado permite a los dispositivos funcionar con la máxima eficacia a través del margen cuando las vigas se rigidizan y relajan con el cambio de la temperatura. A modo de otro ejemplo, un dispositivo de ancho de banda ampliado es más efectivo en entornos en donde varían las vibraciones ambientales. Los dispositivos de ancho de banda ampliado proporcionan también una mayor tolerancia a la variación de fabricación y pueden también proporcionar economías de producción por cuanto que un dispositivo único será de utilidad durante un margen de frecuencias más amplio, por lo que se pueden utilizar unos pocos dispositivos de ancho de banda ampliado en lugar de numerosos dispositivos de ancho de banda más estrechos para una muy amplia gama de frecuencias. Estas y otras ventajas de la ampliación del ancho de banda, que pueden conseguirse utilizando los conceptos dados a conocer en la presente invención, serán fácilmente entendido por los expertos en esta materia.

Las Figuras 6 y 7 ilustran una viga PME PVEH bimorfa 600 que se puede utilizar para cada una de las vigas 204A-F del módulo PVEH 104C, de la Figura 2. Como puede deducirse fácilmente de la Figura 6, la viga bimorfa 600 es una viga en voladizo fija en un extremo y libre en el otro. En este ejemplo, la viga bimorfa 600 es una estructura de microescala constituida por una pastilla de circuito integrado de silicio 604 que utiliza etapas de fabricación similares a las etapas ilustradas a continuación en relación con las Figuras 9A-P y 10A-B. Aunque la explicación de la viga bimorfa 600 ha de entenderse en este contexto, los expertos en esta materia entenderán fácilmente que la estructura básica de esta viga bimorfa podría realizarse, de forma alternativa, en otro régimen de tamaños, tal como un régimen de mesoescala, cambiando las técnicas de fabricación en consecuencia. Puesto que los expertos en esta materia conocerán las técnicas de fabricación alternativas necesarias para realizar la estructura de la viga bimorfa 600 a otra escala, dichas técnicas alternativas no necesitan describirse en la presente especificación para los expertos en esta materia que apreciarán el amplio alcance de protección de la presente invención. Se hará referencia a las Figuras 9A-P y 10A-B y texto adjunto para una explicación de las técnicas de fabricación adecuadas para la formación de una viga bimorfa a microescala 600.

Como se deduce de la Figura 7, la viga 600 se considera que es "bimorfa" porque tiene dos capas piezoeléctricas distintas y separadas 700, 704, que están situadas en lados opuestos del eje neutro para la curvatura en el plano ZX (en este caso, ajustado para coincidir con el eje Y 708 del sistema de coordenadas global). Como apreciarán los expertos en esta materia, las capas piezoeléctricas 700, 704 están situadas en lados opuestos del eje neutro 708 de modo que durante la curvatura en el plano ZX la integridad de cada capa es positiva o negativamente sometida a deformación con el fin de evitar la cancelación de la carga eléctrica interna en el material piezoeléctrico que ocurriría si una capa única estuviera situada a uno y otro lado del eje neutro. Si una u otra de las capas piezoeléctricas 700, 704 estuviera situada a uno u otro lado del eje neutro 708 durante la curvatura del plano ZX, una parte de esa capa tendría una deformación positiva y otra parte tendría una deformación negativa, con las cargas eléctricas resultantes anulándose entre sí.

En este ejemplo, cada una de estas capas está dividida en dos partes 700A-B, 704A-B, con las partes 700A, 704A quedando en un solo lado del eje neutro de la curvatura del plano YX (en este caso, por conveniencia, ajustado para coincidir con el eje Z 712) y partes 700B, 704B quedando en el otro lado del eje neutro 712. La razón para dividir las capas piezoeléctricas 700, 704, en esta manera, es evitar la anulación de las cargas en la curvatura en el modo paramétrico que ocurriría si estas capas fueran continuas a través del eje neutro 712. Como fácilmente se deduce de la Figura 7, las partes piezoeléctricas 700A, 704A, 704B, 700B pueden considerarse que caen, respectivamente, en los cuadrantes Q1 a Q4 definidos por los ejes neutros 708, 712. A este respecto, conviene señalar que aunque la curvatura en el modo paramétrico ocurre en el plano YZ perpendicular al plano de curvatura del modo fundamental (plano ZX), el movimiento real del extremo libre de la viga bimorfa 600, bajo la influencia de una vibración impulsora suficiente, es circular por su propia naturaleza. En consecuencia, la cuadrantización de las partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B proporcionan una forma efectiva de recuperar las cargas desde estas partes, cuadrante por cuadrante. Por ejemplo, cuando la curvatura de la viga bimorfa 600 está puramente en el plano ZX (es decir, alrededor del eje Y 708), las partes piezoeléctricas 700A-B estarán igualmente sometidas a deformaciones entre sí en una sola polaridad y las partes piezoeléctricas 704A-B estarán igualmente sometidas a deformaciones entre sí en la polaridad opuesta. Cuando la curvatura de la viga bimorfa 600 está puramente en el plano YX (es decir, alrededor del eje Z 712), las partes piezoeléctricas 700A, 704A estarán igualmente sometidas a deformaciones entre sí en una sola polaridad y las partes piezoeléctricas 700B, 704B estarán igualmente sometidas a deformaciones entre sí en la polaridad opuesta. Cuando la curvatura de la viga bimorfa 600 está en un plano girado alrededor del eje X 716 para un ángulo entre los planos YX y ZX, las partes piezoeléctricas 700A, 704B y las partes piezoeléctricas 700B, 704A tendrán la deformación máxima y mínima en la polaridad opuesta, dependiendo de la localización de ese plano.

Haciendo referencia todavía a la Figura 7, la viga bimorfa 600 incluye tres capas de electrodos 720, 724, 728 divididas en electrodos individuales 720A-B, 724A-B, 728A-B para facilitar la recuperación, cuadrante por cuadrante, de la carga eléctrica desde las correspondientes respectivas partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B. El hecho de que las capas de electrodos 720, 724, 728 estén divididas en electrodos individuales 720A-B, 724A-B, 728A-B da lugar al término "electrodo dividido" utilizado para describir las vigas PME PVEH de la presente invención que tienen este tipo de estructura. Conviene señalar que el término "electrodo dividido" no está, sin embargo, limitado a una situación en donde una capa única o un electrodo de grandes dimensiones se divide durante etapas de fabricación posteriores. En cambio, el término "electrodo dividido" se aplica también en las situaciones en las que se proporcionan electrodos formados por separado en lados opuestos del eje neutro 712. Dicho de otro modo, el concepto de "electrodo dividido" se aplica al

hecho de que los electrodos de recogida de carga, en el modo paramétrico, están separados entre sí, de forma distinta a la que tenían durante su formación.

Más en particular, en relación con el funcionamiento de los electrodos 720A-B, 724A-B, 728A-B, los electrodos 720A, 724A son activos en la recuperación de la carga desde la parte piezoeléctrica 700A en el cuadrante Q1, los electrodos 724A, 728A son activos en la recogida de carga desde la parte piezoeléctrica 704A en el cuadrante Q2, los electrodos 724B, 728B son activos en la recogida de la carga desde la parte piezoeléctrica 704B en el cuadrante Q3 y los electrodos 720B, 724B son activos en la recogida de la carga desde la parte piezoeléctrica 700B en el cuadrante Q4. Como puede deducirse fácilmente, los electrodos 724A-B están cada uno situados a uno y otro lado del eje neutro 712, con lo que proporcionan la separación de las respectivas correspondientes partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B desde el eje neutro 712 que da lugar a que se evite la anulación de cargas anteriormente descrita. Haciendo referencia a la Figura 6, la viga bimorfa 600 puede estar provista de contactos 608, 612, 616 que corresponden, respectivamente, a las capas de electrodos 720, 724, 728 para comunicar las cargas recogidas desde las partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B (Figura 7) a los circuitos de recogida de carga (no ilustrados).

Seguendo con la referencia a la Figura 6, en esta forma de realización, la viga bimorfa 600 tiene una masa de prueba 620 situada adyacente al extremo libre de la viga. La masa de prueba 620 está provista para hacer más bajo el ajuste de la viga bimorfa 600 y también para aumentar la salida de potencia de la viga. En otra forma de realización, no necesita proporcionarse en absoluto una masa de prueba, mientras que en otra forma de realización, se puede proporcionar más de una masa de prueba, por ejemplo, en diferentes lugares a lo largo de la viga bimorfa. Los expertos en esta materia apreciarán fácilmente que la viga bimorfa 600 se puede ajustar variando cualquiera de varios parámetros, tal como la forma de sección transversal de la viga, las dimensiones de la sección transversal de la viga, la longitud de la viga (espesor ejemplos), la masa de las masas de prueba, si las hubiere, las localizaciones de las masas de prueba en la viga y los materiales utilizados para fabricar la viga.

Según se indicó anteriormente, la viga bimorfa 600 se fabrica utilizando obleas de silicio 604 como un substrato. Durante la fabricación de la viga bimorfa 600, se depositan y son objeto de ataque químico varias capas, tales como las capas de electrodos 720, 724, 728 y capas piezoeléctricas 700, 704, según las técnicas conocidas. Para crear una viga bimorfa en voladizo con extremos libres 600, una de las etapas de fabricación implica el ataque químico lejos de una parte de la oblea de silicio 604 para crear una cavidad 624 por debajo de la viga y para crear la separación entre cualesquiera vigas bimorfas adyacentes u otra parte lateralmente adyacente de la oblea. De nuevo, ejemplos de etapas de fabricación que pueden utilizarse para obtener una viga bimorfa 600 se describen a continuación haciendo referencia a las Figuras 9A-P y 10A-B.

Haciendo referencia a la Figura 7 y también a la Figura 6, otras capas incluidas en la viga bimorfa 600 de este ejemplo incluyen una capa base 732, una primera capa aislante opcional 736, una capa de electrodo lateral opcional 740 y una segunda capa aislante 744. La capa base 732 se proporciona para su uso en la formación de la cavidad 634 y es un elemento integrante de ese proceso. La primera capa aislante 736 se proporciona si está provista una capa de electrodo lateral opcional 740. La capa de electrodo lateral 740, si se proporciona, es objeto de modelización y ataque químico para proporcionar electrodos laterales opcionales 740A-D que pueden utilizarse en la recogida de carga en el modo paramétrico. Si se proporcionan, cada electrodo lateral 740A-D actúa como una placa de carga de un condensador, en donde la primera capa aislante 736 actúa como el dieléctrico del condensador y las partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B actúan como la otra placa de carga. Electrodos laterales opcionales 740A-D pueden obtenerse a partir de cualquier material conductor adecuado, tal como cualquiera de los materiales anteriormente citados en relación con las capas de electrodos 720, 724, 728. Se proporciona una segunda capa aislante 744 como una capa protectora y como una capa de compensación de deformación para compensar las deformaciones inducidas en una viga bimorfa 600 por las otras capas durante la fabricación.

En un ejemplo concreto a modo ilustrativo, pero no a modo limitador, las diversas capas de la viga bimorfa 600 se obtienen a partir de los siguientes materiales y tienen los espesores siguientes: la capa base 732 es un óxido térmico de la oblea de silicio 604 que tiene un espesor de 0,5 μm ; la capa de electrodo 728 es una capa de molibdeno (Mo) que tiene un espesor de 1,0 μm ; la capa piezoeléctrica 704 es una capa de nitruro de aluminio (AlN) que tiene un espesor de 1,0 μm ; la capa de electrodo 724 es una capa de Mo que tiene un espesor de 0,5 μm ; la capa piezoeléctrica 700 es una capa de AlN que tiene un espesor de 1,0 μm ; la capa de electrodo 720 es una capa de Mo que tiene un espesor de 0,2 μm ; la primera capa aislante 736 es una capa de óxido PECVD que tiene un espesor de 0,1 μm a 0,2 μm ; la capa de electrodo lateral 740 es una capa de Mo que tiene un espesor de 0,2 μm y la segunda capa aislante 744 es una capa de óxido PECVD que tiene un espesor de 1,8 μm . Por supuesto, en otras formas de realización, pueden variar las dimensiones. A este respecto, conviene señalar que todos los espesores y dimensiones utilizados en esta descripción son simplemente ilustrativos y pueden aumentar o disminuir. Por ejemplo, aumentando el volumen de una unidad PVEH de la presente invención, tal como la unidad PVEH 100 de la Figura 1, aumentará la tensión y potencia de salida (aunque la tensión depende solamente del espesor y de la longitud de las capas piezoeléctricas); no obstante, si se realiza correctamente, la frecuencia de resonancia podría permanecer invariable o modificarse si así se desea. Un inconveniente de aumentar el volumen de una unidad PVEH es que menos módulos/circuitos integrados se pueden fabricar a partir de una oblea única, con lo que se incrementa el coste del circuito integrado.

Conviene señalar también que la localización del eje neutro 708 se puede ajustar arriba y abajo (en relación con la Figura 7) cambiando los espesores de las diversas capas. También conviene señalar, para mayor claridad, que las paredes laterales anguladas de las partes piezoeléctricas 700A-B, 704A-B y las capas posteriormente depositadas es simplemente un elemento de las técnicas de ataque químico utilizadas para formar la estructura del electrodo dividido. En otras formas de realización, estas paredes laterales anguladas se pueden eliminar mediante la selección de técnicas de fabricación adecuadas, puesto que puede utilizarse la separación relativamente amplia entre las dos pilas 748, 752 y los voladizos 756, 760 que son también elementos integrantes del proceso de fabricación particular.

Mientras que las Figuras 6 y 7 ilustran un ejemplo de una viga PME PVEH 600 de electrodo dividido bimorfa, la Figura 8 ilustra una versión monomorfa 800 de dicha viga. Como puede deducirse de la Figura 8, cuando una viga monomorfa 800 se obtiene a la misma microescala y se fabrica utilizando los mismos procesos que una viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7, la viga monomorfa 800 se puede construir de forma muy similar a la viga bimorfa 600. Sin embargo, en lugar de tener dos capas piezoeléctricas 700, 704 (Figura 7) y tres capas de electrodos 720, 724, 728, la viga monomorfa 800 de la Figura 8 tiene solamente una capa piezoeléctrica única 804 y un par de capas de electrodos 808, 812 en una disposición interpuesta entre las capas piezoeléctricas. Cada una de estas capas 804, 808, 812 está "dividida" horizontalmente (en relación con la Figura 8) con el fin de proporcionar dos generadores de cargas de tipo monomorfo 816, 820 eléctricamente desacoplados entre sí por las razones anteriormente descritas en relación con la recogida de carga desde la excitación en el modo paramétrico de la viga 800. En este ejemplo, se produce una excitación de resonancia fundamental en el plano ZX y ocurre la excitación en el modo paramétrico en el plano YZ, como sucedía en la viga bimorfa 600 representada en las Figuras 6 y 7. Con la división de capas 804, 808, 812, la pila 816 contiene una parte piezoeléctrica 804A y electrodos correspondientes 808A, 812A y la pila 820 contiene una parte piezoeléctrica 804B y los electrodos correspondientes 808B, 812B.

Para evitar la anulación de cargas dentro de la capa piezoeléctrica 804 durante la curvatura en el plano ZX, los espesores de las diversas capas de viga monomorfa 800 se eligen de modo que la integridad de la capa piezoeléctrica reside en un lado o en el otro del eje de curvatura neutro, por lo que el eje Y global 824 se establece por conveniencia operativa. De esta manera, durante la curvatura del plano ZX, la integridad de la capa piezoeléctrica 804 sufre deformaciones en sentido positivo o negativo. De forma similar a la viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7, la anulación de cargas dentro de la capa piezoeléctrica 804 se evita dividiendo las capas 804, 808, 812 de modo que las pilas 816, 820 se apoyen en lados opuestos del eje neutro, en este caso, el eje Z global 826.

Los electrodos 808A-B pueden estar eléctricamente unidos entre sí más allá del extremo fijo de la viga monomorfa 800 (véase Figura 6, que se puede utilizar para considerar una configuración en voladizo de la viga monomorfa 800), como pueden ser los electrodos 812A-B. Entonces, la viga monomorfa 800 puede estar provista de contactos eléctricos (no ilustrados) en una manera similar a los contactos eléctricos 608, 612, 616 (Figura 6) de la viga bimorfa 600.

Como en el caso de la viga bimorfa 600, la viga monomorfa 800 puede tener varias capas además de las capas piezoeléctrica y de electrodos 804, 808, 812. En este ejemplo, dichas capas adicionales incluyen una capa base 828, una primera capa aislante opcional 832, una capa de electrodo lateral opcional 836 y una segunda capa aislante 840. La capa base 828 es un elemento integrante del proceso utilizado para formar la viga monomorfa 800 y proporciona una base unitaria para las pilas 816, 820. La primera capa aislante 832 se proporciona si está provista una capa de electrodo lateral opcional 836. La capa de electrodo lateral 836, si está provista, es modelada y objeto de ataque químico para proporcionar electrodos laterales opcionales 836A-D que pueden utilizarse en la recogida de carga en el modo paramétrico. Si se proporcionan, cada electrodo lateral 836A-D actúa como una placa de cargas de un condensador, en donde la primera capa aislante 832 actúa como el dieléctrico del condensador y una de las partes piezoeléctricas 804A-B actúa como la otra placa de cargas. Los electrodos laterales opcionales 836A-D pueden obtenerse de cualquier material conductor adecuada, tal como cualquiera de los materiales anteriormente mencionados en relación con las capas de electrodos 720, 724, 728 de la viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7. La segunda capa aislante 840 está provista como una capa protectora y como una capa de compensación de deformaciones para compensar las deformaciones inducidas en la viga bimorfa 600 por otras capas, durante la fabricación. En este ejemplo, las primera y segunda capas aislantes 832, 840 son óxidos formados por la deposición química, en fase de vapor, asistida por plasma (PECVD).

En un ejemplo ilustrativo concreto, pero no limitador, las diversas capas de la viga monomorfa 800 se obtienen a partir de los siguientes materiales y tienen los siguientes espesores: la capa base 828 es un óxido térmico de la oblea de silicio original (véase Figuras 6 y 7 y texto adjunto) que tienen un espesor de 2,0 μm ; la capa de electrodos 812 es una capa de Mo que tiene un espesor de 1,0 μm ; la capa piezoeléctrica 804 es una capa de AlN que tiene un espesor de 1,0 μm ; la capa de electrodo 808 es una capa de Mo que tiene un espesor de 0,2 μm ; la primera capa aislante 832 es una capa de óxido PECVD que tiene un espesor de 0,2 μm ; la capa de electrodo lateral 836 es una capa de Mo que tiene un espesor de 0,1 μm y la segunda capa aislante 840 es una capa de óxido PECVD que tiene un espesor de 1,3 μm . Por supuesto, en otras formas de realización, las dimensiones pueden variar. Conviene señalar, para mayor claridad, que las paredes laterales anguladas de las partes piezoeléctricas 804A-B y las capas posteriormente depositadas son simplemente un elemento de las técnicas de ataque químico utilizadas en la formación de la estructura de electrodos divididos. En otras formas de realización, estas paredes laterales anguladas se pueden eliminar mediante la selección de técnicas de fabricación adecuadas, como pueden ser el espaciado relativamente amplio entre las dos pilas 816, 820 y los voladizos 844, 848 que son también elementos del proceso de fabricación particular utilizado.

Aunque no se ilustra, la viga monomorfa 800 puede incluir una o más masas de prueba, en una manera similar a la viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7, si así se desea o necesita. Además, la viga monomorfa 800 se puede ajustar para la respuesta de resonancia fundamental utilizando cualquiera o más de las técnicas antes citadas en relación con la viga bimorfa 600. Además, la respuesta en el modo paramétrico de la viga monomorfa 800 se puede ajustar variando la relación de la anchura W' de la viga al espesor T' de la viga (suponiendo una forma de sección transversal prácticamente rectangular) según se describió anteriormente en relación con la Figura 4. En la construcción a microescala ejemplo de la viga en voladizo monomorfa 800 anteriormente descrita, la ondulación ascendente de la viga ocurre como resultado de la deformación inducida en la parte superior de la viga por la capa piezoeléctrica 804. Esta ondulación se puede controlar para estar dentro de límites tolerables utilizando técnicas adecuadas. Conviene señalar que la viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7 tiene menos tendencia a la ondulación debido a la presencia de capas piezoeléctricas 700, 704 en lados opuestos del eje neutro de curvatura en el plano ZX 708.

Las Figuras 9A-P ilustran etapas que se pueden utilizar para fabricar una viga PME PVEH monomorfa en voladizo, a microescala, tal como la viga 800 de la Figura 8 y en realidad, un módulo PVEH a microescala completo, tal como cualquiera de los módulos 104A-P de las Figuras 1 y 2. En la etapa 900 (Figura 9A), se proporciona un sustrato de silicio 902. El sustrato de silicio 902 puede tener cualquier orientación del cristal y cualquier tipo dopante así como concentración dopante. En la etapa 904 (Figura 9B), una capa base 906 se proporciona para el sustrato 902. La capa base 906 corresponde a las capas bases 828 demanda de acceso Figura 8, respectivamente y, según se mencionó anteriormente, se utilizan como topes de ataque químico para creación del voladizo de la viga 800 (Figura 8). La capa base 906 puede ser, por ejemplo: 1) un dióxido de silicio térmico crecido (SiO_2); 2) una deposición de vapor químico a baja presión (LPCVD) o un óxido de silicio de CVD de plasma ampliado (PECVD) (SiO_x , $X \leq 2$) o un nitruro rico en silicio de baja deformación (Si_xN_y , $X < 3$, $Y < 4$). La capa base 906 puede estar provista, a ambos lados, de un sustrato de silicio 902 para equilibrar la deformación de la película delgada.

En la etapa 908 (Figura 9C), una capa metálica 910 está depositada a través de *sputtering* (pulverización catódica en alto vacío) o evaporación en un solo lado del sustrato 902. La capa metálica 910 corresponde a la capa de electrodos 812 de la viga monomorfa 800 de la Figura 8. En la etapa 912, una capa piezoeléctrica 914 se deposita en un lado del sustrato 902. El material piezoeléctrico utilizado para esta capa 914 puede ser, por ejemplo, cualquiera de entre AlN (depositado mediante *sputtering*), titanato zirconato de plomo (PZT) (depositado a través de un proceso de sol-gel o *sputtering*), fluoruro de polivinilideno (PVDF) (depositado a través de un proceso de sol-gel y óxido de zinc (ZnO) (depositado mediante *sputtering*). En la etapa 916 (Figura 9E), una segunda capa metálica 918, correspondiente a la capa de electrodos 808 de la viga monomorfa 800 de la Figura 8, se deposita mediante *sputtering* o evaporación.

En la etapa 920 (Figura 9F), la segunda capa metálica 918 es modelada, por ejemplo, utilizando técnicas de modelación fotolitográficas y luego, objeto de ataque químico utilizando una solución química en húmedo o una solución química de iones reactivos en seco (RIE). En la etapa 922 (Figura 9G), la capa piezoeléctrica 914 se ataca por medios químicos utilizando un agente químico húmedo RIE en seco. Si se utiliza AlN para la capa piezoeléctrica 914 y se emplea Mo para la capa metálica 910, 918, se puede utilizar un proceso de hidróxido potásico húmedo (KOH). En este caso, el photoresist (no ilustrado) se desprende desde el modelado de la etapa 920 antes del ataque químico de KOH y el Mo de las capas metálicas 910, 918 se utiliza como una máscara dura. El AlN ataca anisotrópicamente en KOH y forma las paredes anguladas resaltadas en relación con cada una de las Figuras 7 y 8 anteriores. En la etapa 924 (Figura 9H), la capa metálica 910 es atacada química utilizando un agente químico húmedo o RIE en seco. En el ejemplo de Mo que se acaba de indicar, Mo utiliza RIE.

En la etapa 926 (Figura 9I), un primer dieléctrico superior 928, que corresponde a la primera capa aislante 836 de la viga monomorfa 800 de la Figura 8, se deposita. El dieléctrico 928 puede ser, por ejemplo, un óxido de silicio LPCVD o PECVD depositado (SiO_x) o un nitruro de silicio (Si_xN_y). En condiciones normales, los metales no se introducen en un horno de LPCVD debido a la contaminación cruzada metálica con otras películas de productos. Sin embargo, se puede realizar si se utiliza un sistema de LPCVD dedicado y el punto de fusión del metal es alto (el punto de fusión del tungsteno y de Mo son altos y el punto de fusión del oro es bajo). En este ejemplo, el primer dieléctrico superior 928 se deposita sobre ambos lados del sustrato 902 para equilibrar la deformación de película delgada. En la etapa 930 (Figura 9J), el primer dieléctrico superior 928 es objeto de ataque químico por un agente húmedo o RIE.

Si están provistos electrodos laterales, correspondientes a los electrodos laterales 840A-D de la viga monomorfa 800 de la Figura 8, se puede realizar la etapa opcional 932 (Figura 9K). En la etapa 932, se deposita una capa metálica 934, por ejemplo, mediante *sputtering* o evaporación y luego se configura y es objeto de ataque químico para formar electrodos laterales 938. Si los electrodos laterales 938 no están provistos, se eliminan las etapas 932 y las etapas 926, 930 de las Figuras 9I-J respectivamente o las etapas 940, 942 de las Figuras 9L-M, respectivamente. Después de la formación de los electrodos laterales 938, si los hubiere, se realizan las etapas 940 (Figura 9L), 942 (Figura 9M). En la etapa 940, se deposita un segundo dieléctrico superior 944, que corresponde a la segunda capa aislante 840 de la viga monomorfa 800 de la Figura 8. El dieléctrico 944 puede ser, por ejemplo, cualquiera de los materiales antes citados en relación con el primer dieléctrico superior 928. En este ejemplo, el segundo dieléctrico superior 944 se deposita en ambos lados del sustrato 902 para equilibrar las deformaciones de película delgada. En la etapa 942 (Figura 9M), el segundo dieléctrico superior 944 es objeto de ataque químico utilizando un método en húmedo o RIE.

En la etapa 946 (Figura 9N), los contactos eléctricos 948, 950 y el cableado de interconexión (no ilustrado) se proporcionan en esta forma de realización. En condiciones normales, aunque no necesariamente, los contactos eléctricos 948, 950 serán de aluminio con aproximadamente un 2% de silicio para inhibir la migración de electrones debido al flujo de corriente eléctrica. Los contactos 948, 950 y el cableado se pueden proporcionar a este respecto, por ejemplo, mediante un proceso de desprendimiento de fotodeposición de metal (evaporación) o mediante deposición (evaporación y *sputtering*) y por un ataque químico por vía húmeda o RIE. En la etapa 952 (Figura 9O), una masa de prueba 954 se forma utilizando un método adecuado. En general, la electrodeposición es el mejor método para conseguir deposiciones de metales gruesas en el margen de aproximadamente 10 μm a 100 μm . La evaporación está limitada a espesores menores de aproximadamente 3 μm .

En la etapa 956 (Figura 9P), el precursor para la viga en voladizo 958 se libera desde el sustrato 902 para formar el voladizo. En este ejemplo, la viga en voladizo 958 se forma utilizando un método de liberación en el lado posterior que implica la modelación y ataque químico a través del segundo y primero dieléctricos 944, 928 y la capa base en el lado posterior 906 y luego, realizar un RIE profundo (DRIE) a través del sustrato 902 para el lado inferior de la capa base en el lado frontal.

Las Figuras 10A-B ilustran dos métodos alternativos de liberar la estructura precursora para la viga en voladizo, que implica el ataque químico desde el lado frontal del conjunto en lugar de desde el lado posterior según se describió anteriormente en relación con la Figura 9P. En la Figura 10A, un ataque isotrópico del silicio se realiza desde el lado frontal del conjunto 1000 para formar una cavidad 1004 por debajo de la viga en voladizo 1008. Por ejemplo, un agente de ataque químico basado en flúor, tal como fluoruro de xenón (XeF_2) gaseoso o hexafluoruro de azufre (SF_6), que ataca isotrópicamente el silicio, pero no ataca a otro material se puede utilizar también en esta forma de realización. En este tipo de método, la cavidad 1004 puede limitar el movimiento hacia arriba y abajo del extremo libre de la viga en voladizo 1008, pero la cavidad proporciona aislamiento para empaquetado a escala de oblea y un tope inferior que puede ser útil en la prevención de una sobreflexión (sobre-deformación) de la viga. En este caso, alguna ondulación ascendente debido a una estructura asimétrica puede ser deseable para "sintonizar" el alcance de movimiento del extremo libre de la viga en voladizo 1008.

La Figura 10B ilustra otro método en el lado frontal de liberación del precursor para la viga en voladizo 1012. En este método, en lugar del sustrato 902 (Figura 9A) que es un sustrato convencional no de silicio sobre aislador (no-SOI), un sustrato SOI 1016 que tiene una capa de óxido (BOX) 1020 enterrada se puede utilizar a este respecto. En este método, la capa de BOX 1020 actúa como un toque de ataque químico para controlar, con precisión, la profundidad de la cavidad 1024 formada durante el ataque isotrópico desde el lado frontal del sustrato de SOI 1016. Como con el método de la Figura 10A, un agente de ataque químico basado en flúor, tal como XeF_2 o SF_6 gaseoso, que ataca isotrópicamente el silicio pero no ataca a otro material se puede utilizar en esta forma de realización. En este caso, puede ser deseable alguna ondulación ascendente debido a la estructura asimétrica para "sintonizar" el margen de movimiento del extremo libre de la viga en voladizo 1012.

Aunque las técnicas de fabricación de las Figuras 9A-P y 10A-B están dirigidas a la obtención de vigas monomorfas 958, 1008, 1012, estas técnicas pueden fácilmente extenderse para obtener vigas bimorfas similares a la viga bimorfa 600 de las Figuras 6 y 7. Por ejemplo, en lugar de la modelización y ataque químico de la segunda capa metálica 918, la primera capa piezoeléctrica 914 y la primera capa metálica 910 en las etapas 920, 922, 924 de las Figuras 9F-H, inmediatamente después de la deposición de la segunda capa metálica en la etapa 916 (Figura 9E), en lugar de una segunda capa piezoeléctrica (no ilustrada pero correspondiente a la capa piezoeléctrica 700 de la Figura 7) y una tercera capa metálica (tampoco ilustrada, pero correspondiente a la capa de electrodos 712 de la Figura 7) se pueden depositar sobre la segunda capa metálica antes de continuar con la deposición del primer dieléctrico superior 928, como en la etapa 926 de la Figura 9I. A continuación, se inicia el ataque químico con la tercera capa metálica y se prosigue hasta incluir la primera capa metálica 910. Durante el proceso, puede ser deseable modificar los espesores de los dieléctricos superiores 944, 928 y la capa base 906 para equilibrar las deformaciones y controlar la ondulación cuando sea deseable o necesario.

Según se indicó anteriormente, una unidad PVEH obtenida en conformidad con los conceptos dados a conocer anteriormente se puede utilizar en cualquiera de una diversidad de aplicaciones, incluyendo las aplicaciones de sensores inalámbricos. La Figura 11 ilustra un sensor inalámbrico ejemplo 1100 que comprime un suministro de energía autónomo 1104 que incluye una unidad PVEH 1108 que suele ser de construcción similar a la unidad PVEH 100 de la Figura 1. Es decir, la unidad PVEH 1108 incluye una pluralidad de grupos (no ilustrados) de vigas PME (no ilustradas). Aunque no se representan, los grupos pueden, pero no necesariamente, depositarse de forma similar a los grupos 200A-E de la Figura 2A y cada una de las vigas PME puede ser, por ejemplo, similar a la viga bimorfa 600 ilustrada en las Figuras 6 y 7 o la viga monomorfa 800 ilustrada en la Figura 8. En este ejemplo, la unidad PVEH 1108 tiene vigas PME que presentan tres ajustes diferentes en la manera anteriormente descrita en relación con las Figuras 4 y 5, con el fin de ampliar el ancho de banda efectivo de la unidad PVEH alrededor de una frecuencia objetivo. En la Figura 11, las vigas de ajustes similares están identificadas como un primer conjunto 1112, un segundo conjunto 1116 y un tercer conjunto 1120 y los conjuntos tienen las correspondientes respectivas frecuencias de resonancia fundamental diferentes V_{B1} , V_{B2} , V_{B2} y las correspondientes respectivas frecuencias en el modo paramétrico diferentes V_{P1} , V_{P2} , V_{P2} .

Para optimizar el rendimiento del suministro de energía 1104, los conjuntos 1112, 1116, 1120 de las vigas de ajustes similares están eléctricamente aislados entre sí utilizando circuitos de aislamiento adecuados, tales como, por ejemplo,

los correspondientes respectivos rectificadores de puente completo 1124, 1128, 1132 (en este caso, rectificadores de diodos a modo de ejemplo) que inhiben cualquier conjunto inactivo (p.e., porque no están suficientemente excitados por la vibración impulsora ambiente) a partir de los drenajes de energía eléctrica de los conjuntos activos. De esta manera, se obtiene la cantidad máxima de potencia a la salida de la unidad PVEH 1108. Los expertos en esta materia entenderán que se pueden utilizar otros circuitos de aislamiento. El suministro de energía 1104 incluye también uno o más dispositivos de almacenamiento eléctrico 1136 que almacenan la energía eléctrica recuperada por la unidad PVEH 1108 para uso por otros circuitos electrónicos incluidos en el sensor inalámbrico. Cada dispositivo de almacenamiento eléctrico 1136 puede ser cualquier dispositivo recargable adecuado, tal como un supercondensador (también "ultra-condensador") o una batería recargable, por ejemplo, y batería de litio-ión, entre otras. En este ejemplo, el suministro de energía 1104 tiene solamente una unidad PVEH única 1108 para recuperar la vibración desde una vibración ambiental impulsora en una sola dirección. Conviene señalar que una o más unidades PVEH similares adicionales (no ilustradas) podrían proveerse en una o más orientaciones distintas para recuperar las vibraciones en otra dirección.

En este ejemplo, el sensor inalámbrico 1100 incluye uno o más transductores 1140, tales como un transductor de presión, acelerómetro, sonda de temperatura, etc., como requiera la aplicación para el sensor inalámbrico. El sensor inalámbrico 1100 incluye, además, un microcontrolador 1144 para controlar el funcionamiento del sensor inalámbrico y un radiotransmisor o transceptor 1148 para permitir al sensor inalámbrico comunicarse con uno o más otros dispositivos, tales como otro sensor inalámbrico similar, un repetidor, un dispositivo de nodo de recogida de información o un dispositivo de estación base, entre otros. Además o en lugar del microcontrolador 1144, el sensor inalámbrico 1100 puede incluir uno o más microprocesadores que proporcionar al sensor inalámbrico una funcionalidad de procesamiento de datos de más alto nivel, si así se desea. En esta forma de realización, el suministro de energía 1104 proporciona potencia eléctrica a cada transductor 1140, el microcontrolador 1144 (o microprocesador) y el transceptor 1148. Los expertos en esta materia entenderán que cada transductor 1140, el microcontrolador 1144 (o microprocesador) y el transceptor 1148 pueden ser de un diseño convencional y, por lo tanto, no necesitan describirse con detalle en esta especificación.

La Figura 12 ilustra una red de sensores inalámbricos 1200 que incluye una pluralidad de nodos sensores 1204A-G y una estación central 1208. Cada uno de los nodos sensores 1204A-G, en este ejemplo, incluye un suministro de energía de PME PVEH autónomo (no ilustrado) y es similar al sensor inalámbrico 1100 de la Figura 11. En este ejemplo, los nodos sensores 1204A-F pueden considerarse nodos terminales, mientras que el nodo sensor 1204G puede considerarse un nodo intermedio. En este contexto, un nodo terminal suele solamente recoger sus propios datos detectados y transmitirlos a otro nodo (tal como un sensor intermedio 1204G) o a la estación central 1208. Dependiendo de si la red es del tipo *push* (empuje) o del tipo *pull* (y/o por otros motivos), un nodo terminal puede recibir también información, tal como una demanda de pull (tracción) desde la estación central 1208 u otro nodo, tal como un sensor intermedio 1204G. El sensor intermedio 1204G, por otro lado, está continuamente recibiendo datos, en este caso desde los nodos sensores 1204D-F y enviando datos a la estación central 1208. Los expertos en esta materia entenderán fácilmente cómo configurar los nodos sensores 1204A-G y la estación central 1208 para un funcionamiento adecuado en el contexto de los nodos sensores que tienen unidades PME PVEH de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de recogida de energía vibracional, que comprende:
 - 5 una viga resonante que tiene propiedades de sección transversal, una frecuencia de resonancia fundamental en una primera dirección de curvatura y una frecuencia en modo paramétrico en una segunda dirección de curvatura perpendicular a dicha primera dirección de curvatura, en donde dichas propiedades de sección transversal se seleccionan para ajustar dicha frecuencia de resonancia fundamental a una primera frecuencia deseada y para ajustar dicha frecuencia, en modo paramétrico, a una segunda frecuencia deseada, incluyendo dicha viga resonante un material piezoeléctrico para generar la energía eléctrica en respuesta a la curvatura de dicha viga resonante en cada una de dichas primera y segunda direcciones de curvatura.
 - 10
 2. El dispositivo de recogida de energía vibracional según la reivindicación 1, en donde dicha viga resonante tiene una longitud y dicho material piezoeléctrico está dispuesto según dicha longitud de manera que dicho material piezoeléctrico contribuya a dichas propiedades de sección transversal en flexión.
 - 15
 3. El dispositivo de recogida de energía vibracional según la reivindicación 2, en donde dicha viga resonante tiene un primer eje de curvatura para dicha primera dirección de curvatura y un segundo eje de curvatura para dicha segunda dirección de curvatura, definiendo dichos primero y segundo ejes de curvatura unos primero, segundo, tercero y cuarto cuadrantes, de modo que dichos primero y segundo cuadrantes estén opuestos entre sí en lados opuestos de dicho primer eje de curvatura y que dichos segundo y tercero cuadrantes estén opuestos entre sí en lados opuestos de dicho segundo eje de curvatura, incluyendo dicha viga resonante, además, primero, segundo, tercer y cuarto electrodos espaciados entre sí y situados en cuadrantes respectivos correspondientes de dichos primero, segundo, tercero y cuarto cuadrantes.
 - 20
 - 25
 4. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 3, en donde una primera parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos primero y segundo electrodos y una segunda parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos tercero y cuarto electrodos.
 - 30
 5. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 4, en donde dichas primera y segunda partes de dicho material piezoeléctrico están espaciadas entre sí.
 - 35
 6. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 3, en donde cada uno de dichos primero, segundo, tercero y cuarto electrodos está dispuesto según dicha longitud de dicha viga resonante de manera que cada uno de dichos primero, segundo, tercero y cuarto electrodos contribuya a dichas propiedades de sección transversal en flexión.
 - 40
 - 45
 7. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 3, que comprende, además, un quinto electrodo situado entre, y separado de, dichos primero y segundo electrodos, así como un sexto electrodo situado entre, y separado de, dichos tercero y cuarto electrodos, en donde una primera parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos primero y quinto electrodos, una segunda parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos cuarto y sexto electrodos, una tercera parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos quinto y segundo electrodos y una cuarta parte de dicho material piezoeléctrico está situada entre dichos sexto y tercer electrodos.
 - 50
 8. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 7, en donde dichas primera y segunda partes están espaciadas entre sí y dichas tercera y cuarta partes están espaciadas entre sí.
 - 55
 9. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 7, en donde cada uno de dichos quinto y sexto electrodos está a ambos lados de dicho primer eje de curvatura.
 - 60
 10. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 7, que incluye, además, circuitos de recogida en comunicación eléctrica con cada uno de dichos primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto electrodos y configurados para recoger dicha energía eléctrica a partir de cada uno de dichos primero, segundo, tercero y cuarto cuadrantes con independencia entre sí.
 - 65
 11. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 7, en donde cada uno de dichos quinto y sexto electrodos está dispuesto según dicha longitud de dicha viga resonante de manera que cada uno de dichos quinto y sexto electrodos contribuya a dichas propiedades de sección transversal en flexión.
 12. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 2, en donde dicha viga resonante es una viga en voladizo.
 13. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 2, en donde dicha frecuencia de resonancia fundamental está situada dentro de una gama de 50 Hz a 1500 Hz.

14. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 2, en donde dichas propiedades de sección transversal de dicha viga resonante se seleccionan de modo que dicha frecuencia, en el modo paramétrico, quede situada dentro del margen de 5 Hz de dicha frecuencia de resonancia fundamental.
- 5 15. El dispositivo de recogida de energía vibracional, según la reivindicación 2, en donde dichas propiedades de sección transversal incluyen un espesor en una dirección paralela a dicha primera dirección de curvatura y un espesor en una dirección paralela a dicha segunda dirección de curvatura, en donde dicha anchura está en un margen de amplitud de 1 a 8 veces dicho espesor.

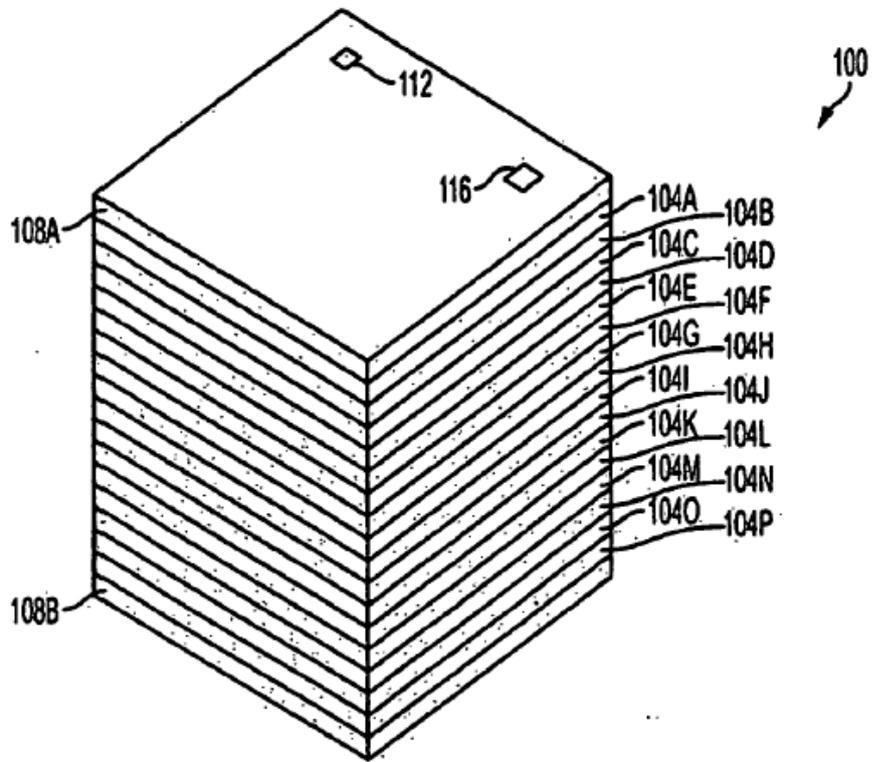


FIG. 1

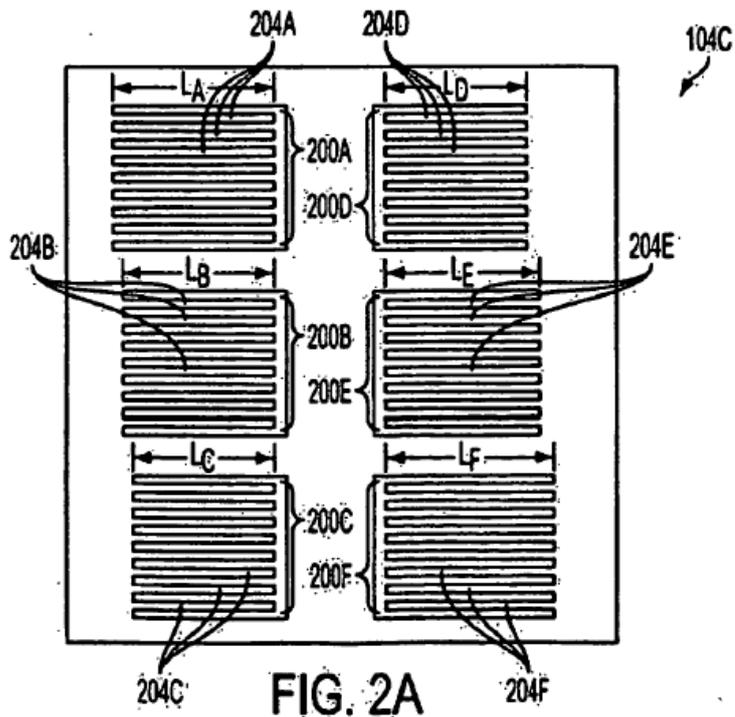


FIG. 2A

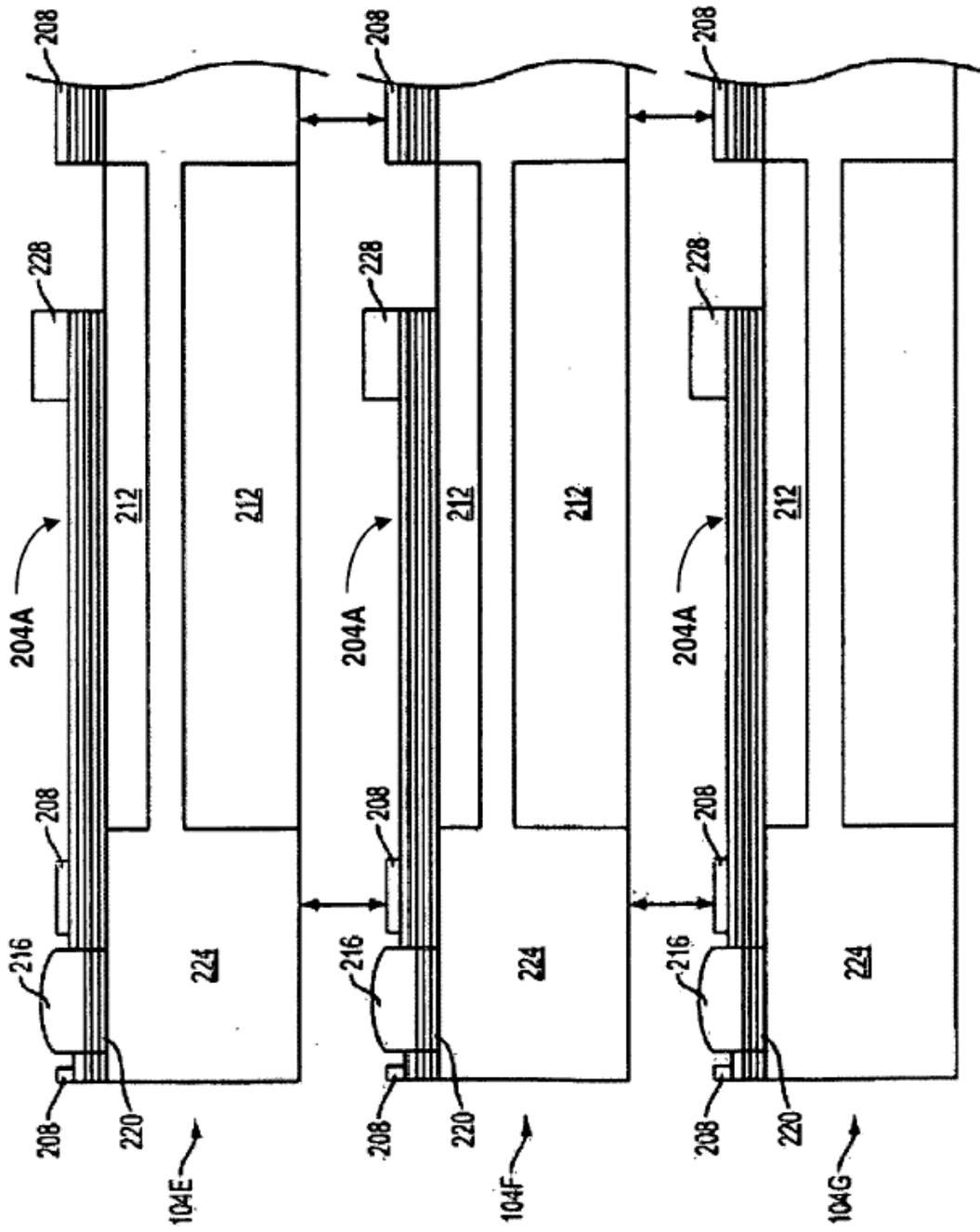


FIG. 2B

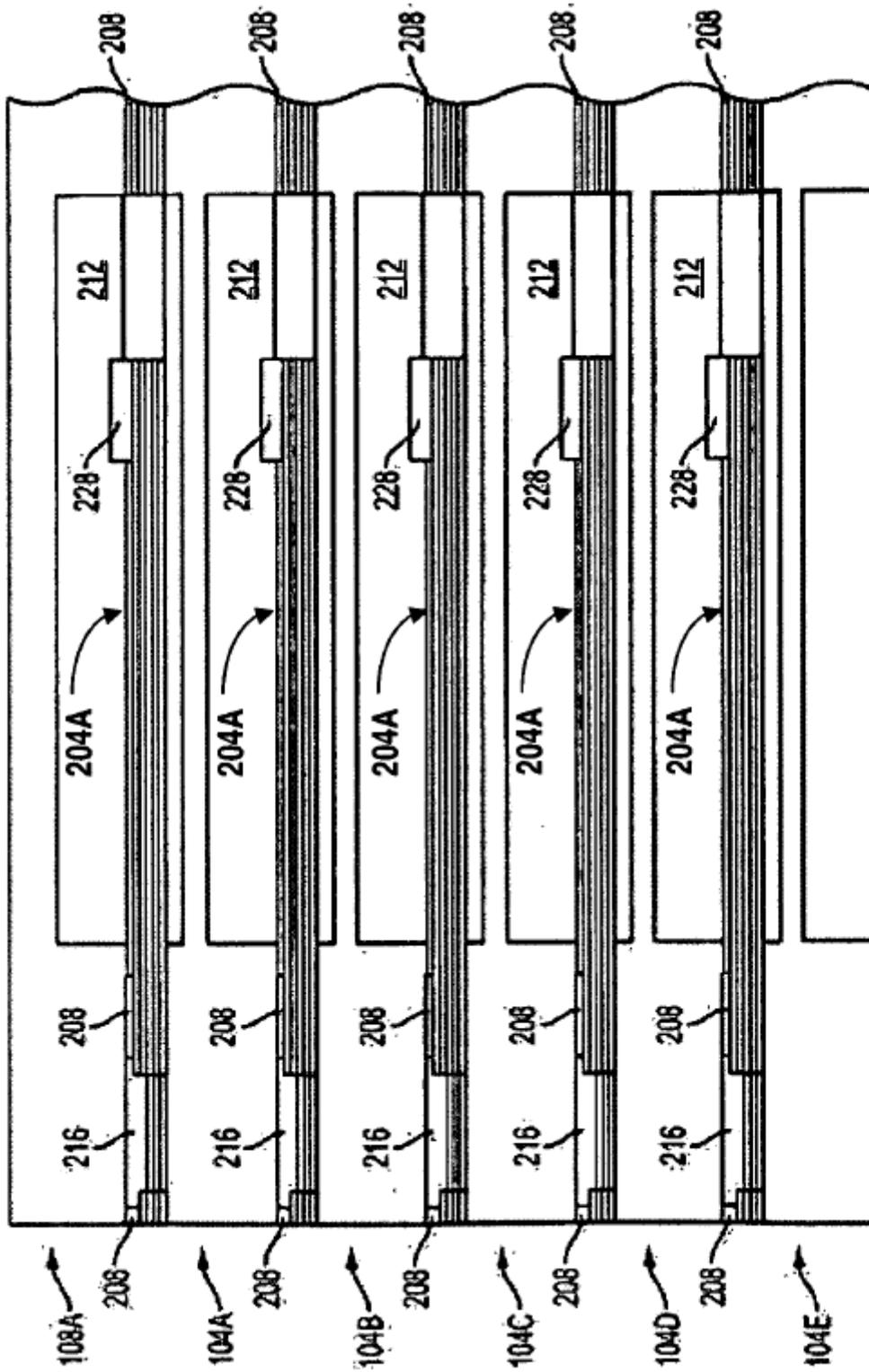


FIG. 2C

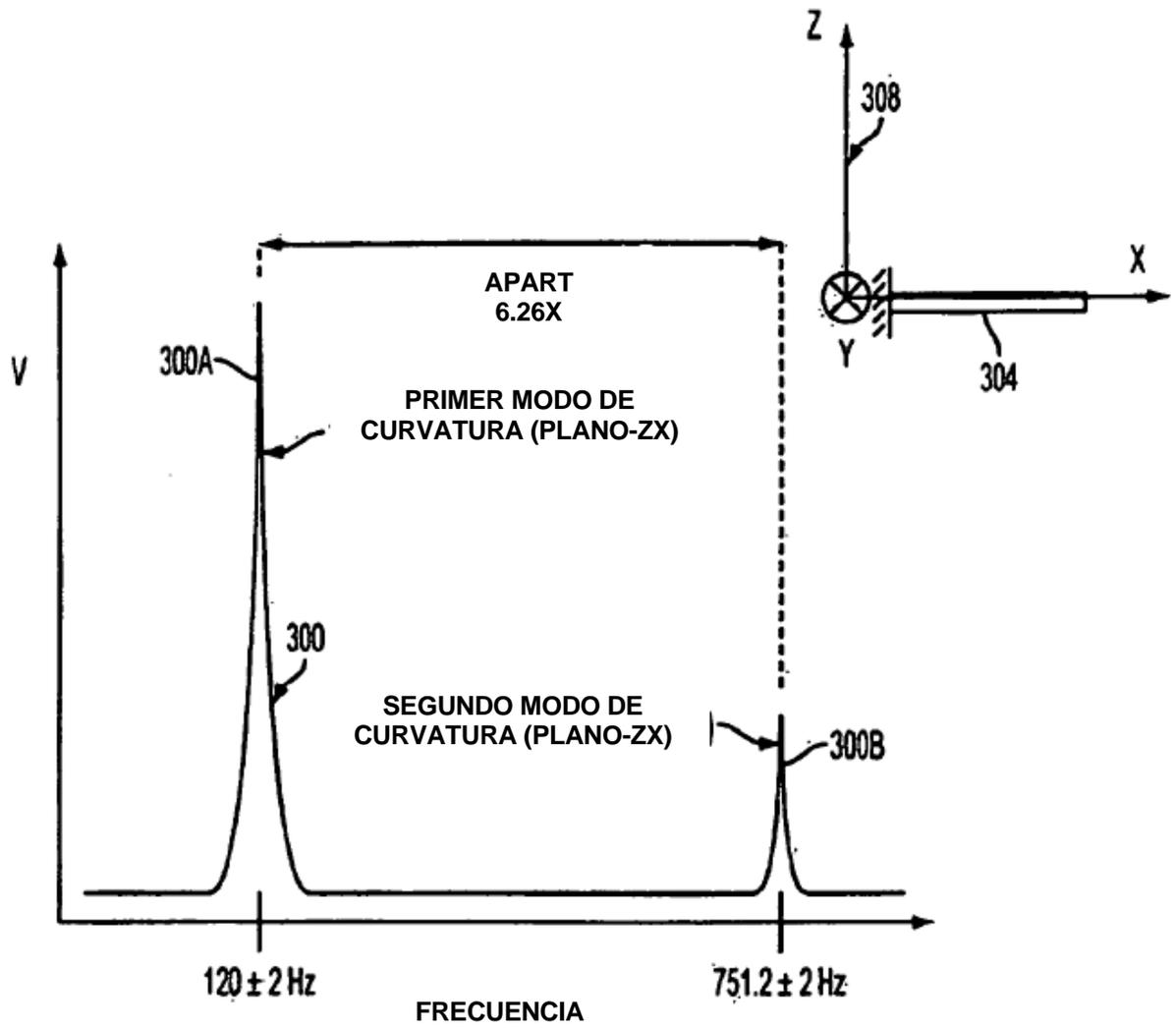


FIG. 3
TÉCNICA ANTERIOR

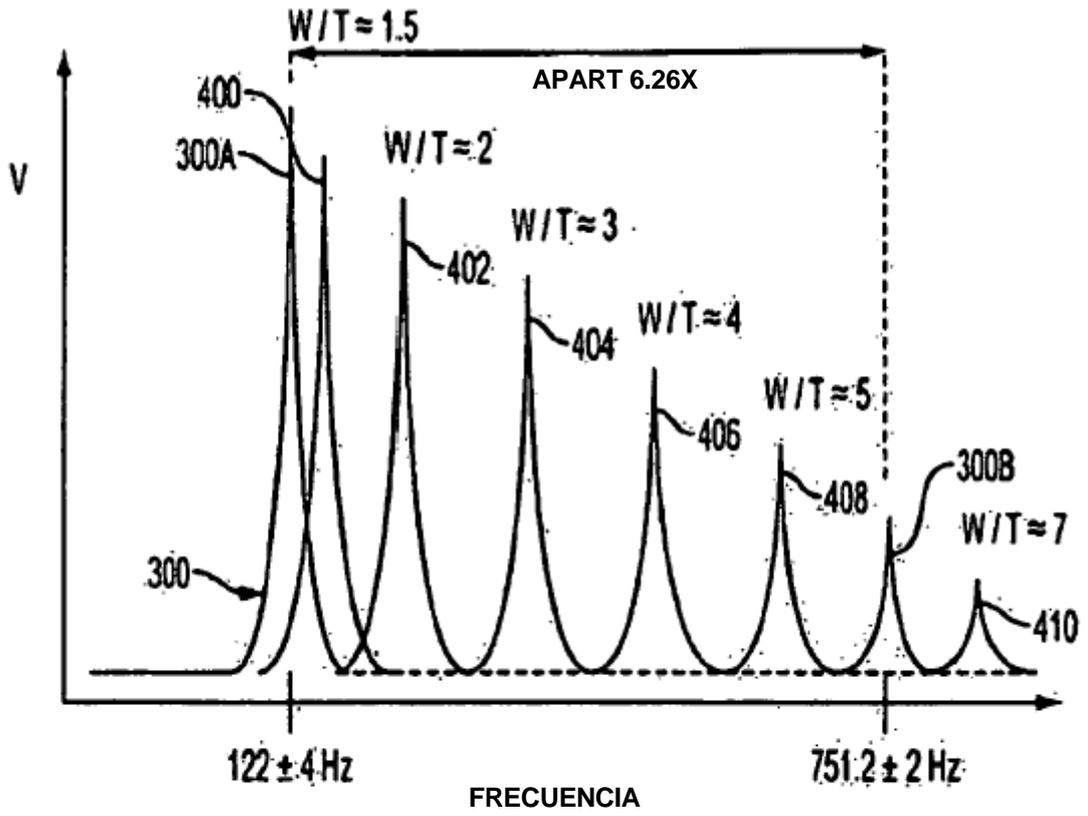


FIG. 4

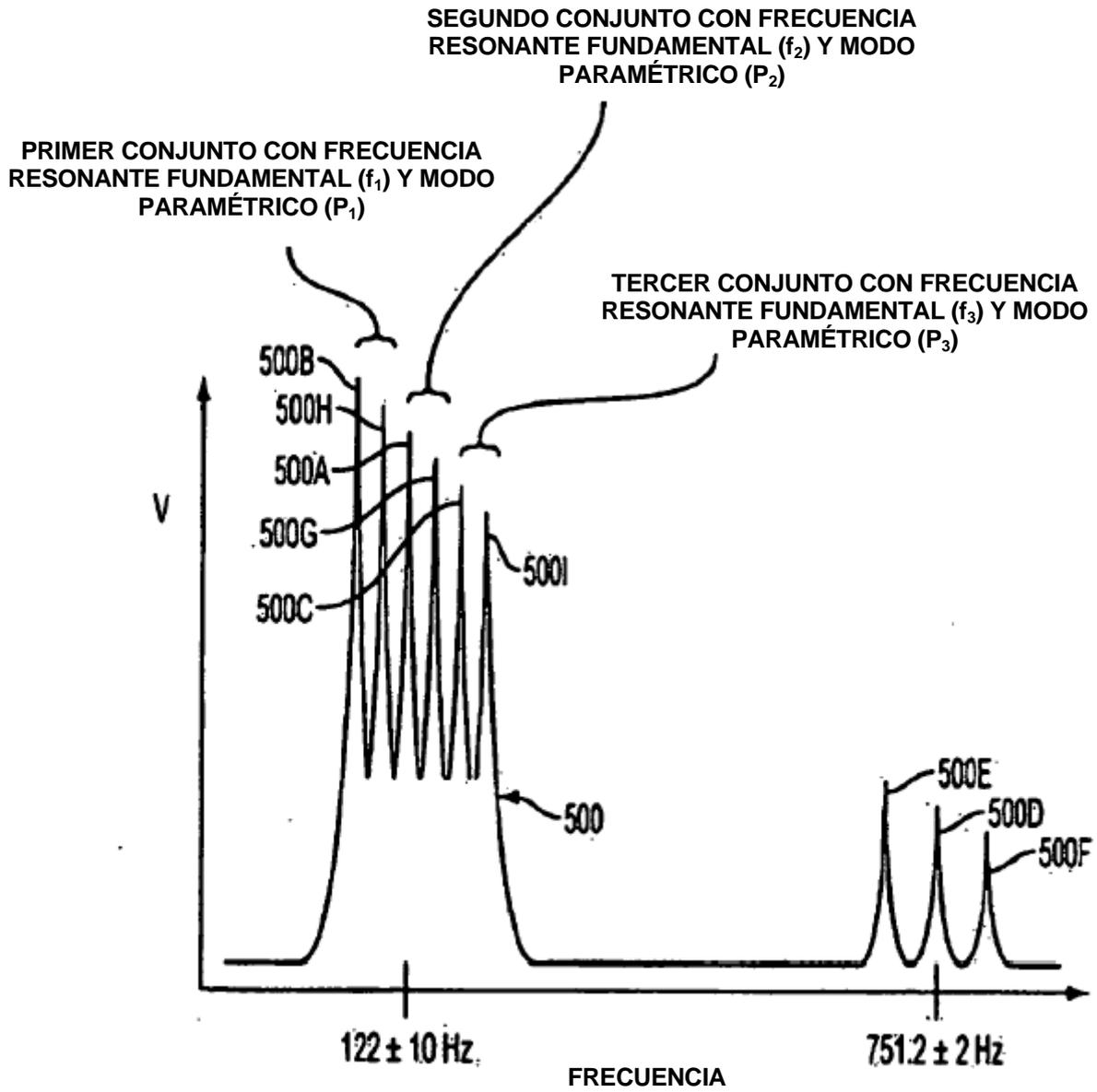


FIG. 5

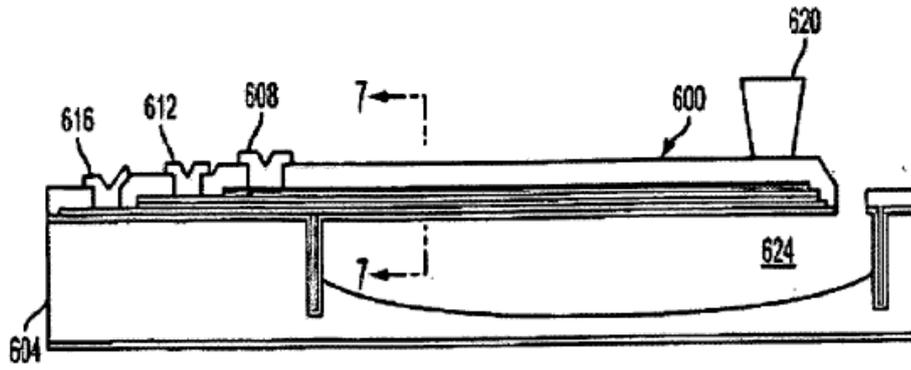


FIG. 6

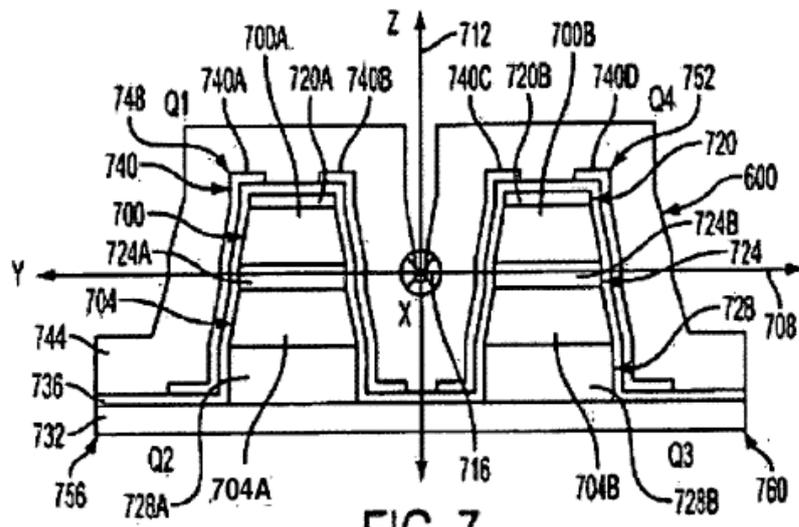


FIG. 7

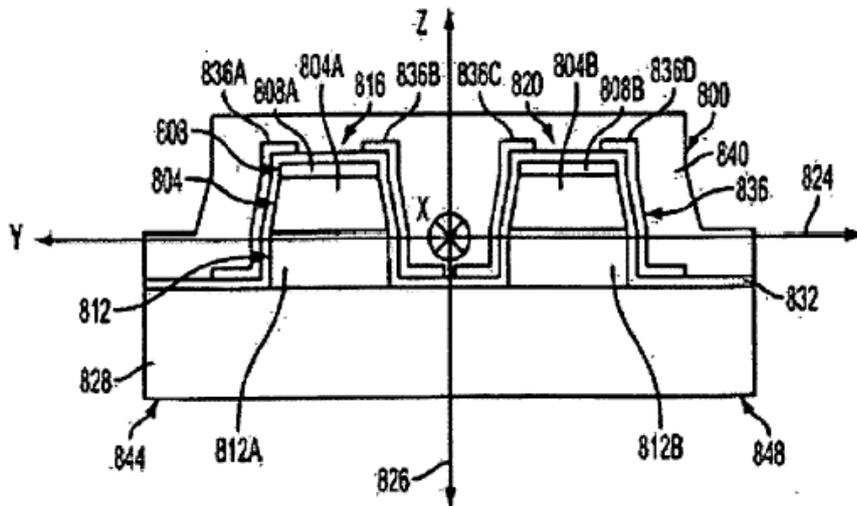


FIG. 8

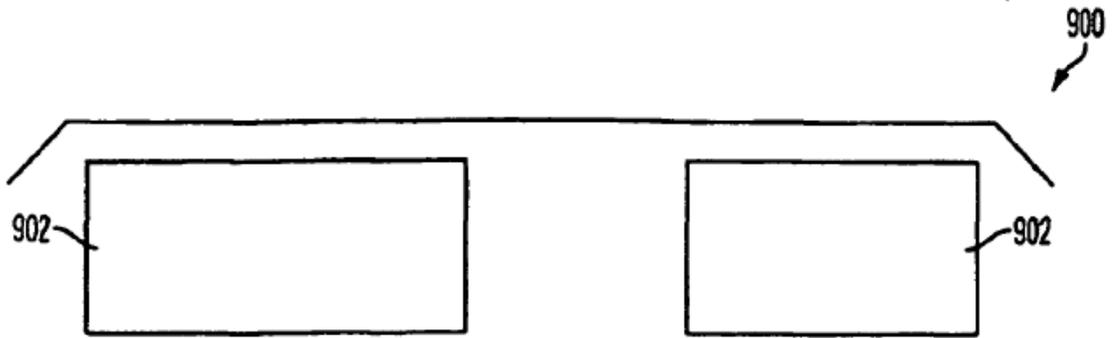


FIG. 9A

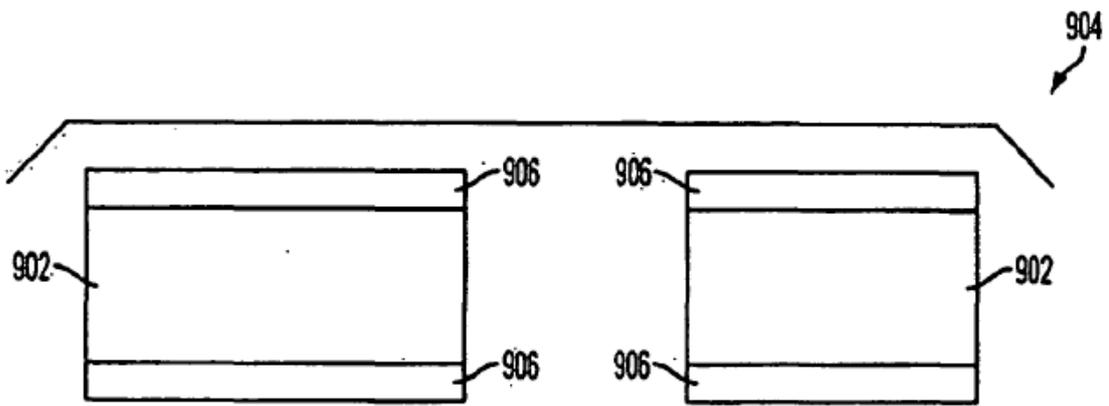


FIG. 9B

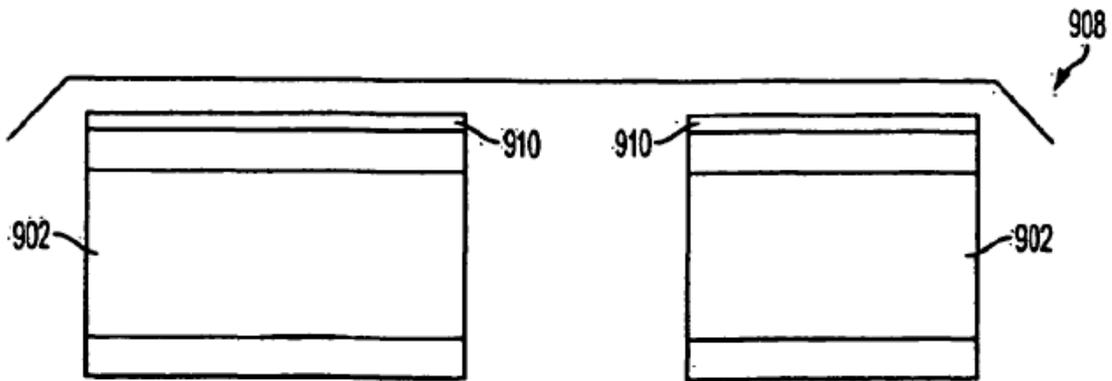


FIG. 9C

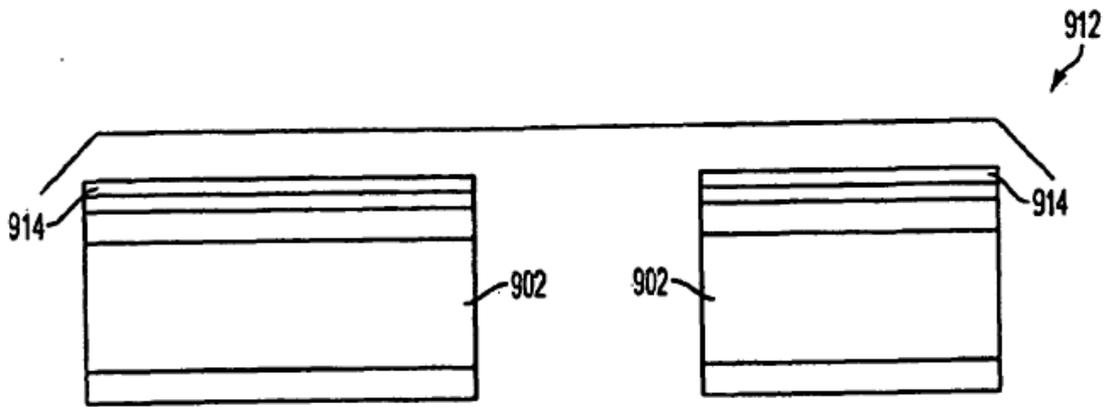


FIG. 9D

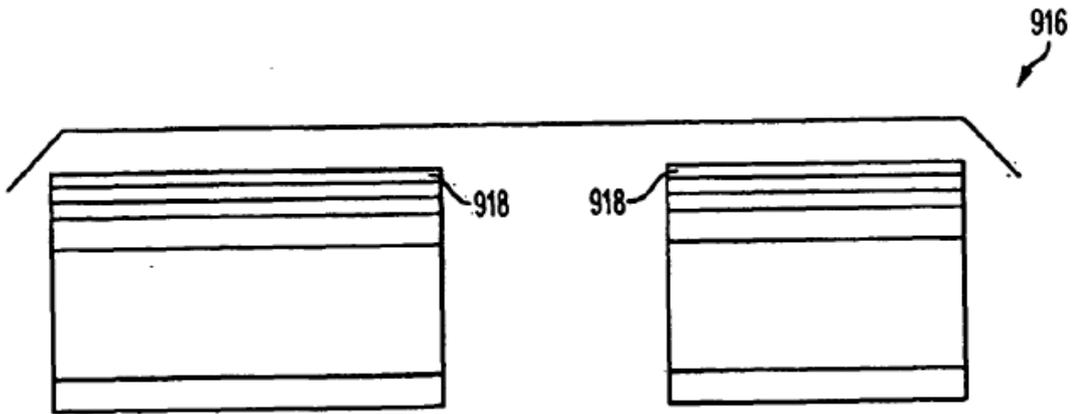


FIG. 9E

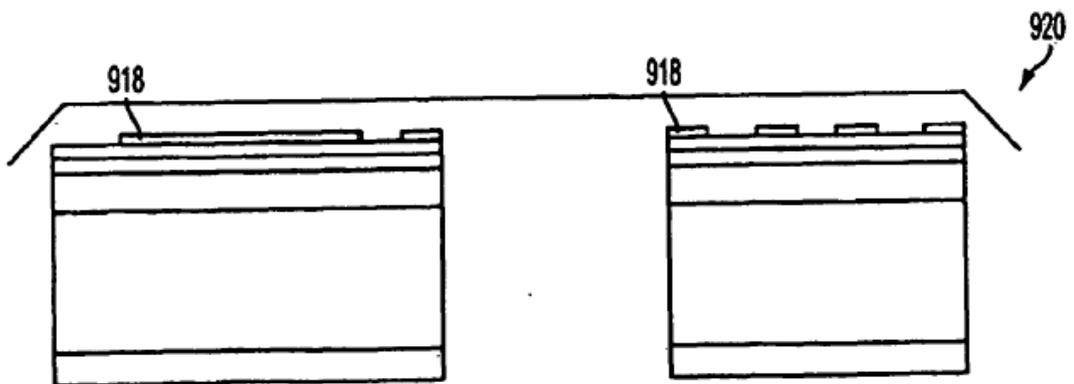


FIG. 9F

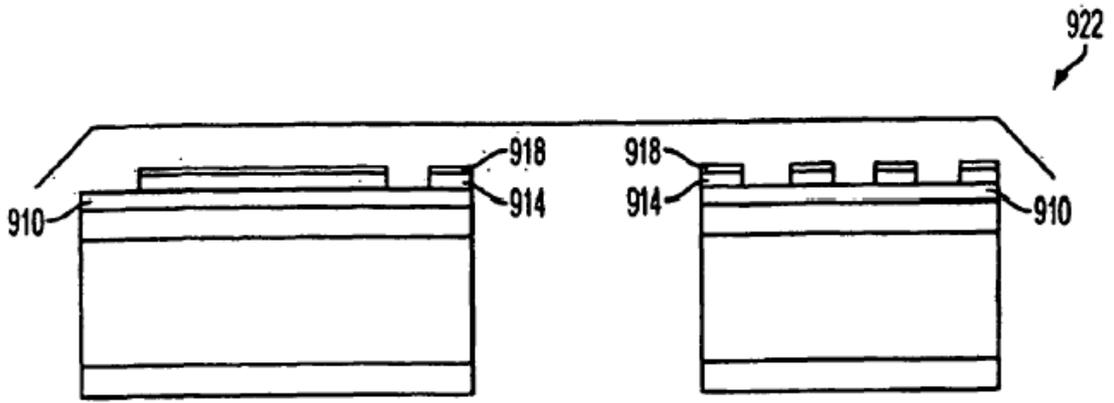


FIG. 9G

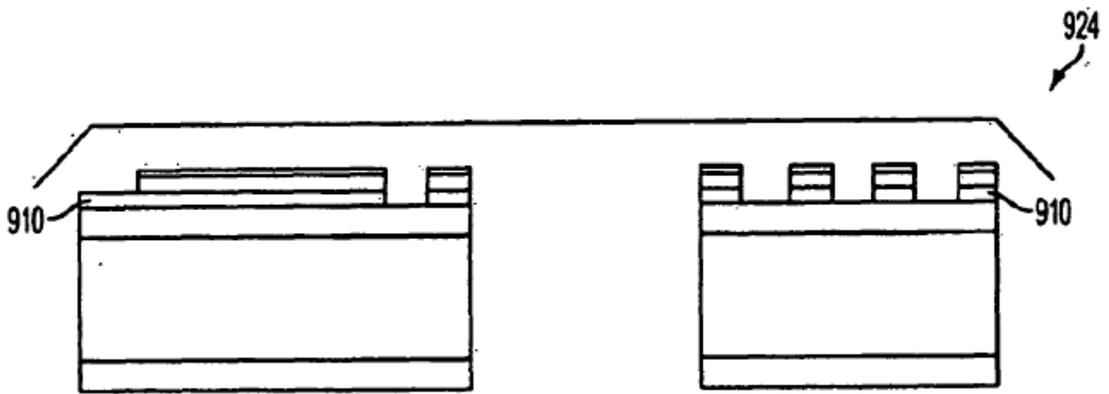


FIG. 9H

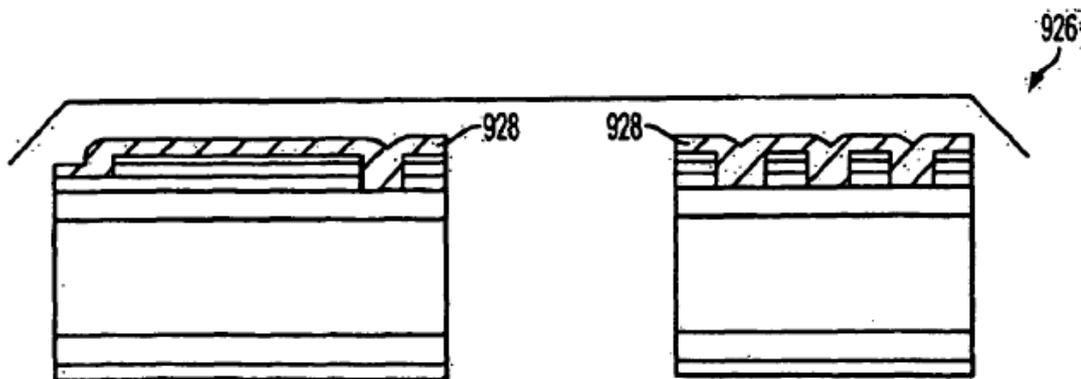


FIG. 9I

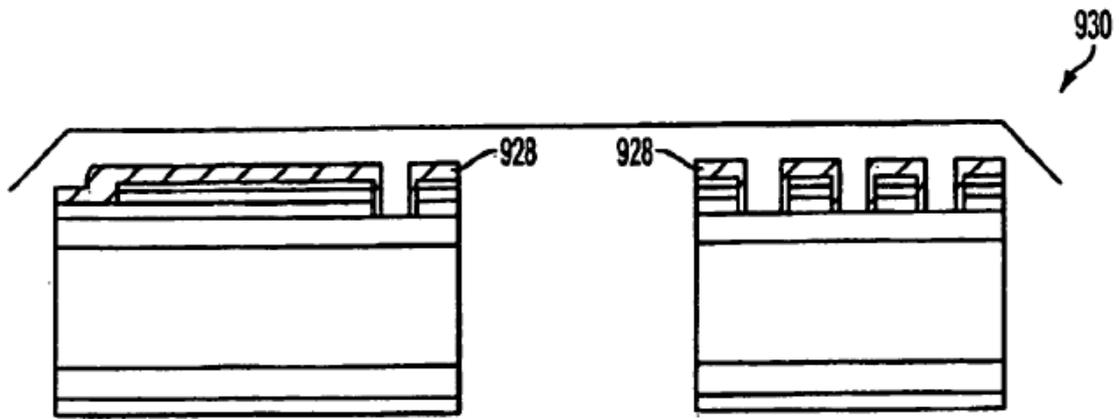


FIG. 9J

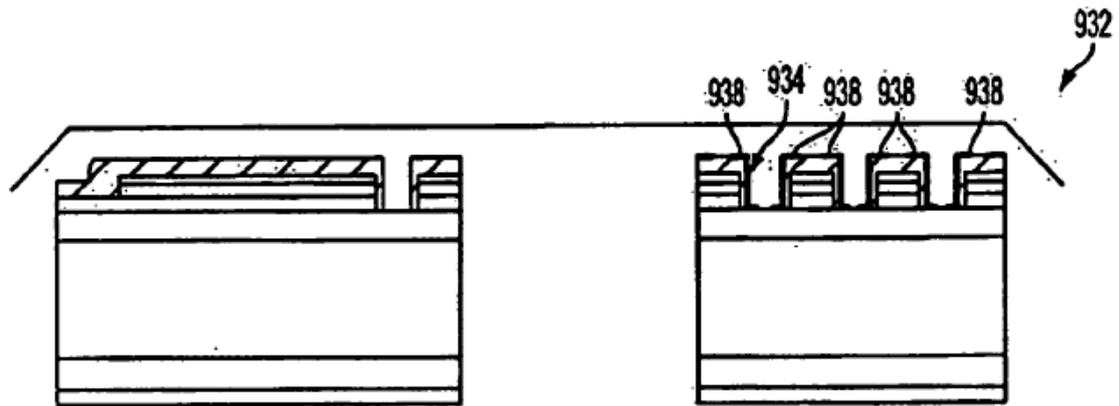


FIG. 9K

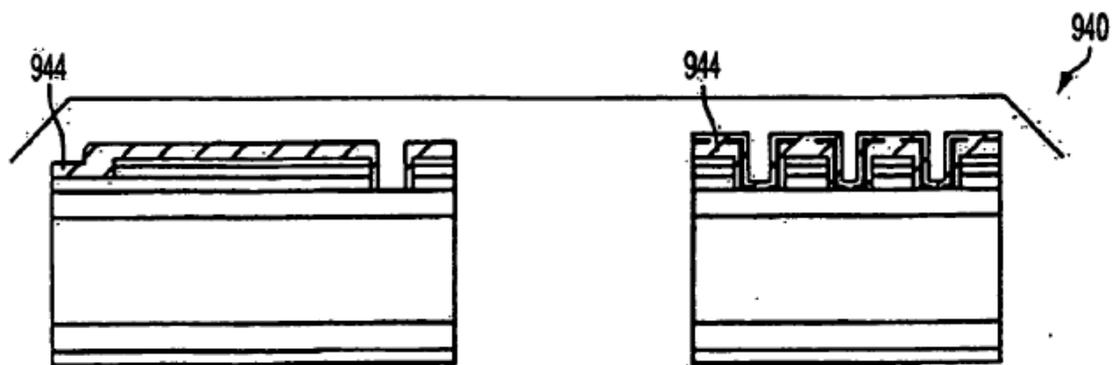


FIG. 9L

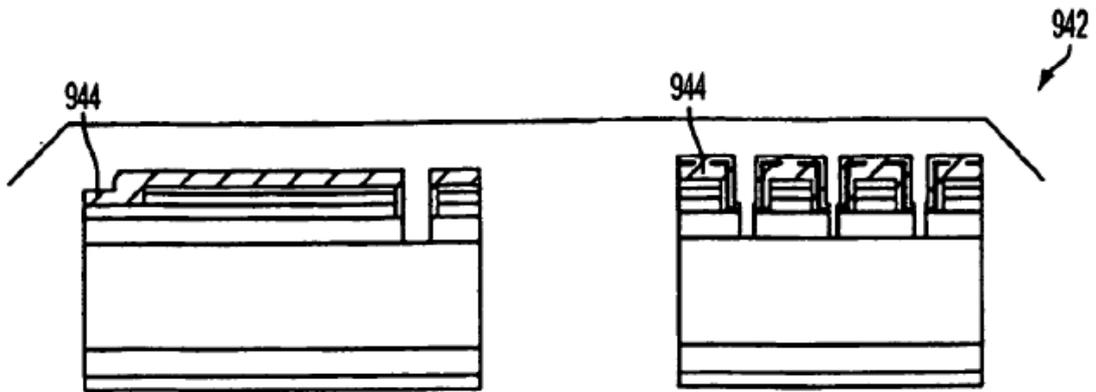


FIG. 9M

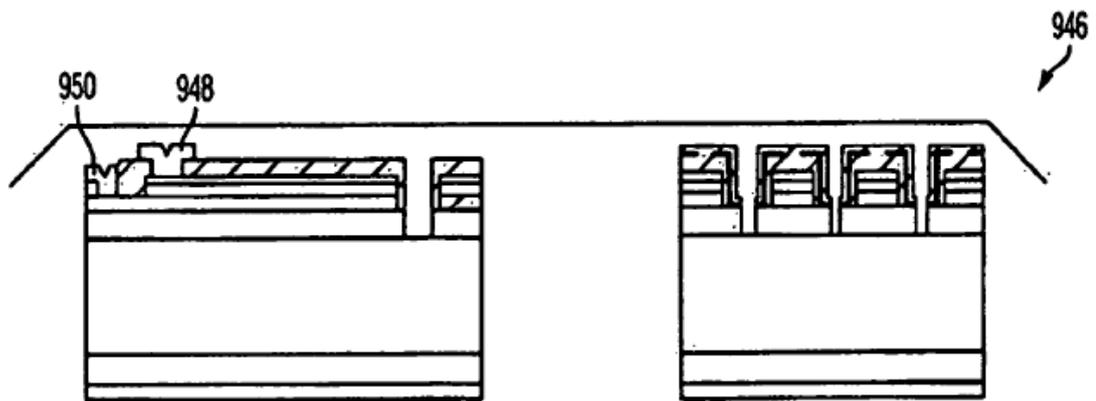


FIG. 9N

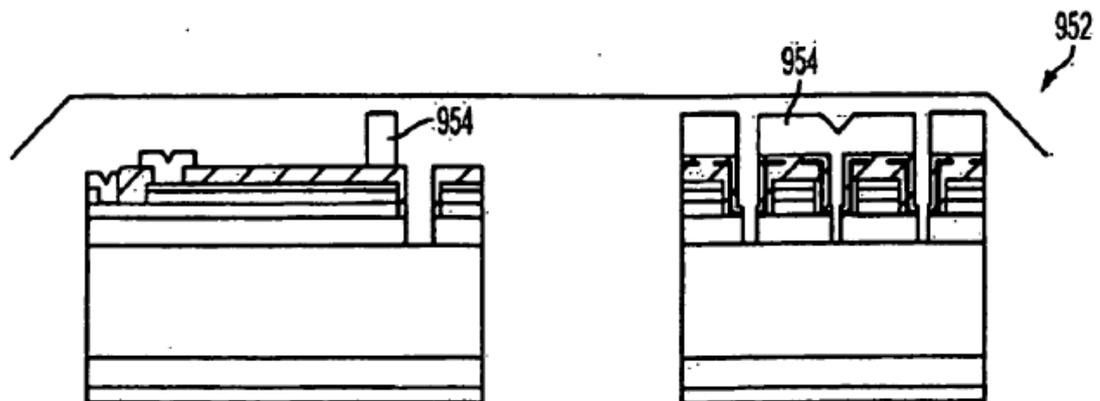
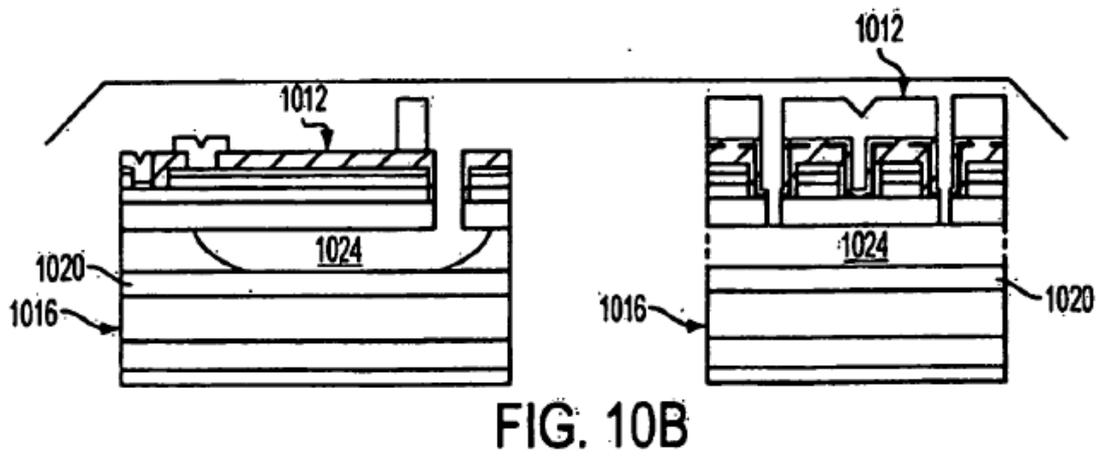
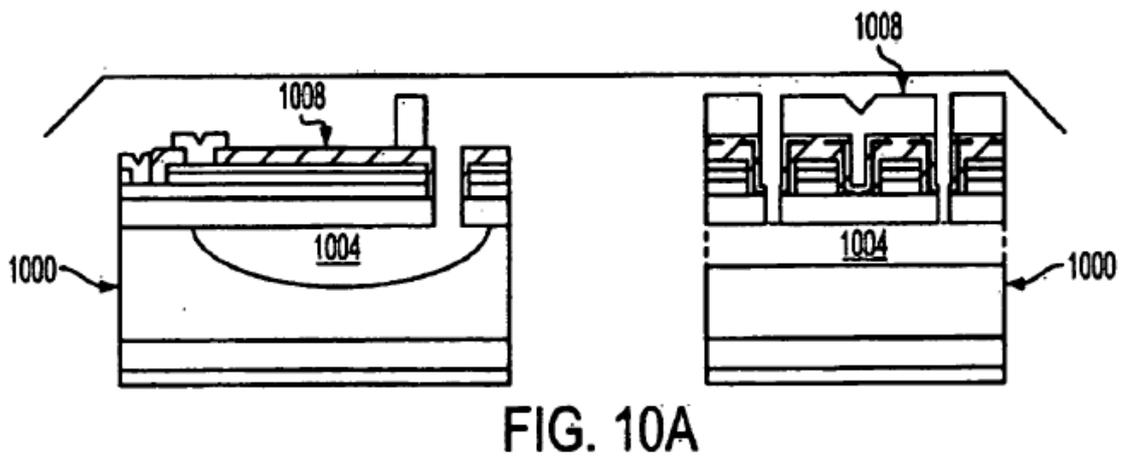
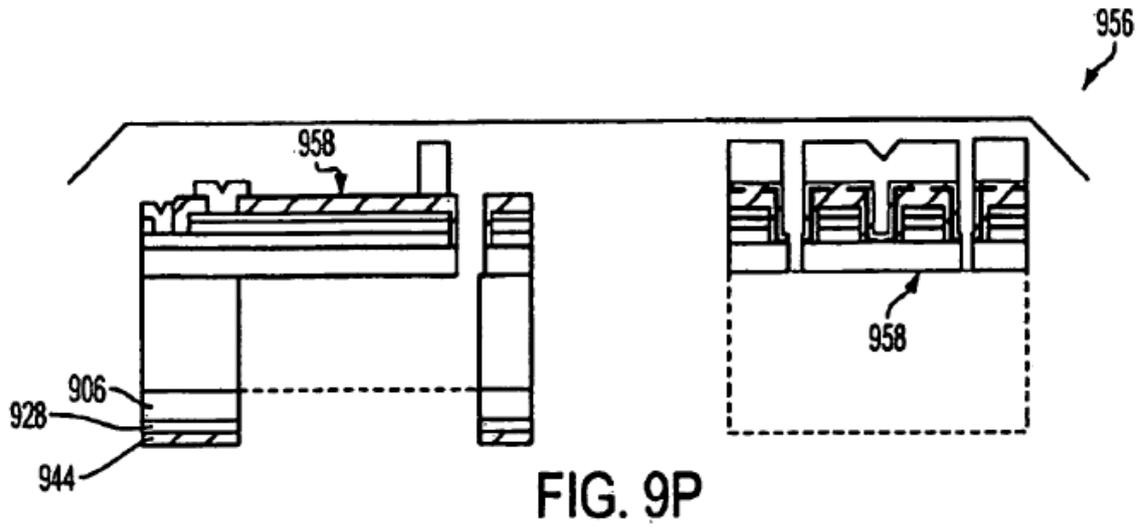


FIG. 9O



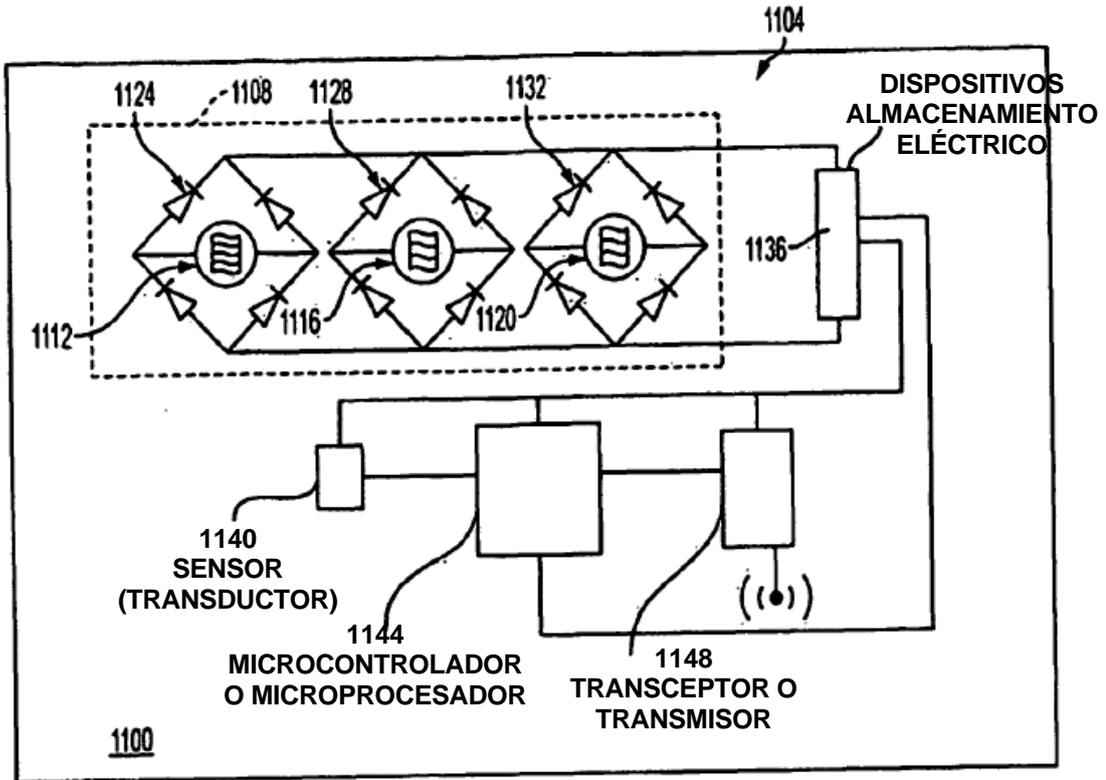


FIG. 11

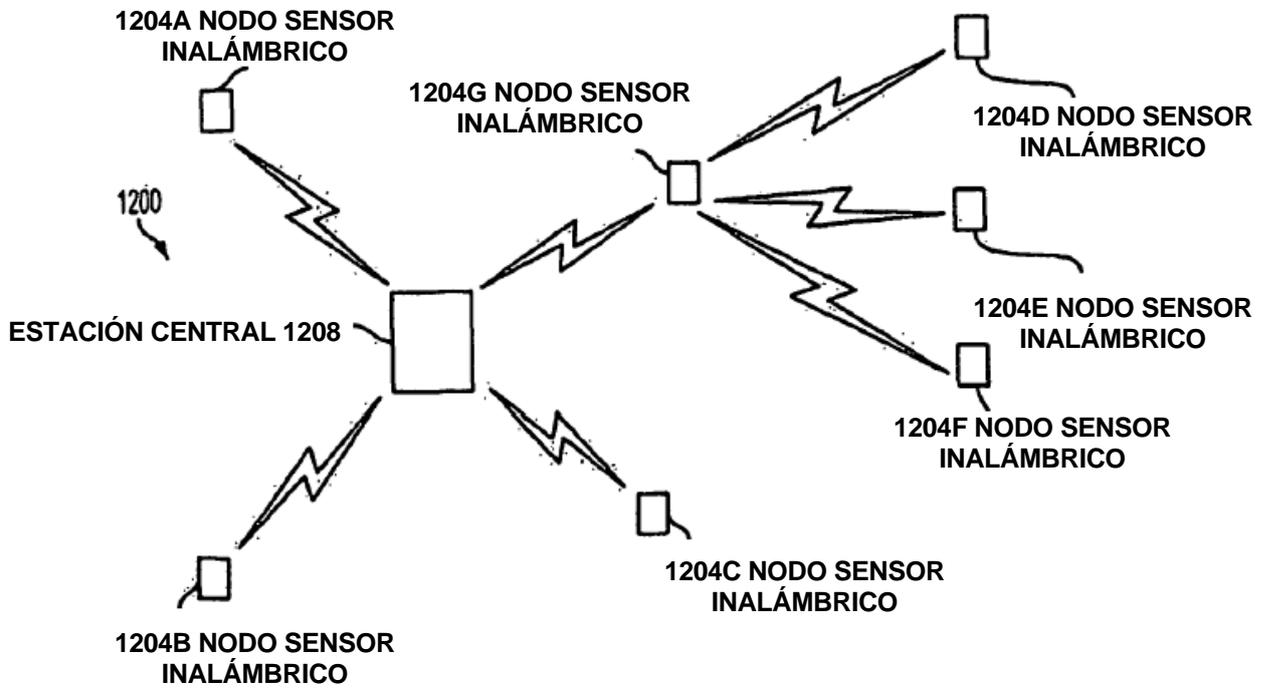


FIG. 12