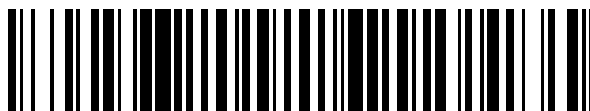


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 296**

51 Int. Cl.:

G02B 26/02 (2006.01)

G09G 3/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2006** **E 10177217 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.09.2014** **EP 2336081**

54 Título: **Procedimientos y aparato de accionamiento de medios de visualización**

30 Prioridad:

23.02.2005 US 655827 P

02.09.2005 US 218690

14.10.2005 US 251034

14.10.2005 US 251035

14.10.2005 US 251452

29.04.2005 US 676053 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.12.2014

73 Titular/es:

PIXTRONIX, INC. (100.0%)
5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121-1714 , US

72 Inventor/es:

HAGOOD, NESBITT W. y
STEYN, JASPER LODEWYK

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 524 296 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

Procedimientos y aparato de accionamiento de medios de visualización

Campo de la invención

En general, la presente invención versa acerca del campo de medios de visualización de vídeo, en particular, la invención versa acerca de dispositivos microelectromecánicos.

Antecedentes de la invención

Los medios de visualización contruidos a partir de fotomoduladores mecánicos son una alternativa atractiva a medios de visualización basados en tecnología de cristal líquido. Los fotomoduladores mecánicos son lo suficientemente rápidos como para representar visualmente un contenido de vídeo con buenos ángulos de visualización y con una amplia gama de color y de escala de grises. Los fotomoduladores mecánicos han tenido éxito en aplicaciones de medio de visualización de proyección. Los medios de visualización retroiluminados que utilizan fotomoduladores mecánicos aún no han demostrado combinaciones suficientemente atractivas de brillo y de bajo consumo.

La patente U.S. nº 6.760.505 da a conocer un sistema y un procedimiento para alinear espejos en un interruptor óptico. La solicitud de patente U.S. nº 2003/196590 describe un proceso a base de láser para crear dispositivos mecánicos. La pub. de solicitud de patente U.S. nº 2002/195423 da a conocer un procedimiento para el ataque químico en fase vapor de silicio. La pub. de solicitud de patente U.S. nº 2004/173872 da a conocer un interruptor microelectromecánico. La pub. de solicitud de patente U.S. nº 2002/01521 describe un modulador interferométrico. Las Figuras 2A y 2B muestran un espejo que está suspendido sobre un sustrato por medio de cuatro vigas de soporte. Sin embargo, la Figura 2B muestra claramente que las vigas de soporte se doblan en una dirección perpendicular a la superficie del sustrato según se tracciona el espejo contra el sustrato. La pub. de solicitud de patente U.S. nº 2002/024711 describe un modulador interferométrico que incluye estructuras que tienen un espejo secundario. La Figura 2 muestra claramente que las vigas de soporte para las estructuras se doblan en una dirección perpendicular a la superficie del sustrato cuando se activa la estructura respectiva. La pub. de solicitud de patente U.S. nº 2002/132389 describe un procedimiento para fabricar un dispositivo micromecánico al formar elementos de MEMS sobre un primer sustrato de oblea y fijar un segundo sustrato de oblea al primer sustrato de oblea.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona un dispositivo microelectromecánico según la reivindicación 1.

Breve descripción de los dibujos

Se pueden comprender mejor el sistema y los procedimientos a partir de la siguiente descripción ilustrativa con referencia a los siguientes dibujos en los que:

La Figura 1 es una vista isométrica conceptual de un aparato de visualización;
 las Figuras 2A-2B son vistas en planta de conjuntos obturadores basados en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles para ser utilizados en un aparato de visualización;
 la Figura 3A es un diagrama que ilustra diversas formas de electrodos flexibles adecuadas para su inclusión en conjuntos obturadores basados en accionadores dobles de electrodos flexibles;
 la Figura 3B es un diagrama que ilustra la energía incremental necesaria para mover conjuntos obturadores basados en accionadores dobles de electrodos flexibles que tienen las formas ilustradas en la Figura 3A;
 las Figuras 3C-3F son vistas en planta del conjunto obturador basado en accionadores de electrodos de vigas flexibles de la Figura 2A en diversas etapas de accionamiento.
 Las Figuras 4A y 4B son vistas en corte transversal de un fotomodulador basado en espejos basados en accionadores dobles de electrodos flexibles en un estado activo y en estado inactivo;
 la Figura 5 es una vista en planta de un conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles que tiene una viga con un grosor que varía a lo largo de su longitud;
 la Figura 6 es una vista isométrica de un conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles;
 la Figura 7 es una vista en planta de un conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles que incluye un resorte de retorno;
 la Figura 8 es una vista en planta de un conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles que tiene accionadores separados abierto y cerrado;
 la Figura 9 es una vista en corte transversal del conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles de la Figura 8;
 la Figura 10 es una vista en planta de un conjunto obturador biestable basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles;

la Figura 11 es una vista en planta de un segundo conjunto obturador biestable basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles;

la Figura 12 es una vista en planta de un conjunto obturador triestable que incorpora accionadores dobles de electrodos flexibles;

las Figuras 13A-C son diagramas conceptuales de otra implementación de un conjunto obturador biestable, que ilustra el estado del conjunto obturador durante un cambio en la posición del obturador;

la Figura 14A es un diagrama conceptual de un conjunto obturador biestable que incluye vigas sustancialmente rígidas;

la Figura 14B es una vista en planta de un conjunto obturador biestable rotativo;

la Figura 15 es un diagrama conceptual de un conjunto obturador biestable que incorpora accionadores termoelectricos;

la Figura 16 es una vista en corte transversal de un aparato de visualización, según una realización ilustrativa de la invención; y

la Figura 17 es una vista en corte transversal de otro aparato de visualización, según una realización ilustrativa de la invención.

Descripción

La Figura 1A es una vista isométrica de un aparato 100 de visualización, según una realización ilustrativa de la invención. El aparato 100 de visualización incluye una pluralidad de fotomoduladores, en particular, una pluralidad de conjuntos obturadores 102a-102d (en general, "conjuntos obturadores 102") dispuestos en filas y columnas. En general, un conjunto obturador 102 tiene dos estados, abierto y cerrado (aunque se pueden emplear aperturas parciales para impartir una escala de grises). Los conjuntos obturadores 102a y 102d se encuentran en el estado abierto, permitiendo que pase la luz. Los conjuntos obturadores 102b y 102c se encuentran en el estado cerrado, obstruyendo el paso de luz. Al configurar de forma selectiva los estados de los conjuntos obturadores 102a-102d, se puede utilizar el aparato 100 de visualización para formar una imagen 104 para un medio de visualización de proyección o retroiluminado, si se ilumina por medio de la lámpara 105. En otra implementación el aparato 100 puede formar una imagen mediante el reflejo de luz ambiente que se origina en la parte frontal del aparato. En el aparato 100 de visualización, cada conjunto obturador 102 se corresponde con un píxel 106 en la imagen 104.

Cada conjunto obturador 102 incluye un obturador 112 y una abertura 114. Para iluminar un píxel 106 en la imagen 104, se coloca el obturador 112 de forma que permite que pase la luz, sin ninguna obstrucción significativa, a través de la abertura 114 hacia un observador. Para mantener sin iluminar un píxel 106, se coloca el obturador 112 de forma que obstruya el paso de luz a través de la abertura 114. La abertura 114 está definida por una abertura modelada a través de un material reflectante o fotoabsorbente en cada conjunto obturador 102.

En implementaciones alternativas, un aparato 100 de visualización incluye múltiples conjuntos obturadores 102 para cada píxel 106. Por ejemplo, el aparato 100 de visualización puede incluir tres conjuntos obturadores 102 de color específico. Al abrir de forma selectiva uno o más de los conjuntos obturadores 102 de color específico correspondientes a un píxel particular 106, el aparato 100 de visualización puede generar un píxel 106 de color en la imagen 104. En otro ejemplo, el aparato 100 de visualización incluye dos o más conjuntos obturadores 102 por píxel 106 para proporcionar una escala de grises en una imagen 104. En otras implementaciones adicionales, el aparato 100 de visualización puede incluir otras formas de fotomoduladores, tales como microespejos, filtros, polarizadores, dispositivos interferométricos, y otros dispositivos adecuados, en vez de conjuntos obturadores 102 para modular la luz para formar una imagen.

Los conjuntos obturadores 102 del aparato 100 de visualización se forman utilizando técnicas estándar de micromecanización conocidas en la técnica, incluyendo litografía; técnicas de decapado, tales como química húmeda, seca y eliminación de la fotoprotección; oxidación térmica de silicio; galvanización y galvanización no electrolítica; procedimientos de difusión, tales como difusión de boro, fósforo, arsénico, y antimonio; implantación de iones; deposición de película, tal como evaporación (por filamento, por haz de electrones, por vacío y cobertura de reflexiones y de escalones), deposición electrónica, deposición química de vapor (CVD), CVD mejorada con plasma, epitaxia (en fase de vapor, en fase líquida y por haz molecular), galvanización, serigrafía, y laminación. Véase, en general, Jaeger, Introduction to Microelectronic Fabrication (Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, 1988); Runyan, et al., Semiconductor Integrated Circuit Processing Technology (Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, 1990); Actas del Congreso IEEE de Sistemas Microelectromecánicos de 1987-1998; Rai-Choudhury, ed., Handbook of Microlithography, Micromachining & Microfabrication (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, 1997).

Más específicamente, se depositan múltiples capas de material (normalmente alternantes entre metales y dieléctricos) sobre un sustrato formando una pila. Después de que se añaden una o más capas de material a la pila, se aplican modelos a una capa más superior de la pila marcando el material que bien ha de ser eliminado de la pila, o bien que ha de permanecer en la misma. Entonces, se aplican diversas técnicas de ataque químico, incluyendo ataques químicos en húmedo o seco o decapado por iones reactivos, a la pila modelada para eliminar material no deseado. El procedimiento de ataque químico puede eliminar material de una o más capas de la pila en función de la

química del ataque químico, de las capas en la pila, y de la cantidad de tiempo que se aplique el decapado. El procedimiento de fabricación puede incluir múltiples iteraciones de estratificación, de modelado y de decapado.

En una implementación los conjuntos obturadores 102 están fabricados sobre un sustrato transparente de vidrio o de plástico. Este sustrato puede formar una parte integral de un proyector de fondo que actúe para distribuir uniformemente la iluminación procedente de la lámpara 105 antes de que la luz salga a través de las aberturas 114. De forma alternativa y opcional, se puede colocar el sustrato transparente encima de un conducto luminoso plano, en el que la matriz de conjuntos obturadores 102 actúa como elementos de modulación de la luz en la formación de una imagen. En una implementación, los conjuntos obturadores 102 se fabrican junto con la fabricación, o subsiguientemente a la misma, de una matriz de transistores de película delgada (TFT) en el mismo sustrato de vidrio o de plástico. La matriz de TFT proporciona una matriz de conmutación para una distribución de señales eléctricas a los conjuntos obturadores.

El procedimiento también incluye una etapa de liberación. Para proporcionar libertad a las partes para que se muevan en el dispositivo resultante, se interpone material sacrificial en la pila próximo al material que formará partes móviles en el dispositivo completado. Un ataque químico elimina gran parte del material sacrificial, liberando, de ese modo, a las partes para que puedan moverse.

Después de la liberación, se pueden aislar una o más de las superficies del conjunto obturador, de forma que la carga no se transfiera entre partes móviles tras un contacto. Esto puede lograrse mediante oxidación térmica y/o mediante deposición química conformada de vapor de un aislante tal como Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, TiSiO₄, HfO₂, HfSiO₄, V₂O₅, Nb₂O₅, Ta₂O₅, SiO₂ o Si₃N₄ o al depositar materiales similares utilizando técnicas tales como la deposición de capa atómica y otras. Las superficies aisladas son pasivadas químicamente para evitar problemas tales como la fricción entre las superficies en contacto mediante procedimientos de conversión química, tales como la fluoración, el silanización o la hidrogenación de las superficies aisladas.

Los accionadores dobles de electrodos flexibles forman una clase adecuada de accionadores para accionar los obturadores 112 en los conjuntos obturadores 102. En general, un accionador doble de electrodos de vigas flexibles está formado de dos o más vigas al menos parcialmente flexibles. Al menos dos de las vigas hacen de electrodos (también denominados en el presente documento "electrodos de vigas"). En respuesta a la aplicación de una tensión a través de los electrodos de vigas, se atraen entre sí los electrodos de vigas por las fuerzas electrostáticas resultantes. Ambas vigas en un electrodo doble de vigas flexibles son flexibles, al menos en parte. Es decir, al menos alguna porción de cada una de las vigas puede flexionarse y o doblarse para ayudar a que las vigas se junten. En algunas implementaciones se consigue la flexibilidad mediante la inclusión de pliegues o juntas con pasadores. alguna porción de las vigas puede ser sustancialmente rígida o puede estar fijada en su lugar. Preferentemente, al menos la mayor parte de la longitud de las vigas es flexible.

Los accionadores dobles de electrodos flexibles tienen ventajas con respecto a otros accionadores conocidos en la técnica. Los accionadores electrostáticos de tipo peine son muy aptos para accionarse en distancias relativamente grandes, pero solo pueden generar fuerzas relativamente débiles. Los accionadores de placas paralelas o de vigas paralelas pueden generar fuerzas relativamente grandes pero requieren pequeños huecos entre las placas o vigas paralelas y, por lo tanto, solo se accionan a distancias relativamente pequeñas. R. Legtenberg et al. (Journal of Microelectromechanical Systems, v. 6, p. 257, 1997) demostraron cómo el uso de accionadores curvados de electrodo puede generar fuerzas relativamente grandes y tener como resultado desplazamientos relativamente grandes. Sin embargo, las tensiones requeridas para iniciar el accionamiento en Legtenberg siguen siendo sustanciales. Como se muestra en el presente documento se pueden reducir tales tensiones permitiendo el movimiento o la flexión de ambos electrodos.

En un conjunto obturador basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles, hay acoplado un obturador a al menos una viga de un accionador doble de electrodos de vigas flexibles. Según se tracciona una de las vigas en el accionador hacia la otra, la viga traccionada también mueve el obturador. Al hacerlo, se mueve el obturador desde una primera posición hasta una segunda posición. En una de las posiciones, el obturador interactúa con la luz en una trayectoria óptica, por ejemplo, y sin limitación, al bloquear, reflejar, absorber, filtrar, polarizar, difractar o alterar de otra manera una propiedad o la trayectoria de la luz. El obturador puede estar revestido con una película reflectante o fotoabsorbente para mejorar sus propiedades de interferencia. En la segunda posición, el obturador permite que la luz pase a través del mismo, relativamente sin obstrucciones.

Las Figuras 2A y 2B son diagramas de dos realizaciones de conjuntos obturadores basados en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles en voladizo para ser utilizados en un aparato de visualización, tal como el aparato 100 de visualización. Más en particular, la Figura 2A muestra un conjunto obturador 200a basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles en voladizo ("conjunto obturador 200a"). El conjunto obturador 200a modula luz para formar una imagen al mover de forma controlable un obturador 202a dentro y fuera de una trayectoria óptica de luz. En una realización, la trayectoria óptica comienza por detrás de una superficie 204a, a la que está fijado el obturador 202a. La superficie 204a está ilustrada como una línea delimitadora discontinua. La línea discontinua indica que la superficie 204a se extiende más allá del espacio delimitado por la línea delimitadora. Se utilizan líneas delimitadoras discontinuas similares en otras figuras para indicar lo mismo. La luz pasa a través de la abertura 206a

en la superficie 204a hacia un observador o hacia una pantalla de visualización. En otra realización, la trayectoria óptica comienza por delante de la superficie 204a y es reflejada de nuevo al observador desde la superficie de la abertura 206a.

5 El obturador 202a del conjunto obturador 200a está formado de un cuerpo sólido sustancialmente plano. El obturador 202a puede adoptar casi cualquier forma, bien regular o bien irregular, de forma que en una posición cerrada el obturador 202a obstruye suficientemente la trayectoria óptica a través de la abertura 206a en la superficie 204a. Además, el obturador 202a debe tener una anchura coherente con la anchura de la abertura, de forma que, en la posición abierta (según se muestra), pueda pasar suficiente luz a través de la abertura 206a en la superficie 204a para iluminar un píxel, o contribuir a la iluminación de un píxel, en el aparato de visualización.

10 El obturador 202a se acopla a un extremo de una viga 208a de carga. Un anclaje 210a de carga, en el extremo opuesto de la viga 208a de carga conecta físicamente la viga 208a de carga a la superficie 204a y conecta eléctricamente la viga 208a de carga a circuitería de excitación en la superficie 204a. Juntos, la viga 208a de carga y el anclaje 210a de carga sirven de soporte mecánico para soportar el obturador 202a sobre la superficie 204a.

15 El conjunto obturador 200a incluye un par de vigas 212a y 214a de accionamiento, una ubicada a lo largo de cualquiera de los dos lados de la viga 210a de carga. Juntas, las vigas 212a y 214a de accionamiento y la viga 210a de carga forman un accionador. Una viga 212a de accionamiento hace de electrodo de apertura del obturador y la otra viga 214a de accionamiento hace de electrodo de cierre del obturador. Los anclajes 216a y 218a de accionamiento ubicados en los extremos de las vigas 212a y 214a de accionamiento más cercanos al obturador 202a conectan física y eléctricamente cada viga 212a y 214a de accionamiento a la superficie 204a. En esta
20 realización, los otros extremos y la mayor parte de la longitud de las vigas 212a y 214a de accionamiento permanecen no anclados o libres. Los extremos libres de las vigas 212a y 214a de accionamiento se encuentran más cercanos del extremo anclado de la viga 208a de carga de lo que lo están los extremos anclados de las vigas 212a y 214a de accionamiento al extremo obturador de la viga 208a de carga.

25 La viga 208a de carga y las vigas 212a y 214a de accionamiento son flexibles. Es decir, tienen suficiente flexibilidad y resiliencia que pueden ser dobladas fuera de su posición o forma no sujeta a esfuerzo ("de reposo") hasta al menos algún grado útil, sin fatiga ni rotura. Dado que la viga 208a de carga y las vigas 212a y 214a de accionamiento solo están ancladas en un extremo, la mayor parte de la longitud de las vigas 208a, 212a y 214a se encuentra libre para moverse, doblarse, flexionarse o deformarse en respuesta a una fuerza aplicada. Se expone adicionalmente la operación del conjunto obturador 200a basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles en voladizo a continuación con respecto a la Figura 3.
30

La Figura 2B es una segunda realización ilustrativa de un conjunto obturador 200b basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles en voladizo (conjunto obturador 200b). Como el conjunto obturador 200a, el conjunto obturador 200b incluye un obturador 202b, acoplado a una viga 208b de carga, y dos vigas 212b y 214b de accionamiento. El obturador 202b está colocado entre su posición completamente abierta y su posición
35 completamente cerrada. La viga 208b de carga y las vigas 212b y 214b de accionamiento, conjuntamente, forman un accionador. Los anclajes 210b, 216b y 218b de accionamiento, acoplados en cada extremo de las vigas conectan las vigas a una superficie 204b. A diferencia del conjunto obturador 200a, el obturador del conjunto obturador 200b incluye varias aperturas 220 del obturador, en forma de ranuras. La superficie 204b, en vez de tener únicamente una abertura, incluye una abertura 206b de superficie correspondiente a cada apertura 220 del obturador. En la posición
40 abierta, las aperturas 220 del obturador se alinean sustancialmente con las aberturas 206b en la superficie 204b, permitiendo que pase luz a través del obturador 202b. En la posición cerrada, las aberturas 206b de superficie están obstruidas por el resto del obturador 202b, evitando, de ese modo, el paso de luz.

El cambio del estado de un conjunto obturador que incluye múltiples aperturas del obturador con un número correspondiente de aberturas de superficie requiere menos movimiento del obturador que el cambio del estado de un conjunto obturador que incorpora un obturador sólido y una única abertura de superficie, a la vez que se sigue proporcionando la misma área de apertura. Un menor movimiento requerido se corresponde con una menor tensión
45 requerida de accionamiento. Más en particular, una reducción en el movimiento requerido de 1/3 reduce la tensión necesaria de accionamiento del accionador en un factor de aproximadamente 1/3. Además, una menor tensión de accionamiento se corresponde con un menor consumo de energía. Dado que el área total de apertura para cualquiera de los dos conjuntos obturadores es aproximadamente la misma, cada conjunto obturador proporciona un
50 brillo sustancialmente similar.

En otras implementaciones, las aperturas del obturador y las aberturas correspondientes de superficie tienen formas distintas de ranuras. Las aperturas pueden ser circulares, poligonales o irregulares. En implementaciones
55 alternativas, el obturador puede incluir más aperturas de obturador que aberturas de superficie hay en el conjunto obturador. En tales implementaciones, una o más de las aperturas de obturador pueden servir de filtro, tal como un filtro de color. Por ejemplo, el conjunto obturador puede tener tres aperturas de obturador para cada abertura de superficie, incluyendo cada apertura del obturador un filtro de color rojo, azul, o verde.

Las Figuras 3A y 3B son diagramas que ilustran la relación entre el desplazamiento en el extremo de la viga de carga y la tensión relativa necesaria para mover la viga de carga más cerca de la viga de accionamiento. El

desplazamiento que puede conseguirse con cualquier tensión dada depende, al menos en parte, de la curvatura o forma de la viga de accionamiento, o más precisamente, de cómo varía la separación, d , y el esfuerzo de flexión a lo largo de la viga de accionamiento y la viga de carga como una función de la posición x a lo largo de la viga de carga. Se puede generalizar una función de separación $d(x)$, mostrada en la Figura 3A en la forma de $d=ax^n$, en la que y es la distancia entre las vigas. Por ejemplo, si $n=1$, la distancia entre el electrodo de excitación y el electrodo de carga aumenta linealmente a lo largo de la longitud del electrodo de carga. Si $n=2$, la distancia aumenta parabólicamente. En general, suponiendo una tensión constante, según se reduce la distancia entre los electrodos flexibles, aumenta la fuerza electrostática en cualquier punto sobre las vigas de forma proporcional a $1/d$. Sin embargo, al mismo tiempo cualquier deformación de la viga de carga que pueda reducir la distancia de separación también puede tener como resultado un estado de mayor esfuerzo en la viga. Por debajo de un umbral de tensión mínima se alcanzará un límite de deformación en el que cualquier energía eléctrica liberada por un acercamiento mayor de los electrodos se equilibra exactamente mediante la energía que se almacena en la energía de deformación de las vigas.

Como se indica en el diagrama 3B, para accionadores que tienen funciones de separación en las que n es menor o igual que 2, la aplicación de una tensión mínima (V_2) de accionamiento tiene como resultado una atracción en cascada de la viga de carga hacia la viga de accionamiento sin requerir la aplicación de una tensión mayor. Para tales accionadores, el aumento progresivo en la fuerza electrostática sobre las vigas resultante de que la viga de carga se acerque a la viga de accionamiento es mayor que el aumento progresivo en el esfuerzo sobre las vigas necesario para un desplazamiento adicional de las vigas.

Para accionadores que tienen funciones de separación en las que x es mayor que 2, la aplicación de una tensión particular tiene como resultado un desplazamiento parcial manifiesto del electrodo de carga. Es decir, el aumento progresivo en la fuerza electrostática sobre las vigas resultante de una reducción particular en la separación entre las vigas, en algún punto, no supera la fuerza incremental de deformación necesaria que ha de impartirse sobre la viga de carga para que se continúe reduciendo la separación. Por lo tanto, para accionadores que tienen funciones de separación que tienen n mayor que 2, la aplicación de un primer nivel de tensión tiene como resultado un primer desplazamiento correspondiente del electrodo de carga. Una tensión mayor tiene como resultado un mayor desplazamiento correspondiente del electrodo de carga. Se expone con más detalle cómo afectan las formas y la flexibilidad relativa de electrodos de vigas delgada a la tensión de accionamiento en las siguientes referencias: (R. Legtenberg et. al., Journal of Microelectromechanical Systems, v. 6, p. 257 (1997) y J. Li et. al. Transducers '03, The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators, and Microsystems, p. 480 (2003).

Con referencia de nuevo a las Figuras 2A y 2B, un aparato de visualización que incorpora los conjuntos obturadores 202a y 202b acciona, es decir, cambia la posición de los conjuntos obturadores 202a y 202b, aplicando un potencial eléctrico, procedente de una fuente controlable de tensión, a una de las vigas 212a, 212b, 214a o 214b de accionamiento a través de su correspondiente anclaje 216a, 216b, 218a o 218b de accionamiento, estando acoplado eléctricamente la viga 208a o 208b de carga a tierra, lo que tiene como resultado una tensión a través de las vigas 208a, 208b, 212a, 212b, 214a, 214b. La fuente controlable de tensión, tal como un accionador de conjuntos de matrices activas, está acoplada a una viga 208a o 208b de carga a través de un conjunto de matrices activas (véanse las Figuras 9 y 10 a continuación). En vez de ello, el aparato de visualización puede aplicar un potencial a la viga 208a o 208b de carga a través del anclaje 210a o 210b de carga del conjunto obturador 202a o 202b para aumentar la tensión. Una diferencia de potencial eléctrico entre las vigas de accionamiento y las vigas de carga, con independencia del signo o potencial de tierra, generará una fuerza electrostática entre las vigas.

Con referencia de nuevo a la Figura 3, el conjunto obturador 200a de la Figura 2A tiene una función de separación de segundo orden (es decir, $n=2$). Por lo tanto, si la diferencia de tensión o de potencial entre las vigas 208a y 212a o 214a del conjunto obturador 202a en su punto de menor separación supera la tensión mínima (V_2) de accionamiento la deformación de las vigas 208a y 212a o 214a hace que disminuyan en cascada todas la longitudes de las vigas 208a y 212a o 214a, traccionando el extremo obturador de la viga 208a de carga hacia el extremo anclado de la viga 212a o 214a de accionamiento. El movimiento de la viga 208a de carga desplaza el obturador 202a, de forma que cambia su posición ya sea desde abierta o cerrada, o viceversa, dependiendo a qué viga 212a o 214a de accionamiento ha aplicado el potencial al aparato de visualización. Para invertir el cambio de posición, el aparato de visualización interrumpe la aplicación del potencial a la viga energizada 212a o 214a de accionamiento. Después de que el aparato de visualización deja de aplicar el potencial, la energía almacenada en forma de esfuerzo en la viga 208a de carga deformada restaura la viga 208a de carga a su posición original o de reposo. Para aumentar la velocidad de la recuperación y para reducir cualquier oscilación en torno a la posición de reposo de la viga 208a de carga, el aparato de visualización puede devolver al obturador 202a a su anterior posición al aplicar un potencial eléctrico a la viga opuesta 212a o 214a de accionamiento.

Estos conjuntos obturadores 200a y 200b, al igual que los conjuntos obturadores 500 (véase la Figura 5 a continuación), 600 (véase la Figura 6 a continuación), 700 (véase la Figura 7 a continuación) y 800 (véase la Figura 8 a continuación) tienen la propiedad de ser biestables eléctricamente. En general, se comprende que esto abarca, aunque sin limitación, dispositivos en los que el potencial eléctrico V_2 que inicia el movimiento entre los estados abierto y cerrado es mayor, en general, que el potencial eléctrico (V_1) requerido para mantener el conjunto obturador en un estado estable. Una vez que la viga 208a de carga y una de las vigas de accionamiento se encuentran en contacto, se debe aplicar una fuerza eléctrica sustancialmente mayor desde la viga opuesta de accionamiento para

mover o separar la viga de carga, siendo mayor tal fuerza eléctrica que la que sería necesaria si la viga de carga 208a se encontrase en una posición neutral o de no contacto. Los dispositivos biestables descritos en el presente documento pueden emplear un esquema de accionamiento de matriz pasiva para la operación de una matriz de conjuntos obturadores tal como 200a. En una secuencia de accionamiento de matriz pasiva es posible conservar una imagen manteniendo una tensión V_1 de estabilización en todos los conjuntos obturadores (excepto aquellos que están siendo accionados activamente hasta un cambio de estado). Sin requerir energía eléctrica, o sustancialmente ninguna, es suficiente el mantenimiento de un potencial V_1 entre la viga 208a de carga y la viga 212a o 214a de accionamiento para mantener el conjunto obturador bien en su estado abierto o bien en su estado cerrado. Para llevar a cabo un evento de conmutación, se permite que la tensión entre la viga 208a de carga y la viga de accionamiento afectada anteriormente (por ejemplo, 212a) vuelva desde V_1 a cero mientras que se aumenta la tensión entre la viga 208a de carga y la viga opuesta (por ejemplo, 212b) hasta la tensión V_2 de conmutación.

En la Figura 2B, el accionador tiene una función de separación de tercer orden (es decir, $n=3$). Por lo tanto, la aplicación de un potencial particular a una de las vigas 212b o 214b de accionamiento tiene como resultado un desplazamiento progresivo del obturador 202b. El aparato de visualización aprovecha la capacidad para desplazar el obturador 202b para generar una imagen en una escala de grises. Por ejemplo, la aplicación de un primer potencial a una viga 212 o 214b de accionamiento desplaza al obturador 202b hasta su posición ilustrada, obstruyendo parcialmente la luz que pasa a través de las aberturas 206b de superficie, pero permitiendo aún que pase algo de luz a través del obturador 202b. La aplicación de otros potenciales tiene como resultado otras posiciones del obturador 202b, incluyendo posiciones completamente abierta, completamente cerrada y otras intermedias entre la completamente abierta y la completamente cerrada. De tal forma se puede emplear circuitería analógica de excitación eléctrica para conseguir una imagen analógica en escala de grises.

Las Figuras 3C a 3F demuestran las etapas de movimiento de la viga 208a de carga, del electrodo 214a de cierre del obturador, y del obturador 202a del conjunto obturador 200a de la Figura 2A. La separación inicial entre las vigas flexibles 208a y 214a encaja en una función de separación de segundo orden. La Figura 3C muestra la viga 208a de carga en una posición neutral sin tensión aplicada. La abertura 206a está medio cubierta por el obturador 212a.

La Figura 3D demuestra las etapas iniciales de accionamiento. Se aplica una pequeña tensión entre la viga 208a de carga y el electrodo 214a de cierre del obturador. El extremo libre del electrodo 214a de cierre del obturador se ha movido para hacer contacto con la viga 208a de carga.

La Figura 3E muestra el conjunto obturador 200a en un punto de accionamiento después de que el obturador 212 comienza a moverse hacia el electrodo 214a de cierre del obturador.

La Figura 3F muestra en estado final de accionamiento del conjunto obturador 200a. La tensión ha superado el umbral del accionamiento. El conjunto obturador 200a se encuentra en la posición cerrada. Se realiza un contacto entre la viga 208a de carga y el electrodo 214a de cierre del obturador en toda su longitud.

La Figura 4A es un primer diagrama en corte transversal de un fotomodulador 400 basado en espejos dobles de electrodos flexibles para su inclusión en un aparato de visualización, tal como el aparato 100 de visualización, en vez de los conjuntos obturadores 102, o además de los mismos. El fotomodulador 400 basado en espejos incluye una plataforma 402 de reflexión flexible mecánicamente. Al menos una porción de la plataforma 402 de reflexión es reflectante ella misma o está revestida con un material reflectante, o está conectada al mismo.

La plataforma 402 de reflexión puede ser conductora o no. En implementaciones en las que la plataforma 402 de reflexión es conductora, la plataforma de reflexión hace de electrodo de carga para el fotomodulador 400 basado en espejos. La plataforma 402 de reflexión está soportada físicamente sobre un sustrato 404, y está acoplada eléctricamente al mismo, a través de un miembro flexible 406 de soporte. Si la plataforma 402 de reflexión está formada de un material no conductor, la plataforma 402 de reflexión está acoplada a una viga conductora flexible de carga o a otra forma de electrodo flexible de carga. Un miembro flexible 406 de soporte soporta físicamente la plataforma 402 de reflexión y el electrodo combinados sobre el sustrato 404. El miembro 406 de soporte también proporciona una conexión eléctrica desde el electrodo hasta el sustrato 404.

El fotomodulador 400 basado en espejos incluye un segundo electrodo flexible 408, que hace de electrodo 408 de excitación. El electrodo 408 de excitación está soportado entre el sustrato 404 y la plataforma 402 de reflexión por medio de un segundo miembro 410 de soporte sustancialmente rígido. El segundo miembro 410 de soporte también conecta eléctricamente el segundo electrodo flexible 408 con una fuente de tensión para accionar el fotomodulador 400 basado en espejos.

El fotomodulador 400 basado en espejos mostrado en la Figura 4A se encuentra en la posición de reposo en la que ni el electrodo 402 ni el 408 tiene un potencial. La Figura 4B muestra el fotomodulador 400 basado en espejos en un estado activado. Cuando se genera una diferencia de potencial entre el electrodo 408 de excitación y el electrodo 402 de carga (ya sea la plataforma 402 de reflexión o una viga fijada de carga), el electrodo 402 de carga es traccionado hacia el electrodo 408 de excitación, doblando, de ese modo, la viga flexible 406 de soporte e inclinando la porción reflectante de la plataforma 402 de reflexión para que sea al menos parcialmente transversal al sustrato 404.

Para formar una imagen, se dirige luz 412 hacia una matriz de fotomoduladores 400 basados en espejos con un ángulo particular. Los fotomoduladores 400 basados en espejos en sus estados de reposo reflejan la luz 412 alejándola del observador o de la pantalla de visualización, y los fotomoduladores basados en espejos en el estado activo reflejan la luz 412 hacia un observador o una pantalla de visualización, o viceversa.

La Figura 5 es un diagrama de otro conjunto obturador 500 basado en accionadores dobles de electrodos de vigas flexibles en voladizo ("conjunto obturador 500"). Como con los conjuntos obturadores 200a y 200b, el conjunto obturador 500 incluye un obturador 502 acoplado a una viga flexible 504 de carga. Entonces, se ancla físicamente la viga flexible 504 de carga a una superficie 506, y se acopla eléctricamente a tierra, en su extremo opuesto a través de un anclaje 508 de carga. El conjunto obturador 500 únicamente incluye una viga flexible 510 de accionamiento, ubicada sustancialmente junto a la viga 504 de carga. La viga 510 de accionamiento, en respuesta a ser energizada con un potencial eléctrico procedente de una fuente controlable de tensión mueve el obturador 502 desde una primera posición (en la que la viga 504 de carga no está sustancialmente sujeta a esfuerzo) en un plano sustancialmente paralelo a la superficie, hasta una segunda posición en la que la viga 504 de carga está sujeta a esfuerzo. Cuando se retira el potencial, el esfuerzo almacenado en la viga 504 de carga restaura la viga 504 de carga a su posición original.

Además, en comparación con los conjuntos obturadores 202a y 202b, la viga 504 de carga tiene una anchura que varía a lo largo de su longitud. La viga 504 de carga es más ancha cerca de su anclaje 508 de lo que lo es más cerca del obturador 502. En comparación con los conjuntos obturadores 202a y 202b y debido a su anchura individualizada, la viga 504 de carga tiene, normalmente, una mayor rigidez total. Los conjuntos obturadores que incorporan vigas más rígidas requieren normalmente tensiones más elevadas para un accionamiento, pero a cambio, permiten tasas mayores de conmutación. Por ejemplo, los conjuntos obturadores 202a y 202b pueden ser conmutados hasta aproximadamente 10 kHz, mientras que el conjunto obturador 500 más rígido puede ser conmutado hasta aproximadamente 100 kHz.

La Figura 6 es un diagrama de un conjunto obturador 600 que incorpora dos accionadores 602 de electrodos dobles de vigas flexibles ("accionadores 602"), según una realización ilustrativa de la invención. El conjunto obturador 600 incluye un obturador 604. El obturador 604 puede ser sólido, o puede incluir una o más aberturas, como se describe con respecto a la Figura 2B. El obturador 604 se acopla en un lado a los accionadores 602 de viga. Juntos, los accionadores 602 mueven el obturador de forma transversal sobre una superficie en el plano de movimiento que es sustancialmente paralelo a la superficie.

Cada accionador 602 incluye un miembro flexible 606 de carga que conecta el obturador 604 con un anclaje 608 de carga. Cada uno de los miembros flexibles 606 de carga incluye una viga 610 de carga y una escuadra 612 con forma de L. Los anclajes 608 de carga junto con los miembros flexibles 606 de carga sirven de soportes mecánicos, manteniendo al obturador 604 suspendido próximo a la superficie. Los anclajes 608 de carga conectan físicamente los miembros flexibles 606 de carga y el obturador 604 a la superficie y conectan eléctricamente las vigas 610 de carga de los miembros 606 de carga a tierra. El acoplamiento del obturador 604 desde dos posiciones en un lado del obturador 604 a anclajes 608 de carga en posiciones a ambos lados del conjunto obturador 600 ayuda a reducir el movimiento de torsión del obturador 604 en torno a su eje central 614 durante el movimiento.

Las escuadras 612 con forma de L reducen la rigidez en el plano de la viga 610 de carga. Es decir, las escuadras 612 con forma de L reducen la resistencia de los accionadores 602 al movimiento en un plano paralelo a la superficie (denominado "movimiento 615 en el plano"), al mitigar los esfuerzos axiales en la viga de carga.

Cada accionador 602 también incluye una viga flexible 616 de accionamiento colocada adyacente a cada viga 610 de carga. Las vigas 616 de accionamiento se acoplan en un extremo a un anclaje 618 de viga de accionamiento compartido entre las vigas 616 de accionamiento. El otro extremo de cada viga 616 de accionamiento está libre para moverse. Cada viga 616 de accionamiento está curvada de forma que se encuentre más cercana a la viga 610 de carga cerca del extremo libre de la viga 616 de accionamiento y el extremo anclado de la viga 610 de carga.

En operación, un aparato de visualización que incorpora el conjunto obturador 600 aplica un potencial eléctrico a las vigas 616 de accionamiento a través del anclaje 618 de viga de accionamiento. Como resultado de una diferencia de potencial entre las vigas 616 de accionamiento y la viga 610 de carga, los extremos libres de las vigas 616 de accionamiento son traccionados hacia los extremos anclados de las vigas 610 de carga y los extremos obturadores de las vigas 610 de carga son traccionados hacia los extremos anclados de las vigas 616 de accionamiento. La fuerza electrostática lleva al obturador 604 hacia el anclaje 618 de accionamiento. Los miembros flexibles 606 actúa como resortes, de forma que cuando se eliminan los potenciales eléctricos de las vigas 616 de accionamiento, los miembros flexibles 606 de las vigas de carga empujan al obturador 604 de nuevo hasta su posición inicial, liberando el esfuerzo almacenado en las vigas 610 de carga. Las escuadras 612 con forma de L también sirven de resortes, aplicando una fuerza de recuperación adicional al obturador 604.

En la fabricación de conjuntos obturadores 200 a 800, al igual que para los conjuntos obturadores 1300 a 1800 es preferente proporcionar una forma rectangular para el corte transversal de las vigas de carga (tales como las vigas 610 de carga) y las vigas de accionamiento (tales como las vigas 616 de accionamiento). Al proporcionar un grosor de viga (en la dirección perpendicular a la superficie) que tiene una dimensiones mayores en 1,4 veces o más que la

anchura de la viga (en una dirección paralela a la superficie) se aumentará la rigidez de la viga 610 de carga para un movimiento 617 fuera del plano en contraposición con un movimiento 615 en el plano. Tal diferencia dimensional y, por consecuencia, de rigidez ayuda a garantizar que el movimiento del obturador 604, iniciado por los accionadores 602, está limitado a un movimiento por la superficie y en las aberturas de superficie a diferencia de un movimiento 617 fuera del plano que sería una aplicación ineficiente de energía. Es preferente para ciertas aplicaciones que el corte transversal de las vigas de carga (tales como 610) sea rectangular a diferencia de una forma curvada o elíptica. Se consigue la mayor fuerza de accionamiento si los electrodos de vigas opuestos tienen caras planas, de forma que tras el accionamiento puedan acercarse y tocarse entre sí con la menor distancia posible de separación.

La Figura 7 es un diagrama de un segundo conjunto obturador 700 que incorpora dos accionadores 702 de electrodos dobles de vigas flexibles, según una realización ilustrativa de la invención. El conjunto obturador 700 adopta la misma forma general del conjunto obturador 600, salvo que incluye un resorte 704 de retorno. Como con el conjunto obturador 600, en el conjunto obturador 700, se acoplan dos accionadores 702 a un primer lado de un obturador 706 para trasladar el obturador 706 en un plano paralelo a una superficie sobre la cual está soportado físicamente el obturador. El resorte 704 de retorno se acopla al lado opuesto del obturador 706. El resorte 704 de retorno también se acopla a la superficie en un anclaje 708 de resorte, que actúa como un soporte mecánico adicional. Al soportar físicamente el obturador 706 sobre la superficie en lados opuestos del obturador 706, los accionadores 702 y el resorte 704 de retorno reducen el movimiento del obturador 706 fuera del plano de movimiento previsto durante la operación. Además, el resorte 704 de retorno incorpora varias curvas que reducen la rigidez en el plano del resorte 704 de retorno, promoviendo adicionalmente, de ese modo, el movimiento en el plano con respecto a un movimiento fuera del plano. El resorte 704 de retorno proporciona una fuerza adicional de recuperación al obturador 706, de forma que una vez que se elimina el potencial de accionamiento, el obturador 706 vuelve a su posición inicial más rápidamente. La adición del resorte 704 de retorno solo aumenta ligeramente el potencial necesario para iniciar el accionamiento de los accionadores 702.

La Figura 8 es un diagrama de un conjunto obturador que incluye un par de accionadores 802 y 804 de apertura del obturador y un par de accionadores 806 y 808 de cierre del obturador, según una realización ilustrativa de la invención. Cada uno de los cuatro accionadores 802, 804, 806 y 808 adoptan la forma de un accionador doble de electrodos de vigas flexibles. Cada accionador 802, 804, 806 y 808 incluye un miembro flexible 810 de carga que acopla a un obturador 812 en un extremo, con un anclaje 814 de carga, en el otro extremo. Cada miembro flexible 810 de carga incluye una viga 816 de carga y una escuadra 818 con forma de L. Cada accionador 802, 804, 806 y 808 también incluye una viga 820 de accionamiento con un extremo acoplado a un anclaje 822 de accionamiento. Cada par de accionadores 802/804 y 806/808 comparten un anclaje común 822 de accionamiento. El extremo no anclado de cada viga 820 de accionamiento está colocado próximo al extremo anclado de un miembro flexible correspondiente 810 de carga. El extremo anclado de cada viga 820 de accionamiento está ubicado próximo al extremo de la escuadra con forma de L de una viga correspondiente 816 de carga. En un estado desactivado, la distancia entre una viga 816 de carga y su viga correspondiente 820 de accionamiento aumenta progresivamente desde el extremo anclado de la viga 816 de carga hasta la escuadra 818 con forma de L.

En operación, para abrir el obturador 812, un aparato de visualización que incorpora el conjunto obturador 800 aplica un potencial eléctrico al anclaje 822 de accionamiento de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador, llevando al obturador 812 hacia la posición abierta. Para cerrar el obturador 812, el aparato de visualización aplica un potencial eléctrico al anclaje 822 de accionamiento de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador llevando al obturador 812 hacia la posición cerrada. Si no se activa ningún par de accionadores 802/804 o 806/808, el obturador 812 permanece en una posición intermedia, en algún punto entre completamente abierta y completamente cerrada.

Los accionadores 802/804 de apertura del obturador y los accionadores 806/808 de cierre del obturador se acoplan al obturador 812 en extremos opuestos del obturador. Los accionadores de apertura y de cierre del obturador tienen sus propios miembros 810 de carga, reduciendo, de esta manera, la tensión de accionamiento de cada accionador 802, 804, 806 y 808. Debido a la biestabilidad eléctrica descrita con referencia a la Figura 3, es ventajoso encontrar un procedimiento o estructura de accionamiento con más apalancamiento para separar el miembro flexible 810 de carga de una viga 820 de accionamiento con la que puede hacer contacto. Al colocar los accionadores 802/804 y 806/808 abiertos y cerrados en lados opuestos del obturador 812, se transmite la fuerza de accionamiento del accionador que va a ser accionado al accionador que va a ser separado por medio del obturador. Por lo tanto, se aplica la fuerza de accionamiento a la tarea de separación en un punto cercano al obturador (por ejemplo, cerca del extremo de la escuadra con forma de L de la viga 816 de carga) en el que su apalancamiento será mayor.

Para conjuntos obturadores tales como en la Figura 8 las anchuras típicas de obturador (en la dirección de las ranuras) se encontrarán en el intervalo de 20 a 800 micrómetros. La "distancia de desplazamiento" o distancia que se moverá el obturador entre las posiciones abierta y cerrada se encontrará en el intervalo desde 4 hasta 100 micrómetros. La anchura de las vigas de accionamiento y de las vigas de carga se encontrará en el intervalo desde 0,2 hasta 40 micrómetros. La longitud de las vigas de accionamiento y de las vigas de carga se encontrará en el intervalo desde 10 hasta 600 micrómetros. Se pueden emplear tales conjuntos obturadores para medios de visualización con resoluciones en el intervalo desde 30 hasta 1000 puntos por 2,54 centímetros (puntos por pulgada).

Cada uno de los conjuntos obturadores 200a, 200b, 500, 600, 700 y 800, y el fotomodulador 400 basado en espejos, descritos anteriormente se encuentran en una clase de fotomoduladores denominada en el presente documento "fotomodulador elástico". Los fotomoduladores elásticos tienen un estado de reposo estable mecánicamente. En el estado de reposo, el fotomodulador puede estar activado (abierto o reflectante), desactivado (cerrado o no reflectante), o en algún punto entre ellos (parcialmente abierto o parcialmente reflectante). Si la generación de una tensión a través de las vigas en un accionador obliga al fotomodulador a salir de su estado de reposo y entrar en un estado inestable mecánicamente, se debe mantener algún nivel de tensión a través de las vigas para que el fotomodulador permanezca en ese estado inestable.

La Figura 9 es una vista en corte transversal del conjunto obturador 800 de la Figura 8 a lo largo de la línea marcada A-A'. Con referencia a las Figuras 8 y 9, el conjunto obturador 800 está construido sobre un sustrato 1102 que es compartido con otros conjuntos obturadores de un aparato de visualización, tal como el aparato 100 de visualización, que incorpora el conjunto obturador 800. Las señales de tensión para accionar el conjunto obturador son transmitidas por conductores en capas subyacentes del conjunto obturador. Las señales de tensión están controladas por medio de un conjunto de matrices activas, tal como el conjunto 1000 de matrices activas. El sustrato 1102 puede soportar hasta 4.000.000 de conjuntos obturadores, dispuestos hasta en aproximadamente 2000 filas y hasta aproximadamente 2000 columnas.

Además del obturador 812, de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador, de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador, de los anclajes 814 de carga y de los anclajes 822 de accionamiento, el conjunto obturador 800 incluye un electrodo 1104 de fila, un electrodo 1106 de apertura del obturador, un electrodo 1108 de cierre del obturador, y tres aberturas 1110 de superficie. El conjunto obturador mostrado tiene al menos tres capas funcionales, que pueden ser denominadas la capa conductora de fila, la capa conductora de columna, y la capa obturadora. Preferentemente, el conjunto obturador está fabricado de un sustrato transparente tal como vidrio o plástico. De forma alternativa, el sustrato puede estar fabricado de un material opaco, tal como silicio, siempre que se proporcionen agujeros pasantes en las posiciones de cada una de las aberturas 1110 de superficie para la transmisión de luz. La primera capa metálica encima del sustrato es la capa conductora de fila que está modelada en electrodos conductores 1104 de fila al igual que secciones reflectantes 1105 de superficie. Las secciones reflectante 1105 de superficie vuelven a reflejar la luz que pasa a través del sustrato a través del sustrato 1102 excepto en las aberturas 1110 de superficie. En algunas implementaciones las aberturas de superficie pueden incluir materiales filtrantes de color rojo, verde o azul, o estar cubiertas por los mismos.

El electrodo 1106 de apertura del obturador y el electrodo 1108 de cierre del obturador están formados en una capa conductora 1112 de columna depositada sobre el sustrato 1102, encima de la capa conductora 1104 de fila. La capa conductora 1112 de columna está separada de la capa conductora 1104 de fila por una o más capas intermedias de material dieléctrico o metal. El electrodo 1104 de apertura del obturador y el electrodo 1106 de cierre del obturador del conjunto obturador 800 son compartidos con otros conjuntos obturadores en la misma columna del aparato de visualización. La capa conductora 1112 de columna también sirve para reflejar luz que pasa a través de huecos en el electrodo 1104 de conexión a tierra, distinta de la que pasa a través de las aberturas 1110 de superficie. La capa conductora 1104 de fila y la capa conductora 1112 de columna tienen un grosor de entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 2 micrómetros. En implementaciones alternativas, se puede colocar la capa conductora 1112 de columna por debajo de la capa conductora 1104 de fila. En otra implementación alternativa, tanto la capa conductora de columna como la capa conductora de fila puede estar ubicada por encima de la capa obturadoras.

El obturador 812, los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador, los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador, los anclajes 814 de carga y los anclajes 822 de accionamiento están formados a partir de una tercera capa funcional del conjunto obturador 800, denominada la capa obturadora 1114. Los accionadores 804, 806 y 808 están formados de un metal depositado, tal como, sin limitación, Au, Cr o Ni, o un semiconductor depositado, tal como, sin limitación silicio policristalino, o silicio amorfo, o de silicio de un único cristal si está formado encima de un óxido enmascarado (también conocido como silicio sobre aislante). Las vigas de los accionadores 802, 804, 806 y 808 están modeladas con unas dimensiones de anchura desde aproximadamente 0,2 hasta aproximadamente 20 micrómetros. Normalmente el grosor del obturador se encuentra en el intervalo desde 0,5 micrómetros hasta 10 micrómetros. Para promover el movimiento en el plano de los obturadores (es decir, reducir la rigidez transversal de la viga a diferencia de la rigidez fuera del plano), es preferente mantener una relación dimensional de la viga de aproximadamente al menos 1,4:1, siendo más gruesas las vigas de lo que son anchas.

Vías metálicas o semiconductoras conectan eléctricamente el electrodo 1104 de fila y el electrodo 1106 de apertura del obturador y el electrodo 1108 de cierre del obturador de la capa conductora 1112 de columna con características en la capa obturadora 1114. Específicamente, las vías 1116 acoplan eléctricamente el electrodo 1104 de fila con los anclajes 814 de carga del conjunto obturador 800, manteniendo al miembro flexible 810 de carga de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador y de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador, al igual que el obturador 812, en el potencial del conductor de fila. Vías adicionales acoplan eléctricamente el electrodo 1106 de apertura del obturador con las vigas 820 de accionamiento de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador a través del anclaje 822 de accionamiento compartido por los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador. Otras vías más acoplan eléctricamente el electrodo 1108 de cierre del obturador a las vigas 820 de

accionamiento de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador a través del anclaje 822 de accionamiento compartido por los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador.

La capa obturadora 1114 está separada de la capa conductora 1112 de columna por medio de un lubricante, vacío o aire, proporcionando al obturador 812 una libertad de movimiento. Las piezas móviles en la capa obturadora 1114 están separadas mecánicamente de componentes colindantes (excepto sus puntos 814 de anclaje) en una etapa de liberación, que puede ser un procedimiento químico de decapado o calcinación, que elimina un material sacrificial de entre todas las piezas móviles.

Los diodos, transistores y/o condensadores (no mostrados en aras de la claridad) empleados en el conjunto de matrices activas pueden ser modelados en la estructura existente de las tres capas funcionales, o pueden ser incorporados en capas separadas que están dispuestas bien entre el conjunto obturador y el sustrato o bien encima de la capa obturadora. Las secciones reflectantes 1105 de superficie pueden estar modeladas como extensiones de los electrodos conductores de fila y de columna o pueden ser modelados como secciones autoportantes o flotantes eléctricamente de material reflectante. De forma alternativa, las secciones reflectantes 1105 de superficie junto con sus aberturas asociadas 1110 de superficie pueden estar modeladas en una cuarta capa funcional, dispuesta entre el conjunto obturador y el sustrato, y formada bien de una capa metálica depositada o bien de un espejo dieléctrico. Se pueden añadir conductores de conexión a tierra por separado de los electrodos conductores de fila en la capa 1104. Estos conductores individuales de conexión a tierra pueden ser requeridos cuando se activan las filas por medio de transistores, tal como es el caso con un conjunto de matrices activas. Los conductores de conexión a tierra pueden ser tendidos bien en paralelo con los electrodos de fila (e introducidos conjuntamente en un bus en los circuitos de excitación), o bien se pueden colocar los electrodos de conexión a tierra en capas separadas entre el conjunto obturador y el sustrato.

Además de fotomoduladores elásticos, el aparato de visualización puede incluir fotomoduladores biestables, por ejemplo conjuntos obturadores biestables. Como se ha descrito anteriormente, un obturador en un conjunto obturador elástico tiene una posición estable mecánicamente (la "posición de reposo"), siendo inestables mecánicamente todas las otras posiciones del obturador. Por otra parte, el obturador de un conjunto obturador biestable, tiene dos posiciones estables mecánicamente, por ejemplo, abierta y cerrada. Los conjuntos obturadores biestables mecánicamente tienen la ventaja de que no se requiere tensión para mantener los obturadores ya sea en la posición abierta o la cerrada. Los conjuntos obturadores biestables pueden ser subdivididos adicionalmente en dos clases: conjuntos obturadores en los que cada posición estable es sustancialmente idéntica energéticamente, y conjuntos obturadores en los que una posición estable es preferente energéticamente a la otra posición estable mecánicamente.

La Figura 10 es una vista en planta de una capa obturadora 1300 de un conjunto obturador biestable. La capa obturadora 1300 incluye un obturador 1302 accionado por dos accionadores dobles 1304 y 1306 de electrodos flexibles. El obturador 1302 incluye tres aberturas ranuradas 1308 de obturador. Un accionador doble 1304 de electrodos flexibles sirve de accionador de apertura del obturador. El otro accionador doble 1306 de electrodos flexibles sirve de accionador de cierre del obturador.

Cada accionador doble 1304 y 1306 de electrodos flexibles incluye un miembro flexible 1310 que conecta el obturador 1302, aproximadamente en su eje lineal 1312, con dos anclajes 1314 de carga, ubicados en las esquinas de la capa obturadora 1300. Cada uno de los miembros flexibles 1310 incluye una viga conductora 1316 de carga, que puede tener un aislante dispuesto en parte de su superficie, o en toda ella. Las vigas 1316 de carga sirven de soportes mecánicos, soportando físicamente el obturador 1302 sobre un sustrato sobre el que se construye el conjunto obturador. Cada uno de los accionadores 1304 y 1306 también incluye dos vigas flexibles 1318 de accionamiento que se extienden desde un anclaje compartido 1320 de accionamiento. Cada anclaje 1320 de accionamiento conecta física y eléctricamente las vigas 1318 de accionamiento con el sustrato. Las vigas 1318 de accionamiento de los accionadores 1304 y 1306 se curvan alejándose de sus correspondientes anclajes 1320 de accionamiento hacia los puntos en los anclajes 1314 de carga en los que se acoplan las vigas 1316 de carga a los anclajes 1314 de carga. Estas curvas en las vigas 1318 de accionamiento actúan para reducir la rigidez de las vigas de accionamiento, ayudando, de ese modo, a reducir la tensión de accionamiento.

En general, cada viga 1316 de carga está curvada, por ejemplo, con una forma curvada (o sinusoidal). El grado de curvatura está determinado por la distancia relativa entre los anclajes 1314 de carga y la longitud de la viga 1316 de carga. Las curvaturas de las vigas 1316 de carga proporcionan la biestabilidad para el conjunto obturador 1300. Dado que la viga 1316 de carga es flexible, la viga 1316 de carga puede curvarse bien hacia el anclaje 1320 de accionamiento, o bien alejándose del mismo. La dirección de la curvatura cambia dependiendo de la posición en la que se encuentra el obturador 1302. Según se muestra, el obturador 1302 se encuentra en la posición cerrada. La viga 1316 de carga del accionador 1304 de apertura del obturador se curva alejándose del anclaje 1320 de accionamiento del accionador 1304 de apertura del obturador. La viga 1316 de carga del accionador 1306 de cierre del obturador se curva hacia el anclaje 1320 de accionamiento del accionador 1306 de cierre del obturador.

En operación, para cambiar estados, por ejemplo de cerrado a abierto, un aparato de visualización aplica un potencial a las vigas 1318 de accionamiento del accionador 1304 de apertura del obturador. El aparato de

visualización también puede aplicar un potencial a las vigas 1316 de carga del accionador de apertura del obturador. Cualquier potencial eléctrico entre las vigas de accionamiento y las vigas de carga, con independencia del signo con respecto a un potencial de tierra, generará una fuerza electrostática entre las vigas. La tensión resultante entre las vigas 1318 de accionamiento y las vigas 1316 de carga del accionador 1304 de apertura del obturador tiene como resultado una fuerza electrostática, haciendo que las vigas 1316 y 138 se acerquen entre sí. Si la tensión es suficientemente intensa, se deforma la viga 1316 de carga hasta que se invierte sustancialmente su curvatura, como se muestra en el accionador de cierre del obturador de la Figura 10.

En la Figura 10, la longitud del miembro flexible es más larga que la distancia en línea recta entre el anclaje y el punto de fijación en el obturador. Limitada por los puntos de anclaje, la viga de carga encuentra una forma estable al adaptar una forma curvada, dos de cuyas formas constituyen configuraciones de mínimos locales en la energía potencial. Otras configuraciones de la viga de carga implican deformaciones con energía adicional de deformación.

Para vigas de carga fabricadas de silicio, las anchuras diseñadas típicas son desde aproximadamente $0,2\ \mu\text{m}$ hasta $10\ \mu\text{m}$. Las longitudes diseñadas típicas son desde aproximadamente $20\ \mu\text{m}$ hasta aproximadamente $1000\ \mu\text{m}$. Los grosores diseñados típicos son desde aproximadamente $0,2\ \mu\text{m}$ hasta aproximadamente $10\ \mu\text{m}$. La cantidad en la que se dobla de antemano la viga de carga es normalmente mayor de tres veces la anchura diseñada.

Las vigas de carga de la Figura 10 pueden estar diseñadas de forma que una de las dos posiciones curvadas se encuentre cerca de un mínimo global, es decir, posea el estado relajado o de menor energía, normalmente un estado cercano a energía nula almacenada como una deformación o un esfuerzo en la viga. Tal configuración de diseño puede ser denominada "doblada de antemano", lo que significa, entre otras cosas, que la forma del miembro flexible está modelada en la máscara, de forma que se requiere poca deformación, o ninguna, después de la liberación del conjunto obturador del sustrato. La forma diseñada y curvada del miembro flexible se encuentra cercana a su estado estable o relajado. Tal estado relajado es válido para una de las dos posiciones del obturador, bien la posición abierta o bien la cerrada. Cuando se conmuta el conjunto obturador hasta el otro estado estable (que puede ser denominado un estado metaestable) parte de la energía de deformación tendrá que ser almacenada en la deformación de la viga; por lo tanto, los dos estados tendrán energías potenciales desiguales; y se requerirá menos energía eléctrica para mover la viga desde estados metaestables hasta estables en comparación con el movimiento desde el estado estable hasta el estado metaestable.

Sin embargo, se puede describir otra configuración de diseño para la Figura 10 como un diseño sometido a preesfuerzos. El diseño sometido a preesfuerzos permite dos estados estables con energías potenciales equivalentes. Esto puede conseguirse, por ejemplo, al modelar el miembro flexible de forma que tras la liberación del conjunto obturador se deforme sustancialmente y espontáneamente hasta su forma estable (es decir, el estado inicial está diseñado para ser inestable). Preferentemente, las dos formas estables son similares, de forma que la energía de deformación almacenada en el miembro flexible de cada uno de esos estados estables será similar. El trabajo requerido para mover entre las posiciones abierta y cerrada del obturador para un diseño sometido a preesfuerzos será similar.

Se puede proporcionar la condición sometida a preesfuerzos del conjunto obturador mediante un número de medios. La condición puede ser impuesta posterior a la fabricación, por ejemplo, al embalar mecánicamente el sustrato para inducir una curvatura del sustrato y, por lo tanto, una deformación superficial en el sistema. También se puede imponer una condición sometida a preesfuerzos como un esfuerzo de una película delgada impuesto por las capas superficiales o las vigas de carga, o en torno a las mismas. Estos esfuerzos de la película delgada son el resultado de las particularidades de los procedimientos de deposición. Los parámetros de deposición que pueden impartir un esfuerzo de una película delgada incluyen la composición del material de película delgada, la tasa de deposición y la tasa de bombardeo de iones durante el procedimiento de deposición.

En la Figura 10, la viga de carga está curvada en cada uno de sus estados estables localmente y la viga de carga también está curvada en todos los puntos de deformación entre los estados estables. El miembro flexible puede comprender, sin embargo, cualquier número de secciones rectas o rígidas de la viga de carga, como se describirá en las siguientes figuras. Además, en la Figura 18 se mostrará el diseño de un conjunto obturador biestable en el que ninguna de las dos posiciones estables equivalentes posee, requiere ni acumula ninguna energía de deformación significativa. Se almacena el esfuerzo en el sistema temporalmente según es movido entre los estados estables.

La Figura 11 es una vista en planta de la capa obturadora 1400 de un segundo conjunto obturador biestable. Como se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 6, la reducción de la resistencia al movimiento en el plano tiende a reducir el movimiento fuera del plano del obturador. La capa obturadora 1400 es similar a la de la capa obturadora 1300, salvo en que la capa obturadora 1400 incluye una característica de reducción de la rigidez en el plano, lo que promueve el movimiento en el plano, y un promotor de la deformación que promueve una transición apropiada entre estados. Como con la capa obturadora 1300 de la Figura 10, la capa obturadora 1400 de la Figura 11 incluye vigas 1402 de carga que acoplan los anclajes 1404 de carga a un obturador 1406. Para reducir la rigidez en el plano del conjunto obturador y para proporcionar algo de flexibilidad axial a las vigas 1402 de carga, los

anclajes 1404 de carga se acoplan a las vigas 1402 de carga por medio de resortes 1408. Los resortes 1408 pueden estar formados a partir de pliegues, escuadras con forma de L o porciones curvadas de las vigas 1402 de carga.

Además, las anchuras de las vigas 1402 de carga varían a lo largo de sus longitudes. En particular, las vigas son más estrechas en secciones en las que se encuentran con los anclajes 1404 de carga y el obturador 1406. Los puntos en las vigas 1402 de carga en los que las vigas 1402 de carga se vuelven más anchas sirven de puntos 1410 de pivote para confinar la deformación de las vigas 1402 de carga a las secciones más estrechas 1410.

La Figura 12 es una vista en planta de una capa obturadora 1500 de un conjunto obturador triestable que incorpora accionadores dobles de electrodos flexibles. La capa obturadora 1500 incluye un accionador 1502 de apertura del obturador y un accionador 1504 de cierre del obturador. Cada accionador 1502 y 1504 incluye dos vigas flexibles 1506 de accionamiento acopladas física y eléctricamente a un sustrato de un aparato de visualización por medio de un anclaje 1508 de accionamiento.

El accionador 1502 de apertura del obturador, por sí solo, es un accionador elástico, que tiene un estado estable mecánicamente. A no ser que se limite de otra manera, el accionador 1502 de apertura del obturador, después del accionamiento volverá a su estado de reposo. El accionador 1502 de apertura del obturador incluye dos vigas 1510 de carga acopladas a anclajes 1512 de carga por medio de escuadras 1514 con forma de L en un extremo y al obturador 1516 por medio de escuadras 1518 con forma de L en el otro extremo. En el estado de reposo del accionador 1502 de apertura del obturador, las vigas 1510 de carga son rectas. Las escuadras 1514 y 1518 con forma de L permiten que las vigas 1510 de carga se deformen hacia las vigas 1506 de accionamiento del accionador 1502 de apertura del obturador tras el accionamiento del accionador 1502 de apertura del obturador y que se alejen de las vigas 1506 de accionamiento tras el accionamiento del accionador 1504 de cierre del obturador.

De forma similar, el accionador 1504 de cierre del obturador es inherentemente elástico. El accionador 1504 de cierre del obturador incluye una única viga 1520 de carga acoplada a un anclaje 1522 de carga en un extremo. Cuando no se encuentra sometida a esfuerzo, es decir, en su estado de reposo, la viga 1520 de carga es recta. En el extremo opuesto de la viga 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador la viga 1520 de carga está acoplada a un estabilizador 1524 formado a partir de dos vigas flexibles curvadas 1526 conectadas en sus extremos y en el centro de sus longitudes. Las vigas 1526 del estabilizador 1524 tienen dos posiciones estables mecánicamente: curvada alejándose del accionador 1504 de cierre del obturador (según se muestra) y curvada hacia el accionador 1504 de cierre del obturador.

En operación, si se activa ya sea el accionador 1502 de apertura del obturador o el accionador 1504 de cierre del obturador, se deforma la viga 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador, curvándose hacia el accionador 1504 de apertura del obturador o hacia las vigas 1528 de accionamiento del accionador 1504 de cierre del obturador, respectivamente, según se mueve el obturador 1516 hasta una posición accionada. En cualquier caso, se reduce la longitud de la viga 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador con respecto a la anchura de la capa obturadora 1500 en conjunto, traccionando las vigas 1526 del estabilizador 1524 para que se curven hacia el accionador 1504 de cierre del obturador. Después de que se desactiva el accionador activado, la energía necesaria para deformar las vigas 1526 del estabilizador 1524 de nuevo hasta su posición original es mayor que la energía almacenada en las vigas 1510 y 1520 de carga y de los accionadores 1502 y 1504. Se debe añadir energía adicional al sistema para devolver al obturador 1516 hasta su posición de reposo. Por lo tanto, el obturador 1516 en el conjunto obturador tiene tres posiciones estables mecánicamente, abierta, medio abierta y cerrada.

Las Figuras 13A-C son diagramas de otra implementación de un conjunto obturador biestable 1600, que ilustra el estado del conjunto obturador 1600 durante un cambio en la posición del obturador 1602. El conjunto obturador 1600 incluye un obturador 1602 soportado físicamente por un par de vigas flexibles 1604 de soporte. Las vigas de soporte se acoplan a los anclajes 1603 al igual que al obturador 1602 por medio de juntas giratorias 1605. Se puede comprender que estas juntas consisten en juntas con pasador, pliegues o vigas delgadas de conexión. En ausencia de que se aplique esfuerzo a las vigas 1604 de soporte, las vigas 1604 de soporte son sustancialmente rectos.

La Figura 13A muestra el obturador 1602 en una posición abierta, la Figura 13B muestra el obturador 1602 en medio de una transición hasta la posición cerrada, y la Figura 13C muestra el obturador 1602 en una posición cerrada. El conjunto obturador 1600 depende de un accionador electrostático de tipo peine para un accionamiento. El accionador de tipo peine comprende un electrodo rígido abierto 1608 y un electrodo rígido cerrado 1610. El obturador 1602 también adopta una forma de peine que es complementaria de la forma de los electrodos abierto y cerrado. Los accionadores de tipo peine tales como los mostrados en la Figura 16 tienen capacidad para accionarse a distancias razonablemente largas de traslado, pero a costa de una menor fuerza de accionamiento. Los campos eléctricos primarios entre los electrodos en un accionador de tipo peine están alineados, en general, de forma perpendicular a la dirección de desplazamiento, por lo tanto la fuerza de accionamiento no se encuentra, en general, en las líneas de la mayor presión eléctrica experimentada por las superficies interiores del accionador de tipo peine.

A diferencia de los conjuntos obturadores biestables descritos anteriormente, en vez de depender de una curvatura particular de una o más vigas para proporcionar una estabilidad mecánica, el accionador biestable 1600 depende del estado relajado recto de sus vigas 1604 de soporte para proporcionar una estabilidad mecánica. Por ejemplo, en sus dos posiciones estables mecánicamente, mostradas en las Figuras 13A y 13C, las vigas flexibles 1604 de soporte

son sustancialmente rectas con un ángulo con respecto al eje lineal 1606 del conjunto obturador 1600. Según se muestra en la Figura 13B, en la que el obturador 1602 se encuentra en transición desde una posición estable mecánicamente hasta la otra, las vigas 1604 de soporte se deforman o pandean físicamente para acomodar el movimiento. Por lo tanto, la fuerza necesaria para cambiar la posición del obturador 1602 debe ser suficiente para superar el esfuerzo resultante sobre las vigas flexibles 1604 de soporte. Cualquier diferencia de energía entre los estados abierto y cerrado del conjunto obturador 1600 está representada por una pequeña cantidad de energía elástica en las juntas giratorias 1605.

El obturador 1602 está acoplado en dos posiciones a ambos lados del conjunto obturador 1600 a través de vigas 1604 de soporte a anclajes 1603 en posiciones a ambos lados del conjunto obturador 1600, reduciendo, de ese modo, cualquier movimiento de torsión o de rotación del obturador 1602 en torno a su eje central. El uso de vigas flexibles 1604 de soporte conectadas a anclajes separados en lados opuestos del obturador 1602 también limita el movimiento del obturador a lo largo de un eje lineal de traslado. En otra implementación, se puede acoplar un par de vigas flexibles sustancialmente paralelas 1604 de soporte en cada lado del obturador 1602. Cada una de las cuatro vigas de soporte se acopla en puntos independientes y opuestos en el obturador 1602. Este enfoque de paralelogramo para soportar el obturador 1602 ayuda a garantizar que sea posible el movimiento lineal de traslado del obturador.

La Figura 14A muestra un conjunto obturador biestable 1700, en el que las vigas 1702 incorporadas en el conjunto obturador 1700 son sustancialmente rígidas en vez de flexibles, en ambas posiciones estables 14A-1 y 14A-3 del conjunto obturador, al igual que en una posición 14A-2 de transición. El conjunto obturador 1700 incluye un obturador 1704 accionado por un par de accionadores dobles 1706 de electrodos de vigas flexibles. Dos miembros flexibles 1710 soportan el obturador 1704 sobre una superficie 1712. Los miembros flexibles 1710 se acoplan en lados opuestos del obturador 1704. Los otros extremos de los miembros flexibles 1710 se acoplan a anclajes 1714, conectando los miembros flexibles 1710 a la superficie 1712. Cada miembro flexible 1710 incluye dos vigas sustancialmente rígidas 1716 acopladas a un pliegue u otro elemento flexible 1718, tal como un resorte o brazo en voladizo. Aunque las vigas 1716 en los miembros flexibles son rígidas, la incorporación del elemento flexible 1718 permite que todo el miembro flexible 1710 cambie su forma de manera flexible para adoptar dos formas estables mecánicamente. Se permite que se relaje el elemento flexible hasta su estado de reposo en cualquiera de las posiciones cerrada o abierta del conjunto obturador (véanse 14A-1 y 14A-3), de forma que ambos estados finales posean energías potenciales sustancialmente idénticas. No se requiere una flexión de vigas ni un sometimiento de flexión permanente de vigas para establecer la estabilidad de los dos estados finales, aunque se almacena la energía de deformación en el elemento flexible 1718 durante la transición entre estados (véase 14A-2).

La forma del elemento flexible 1718 es tal que se permite un traslado relativamente sencillo en el plano del obturador 1704 mientras que se limita el movimiento fuera del plano del obturador.

El accionamiento del conjunto obturador biestable 1700 se lleva a cabo por medio de un par de accionadores dobles elásticos 1706 de electrodos de vigas flexibles, similares a los accionadores empleados en la Figura 12. En el conjunto obturador 1700 los accionadores 1706 están separados físicamente y son distintos de los miembros flexibles 1710. Los miembros flexibles 1710 proporcionan un soporte relativamente rígido para el obturador 1704 mientras que proporcionan la biestabilidad requerida para sostener los estados abierto y cerrado. Los accionadores 1706 proporcionan la fuerza de accionamiento necesaria para conmutar el obturador entre los estados abierto y cerrado.

Cada accionador 1706 comprende un miembro flexible 1720 de carga. Un extremo del miembro flexible 1720 de carga está acoplado al obturador 1704, mientras que el otro extremo está libre. En el conjunto obturador 1700 los miembros flexibles de carga en los accionadores 1706a no están acoplados a anclajes ni están conectados de otra manera a la superficie 1712. Las vigas 1722 de accionamiento de los accionadores 1706 están acopladas a anclajes 1724 y, de ese modo, están conectadas a la superficie 1712. De esta forma se reduce la tensión de accionamiento.

La Figura 14B es un diagrama de un conjunto obturador biestable 1700b en el que el obturador 1702b está diseñado para girar tras ser accionado. El obturador 1702b está soportado en cuatro puntos a lo largo de su periferia por medio de 4 vigas flexibles 1704b de soporte que están acopladas a cuatro anclajes 1706b. Como en la Figura 13, las vigas flexibles 1704b de soporte son sustancialmente rectas en su estado de reposo. Tras la rotación del obturador 1702b los miembros flexibles se deformarán según se reduce la distancia entre los anclajes y la periferia del obturador. Existen dos estados estables de baja energía en los que las vigas flexibles 1704b de soporte son sustancialmente rectas. El mecanismo obturador en 1700b tiene la ventaja de que no existe ningún centro de movimiento de masas en el obturador 1702b.

El obturador 1702b en el conjunto obturador 1700b tiene una pluralidad de aperturas 1708b de obturador, cada una tiene una forma segmentada diseñada para hacer uso máximo del movimiento giratorio del obturador. La Figura 15 es un diagrama de un conjunto obturador biestable 1800 que incorpora accionadores termoelectricos 1802 y 1804. El conjunto obturador 1800 incluye un obturador 1806 con un conjunto de aperturas ranuradas 1808 de obturador. Los accionadores termoelectricos 1802 y 1804 se acoplan a ambos lados del obturador 1806 para mover el obturador 1806 de forma transversal en un plano sustancialmente paralelo a una superficie 1808 sobre la que está

soportado el obturador 1806. El acoplamiento del obturador 1806 desde dos posiciones a ambos lados del obturador 1806 hasta los anclajes 1807 de carga en posiciones a ambos lados del conjunto obturador 1800 ayuda a reducir cualquier movimiento de torsión o de rotación del obturador 1806 en torno a su eje central.

- 5 Cada accionador termoelectrónico 1802 y 1804 incluye tres vigas flexibles 1810, 1812 y 1814. Cada una de las vigas flexibles 1810 y 1812 es más delgada que la viga flexible 1814. Cada una de las vigas 1810, 1812 y 1814 está curvada con una forma similar a una S, manteniendo de forma estable al obturador 1806 en su posición.

- 10 En operación, para cambiar la posición del obturador de abierta (según se muestra) a cerrada, se pasa corriente a través de un circuito que incluye las vigas 1810 y 1814. Las vigas 1810 más delgadas en cada accionador 1802 y 1804 se calientan y, por lo tanto, también se expanden más rápido que la viga 1814 más gruesa. La expansión obliga a las vigas 1810, 1812 y 1814 a cambiar su curvatura estable mecánicamente, lo que tiene como resultado un movimiento transversal del obturador 1806 hasta la posición cerrada. Para abrir el obturador 1806, se hace pasar corriente a través de un circuito que incluye vigas 1812 y 1814, lo que tiene como resultado un calentamiento desproporcionado y una expansión similares de las vigas 1812, lo que tiene como resultado que el obturador 1806 se vea obligado a volver a la posición abierta.

- 15 La Figura 16 es una vista en corte transversal de un aparato 2100 de visualización que incorpora conjuntos obturadores 2102 basados en accionadores dobles de electrodos flexibles. Los conjuntos obturadores 2102 están dispuestos sobre un sustrato 2104 de vidrio. Una película reflectante 2106 dispuesta sobre el sustrato 2104 define una pluralidad de aberturas 2108 de superficie ubicadas por debajo de las posiciones cerradas de los obturadores 2110 de los conjuntos obturadores 2102. La película reflectante 2106 refleja la luz que no vuelve a pasar a través de las aberturas 2108 de superficie hacia la parte trasera del aparato 2100 de visualización. Un difusor opcional 2112 y una película opcional 2114 mejoradora del brillo pueden separar el sustrato 2104 de un proyector 2116 de fondo. Se ilumina el proyector 2116 de fondo por medio de una o más fuentes 2118 de luz. Las fuentes 2118 de luz pueden ser, por ejemplo, y sin limitación, lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, láseres o diodos emisores de luz. Hay dispuesta una película reflectante 2120 por detrás del proyector 2116 de fondo, reflejando la luz hacia los conjuntos obturadores 2102. Los rayos de luz procedentes del proyector de fondo que no pasan a través de uno de los conjuntos obturadores 2102 serán devueltos al proyector de fondo y serán reflejados de nuevo desde la película 2120. De esta forma la luz que no abandona el medio de visualización para formar una imagen en la primera pasada puede ser reciclada y estar disponible para una transmisión a través de otras aberturas abiertas en la matriz de los conjuntos obturadores 2102. Se ha mostrado que tal reciclaje de luz aumenta la eficacia de iluminación del medio de visualización. Una placa 2122 de cierre forma la parte frontal del aparato 2100 de visualización. La cara trasera de la placa 2122 de cierre puede ser cubierta con una matriz negra 2124 para aumentar el contraste. La placa 2122 de cierre está soportada a una distancia predeterminada apartada de los conjuntos obturadores 2102 formando una separación 2126. La separación 2126 es mantenida por medio de soportes mecánicos y/o por medio de una junta 2128 de epoxi, fijando la placa 2122 de cierre al sustrato 2104. Preferentemente, el epoxi 2128 debería tener una temperatura de curado inferior a aproximadamente 200 °C, debería tener un coeficiente de expansión térmica preferentemente inferior a aproximadamente 50 ppm por grado C y debería ser resistente a la humedad. Un epoxi ejemplar 2128 es EPO-TEK B9Q21-1, comercializado por Epoxy Technology, Inc.

- 40 La junta 2128 de epoxi cierra herméticamente un fluido operante 2130. El fluido operante 2130 está diseñado con viscosidades preferentemente inferiores a aproximadamente 10 centipoise y con una constante dieléctrica relativa preferentemente superior a aproximadamente 2,0, y rigideces dieléctricas superiores a aproximadamente 10^4 V/cm. El fluido operante 2130 también puede servir de lubricante. Sus propiedades mecánicas y eléctricas también son eficaces en la reducción de la tensión necesaria para mover el obturador entre las posiciones abierta y cerrada. En una implementación, el fluido operante 2130 tiene, preferentemente un índice reducido de refracción, preferentemente inferior a aproximadamente 1,5. En otra implementación el fluido operante 2130 tiene un índice de refracción que se corresponde con el del sustrato 2104. Los fluidos operantes adecuados 2130 incluyen, sin limitación, agua desionizada, metanol, etanol, aceites de silicona, aceites de silicona fluorados, dimetilsiloxano, polidimetilsiloxano, hexametildisiloxano y dietilbenceno.

- 50 Una escuadra 2132 de montaje de chapa metálica o de plástico moldeado mantiene unidos la placa 2122 de cierre, los conjuntos obturadores 2102, el sustrato 2104, el proyector 2116 de fondo y las otras piezas componentes en torno a los bordes. La escuadra 2132 de montaje está fijada con tornillos o pestañas hendidas para añadir rigidez al aparato combinado 2100 de visualización. En algunas implementaciones, la fuente 2118 de luz está moldeada en su lugar por un compuesto de impregnación de epoxi.

La Figura 22 es una vista en corte transversal de un conjunto 2200 de visualización que incorpora conjuntos obturadores 2202. Los conjuntos obturadores 2202 están dispuestos sobre un sustrato 2204 de vidrio.

- 55 El conjunto 2200 de visualización incluye un proyector 2216 de fondo, que es iluminado por una o más fuentes 2218 de luz. Las fuentes 2218 de luz pueden ser, por ejemplo, y sin limitación, lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, láseres o diodos emisores de luz. Hay dispuesta una película reflectante 2220 por detrás del proyector 2216 de fondo, reflejando la luz hacia los conjuntos obturadores 2202.

El sustrato 2204 está orientado de forma que los conjuntos obturadores 2202 están orientados hacia el proyector 2216 de fondo.

Hay un difusor opcional 2212 y una película opcional 2214 aumentando el brillo interpuestos entre el proyector 2216 de fondo y los conjuntos obturadores 2202. También hay una placa 2222 de apertura interpuesta entre el proyector 2216 de fondo y los conjuntos obturadores 2202. Hay dispuesta una película reflectante 2224 sobre la placa 2222 de apertura, y orientada hacia los conjuntos obturadores. La película reflectante 2224 define una pluralidad de aberturas 2208 de superficie ubicadas por debajo de las posiciones cerradas de los obturadores 2210 de los conjuntos obturadores 2202. La placa 2222 de apertura está soportada a una distancia predeterminada con respecto a los conjuntos obturadores 2202 formando una separación 2226. Se mantiene la separación 2226 por medio de soportes mecánicos y/o por medio de una junta 2228 de epoxi que fijan la placa 2222 de apertura al sustrato 2204.

La película reflectante 2224 refleja la luz que no vuelve a pasar a través de las aberturas 2208 de superficie hacia la parte trasera del conjunto 2200 de visualización. Los rayos de luz procedentes del proyector de fondo que no pasan a través de uno de los conjuntos obturadores 2202 serán devueltos al proyector de fondo y serán reflejados de nuevo desde la película 2220. De esta forma la luz que no abandona el medio de visualización para formar una imagen en la primera pasada puede ser reciclada y estar disponible para una transmisión a través de otras aberturas abiertas en la matriz de conjuntos obturadores 2202. Se ha mostrado que tal reciclaje de luz aumenta la eficacia de la iluminación del medio de visualización.

El sustrato 2204 forma la parte frontal del conjunto 2200 de visualización. Una película absorbente 2206, dispuesta sobre el sustrato 2204, define una pluralidad de aberturas 2230 de superficie ubicadas entre los conjuntos obturadores 2202 y el sustrato 2204. La película 2206 está diseñada para absorber luz ambiente y, por lo tanto, aumentar el contraste del medio de visualización.

El epoxi 2228 debería tener una temperatura de curado preferentemente por debajo de aproximadamente 200 C, debería tener un coeficiente de expansión térmica preferentemente inferior a aproximadamente 50 ppm por grado C y debería ser resistente a la humedad. Un epoxi ejemplar 2228 es EPO-TEK B9022-1, comercializado por Epoxy Technology, Inc.

La junta 2228 de epoxi cierra herméticamente un fluido operante 2232. El fluido operante 2232 está diseñado con viscosidades, preferentemente, inferiores a aproximadamente 10 centipoise y con una constante dieléctrica relativa, preferentemente, superior a aproximadamente 2,0 y rigideces dieléctricas superiores a aproximadamente 10^4 V/cm. El fluido operante 2232 también puede servir de lubricante. Sus propiedades mecánicas y eléctricas también son eficaces para la reducción de la tensión necesaria para mover el obturador entre las posiciones abierta y cerrada. En una implementación, el fluido operante 2232 tiene, preferentemente, un índice reducido de refracción, preferentemente inferior a aproximadamente 1,5. En otra implementación el fluido operante 2232 tiene un índice de refracción que se corresponde con el del sustrato 2204. Los fluidos operantes adecuados 2232 incluyen, sin limitación, agua desionizada, metanol, etanol, aceites de silicona, aceites de silicona fluorados, dimetilsiloxano, polidimetilsiloxano, hexametildisiloxano y dietilbenceno.

Una escuadra 2234 de montaje de chapa metálica o de plástico moldeado mantiene unidos la placa 2222 de apertura, los conjuntos obturadores 2202, el sustrato 2204, el proyector 2216 de fondo y las otras piezas componentes en torno a los bordes. La escuadra 2234 de montaje está fijada con tornillos o pestañas hendidas para añadir rigidez al conjunto combinado 2200 de visualización. En algunas implementaciones, la fuente 2218 de luz está moldeada en su lugar con un compuesto de impregnación de epoxi.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo microelectromecánico que comprende:
un primer componente que incluye una superficie plana; y
una viga (610, 616) que incluye al menos una capa de silicio amorfo suspendida sobre la superficie plana del primer componente, siendo el grosor de la viga en una dirección perpendicular a la superficie plana al menos 1,4 veces el grosor de al menos un grosor de la viga en una dirección paralela a la superficie plana, estando dispuesta la viga para moverse en un plano de movimiento paralelo a la superficie plana.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la viga (610, 616) comprende al menos una capa adicional compuesta por un material distinto del silicio amorfo.
3. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende, además, un segundo componente (604) que es amovible con respecto al primer componente, en el que el segundo componente está suspendido sobre el primer componente, al menos en parte, por la viga (610).
4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el dispositivo es parte de un conjunto (600) de visualización.
5. El dispositivo de la reivindicación 3, en el que el segundo componente es un obturador mecánico (604).
6. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende un accionador (602) que incluye la viga (610, 616).
7. El dispositivo de la reivindicación 8, en el que la viga (610) es parte de un mecanismo obturador.
8. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la capa de silicio amorfo es conductora.
9. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la capa de silicio amorfo es no conductora.
10. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que la al menos una capa adicional comprende un material elástico.
11. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que la al menos una capa adicional comprende un material conductor.
12. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que la al menos una capa adicional comprende un material opaco.
13. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que la al menos una capa adicional comprende un material dieléctrico.
14. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que la al menos una capa adicional es un material antifricción estática.
15. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el grosor de la viga en la dirección paralela a la superficie plana está entre 0,2 micrómetros y 10 micrómetros.

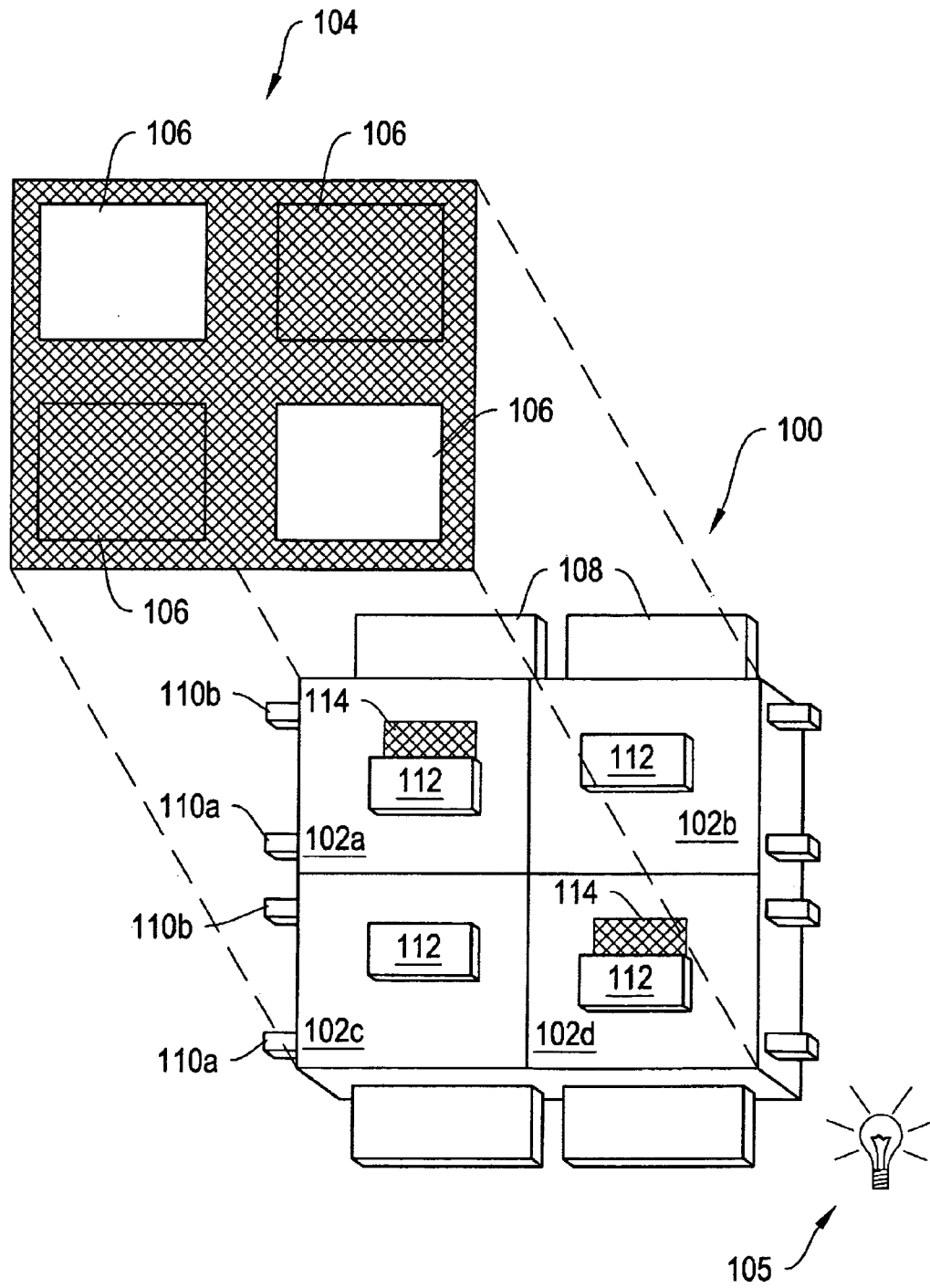


Figura 1

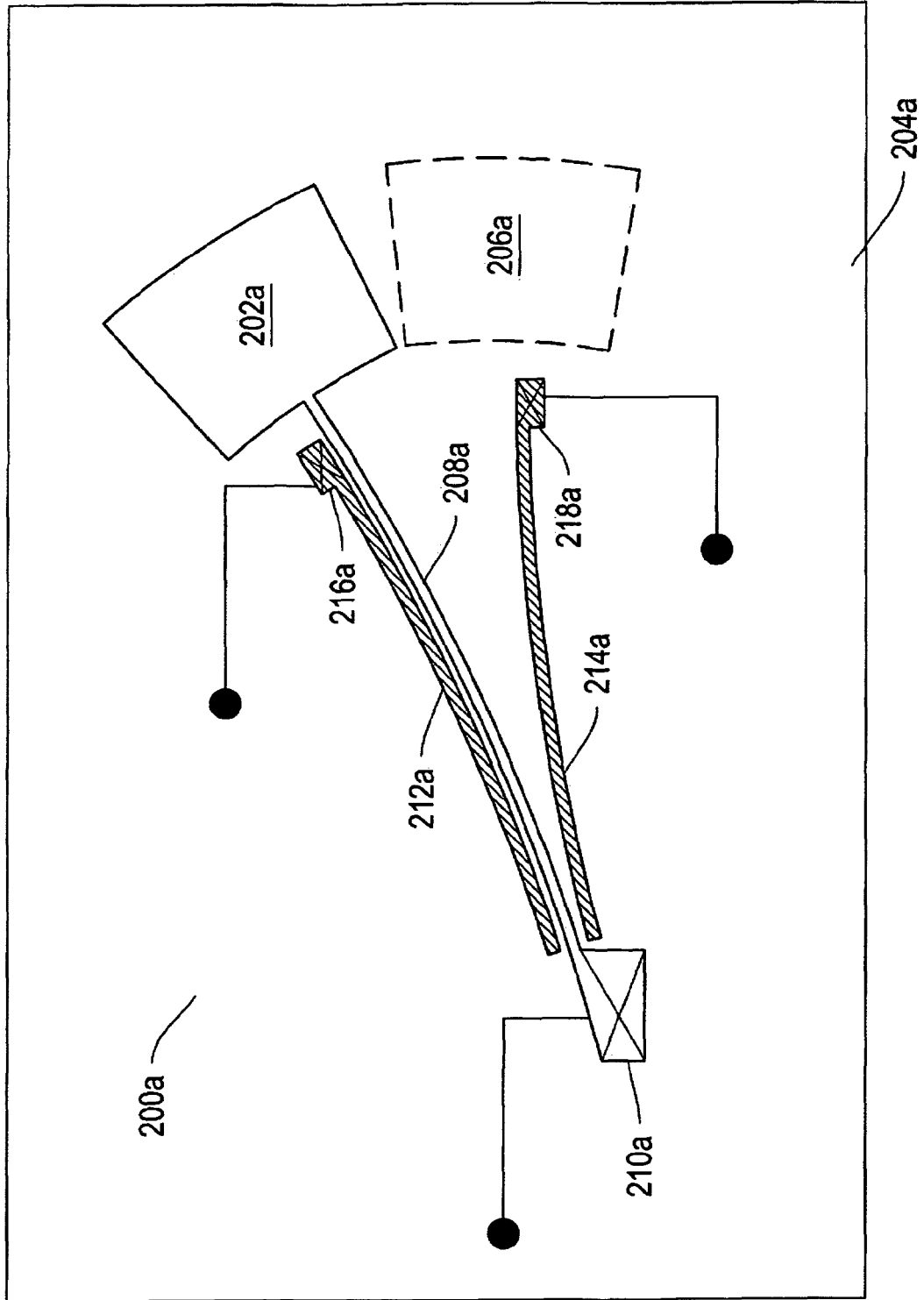


Figura 2A

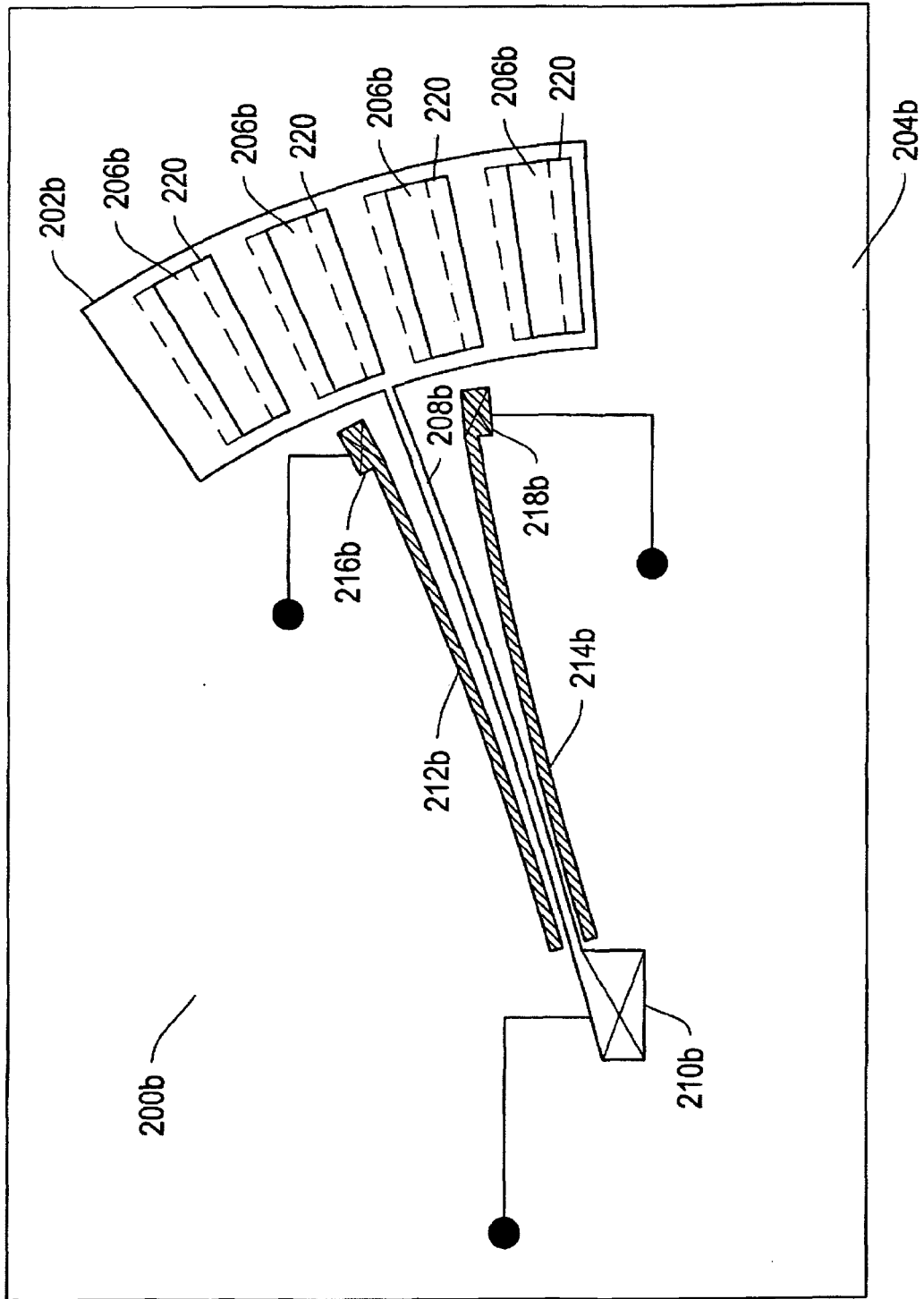


Figura 2B

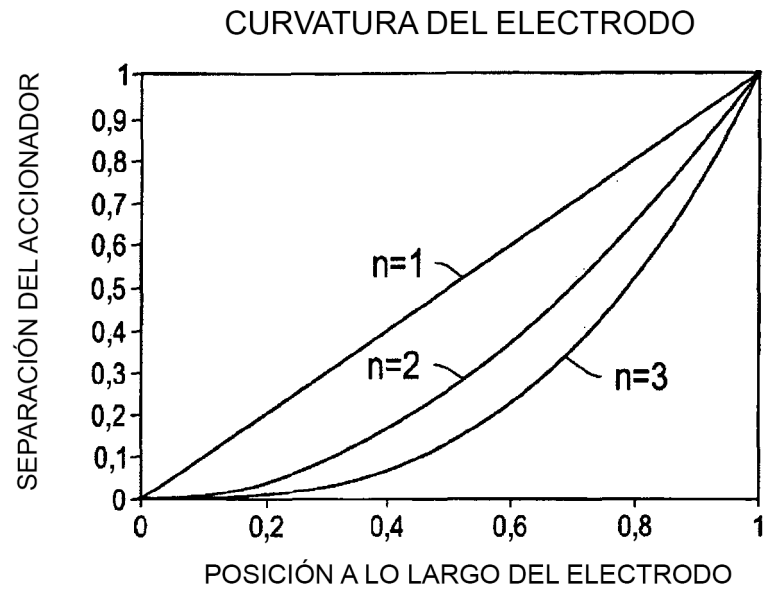


Figura 3A

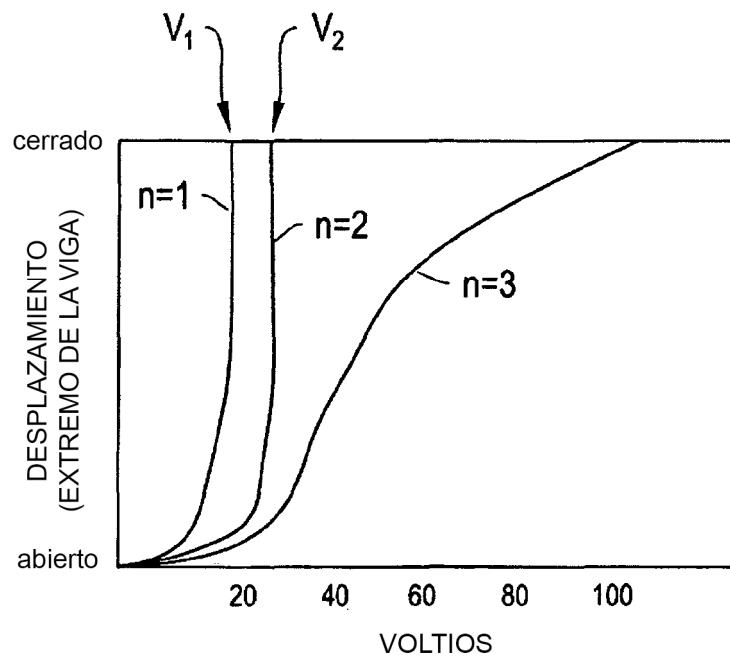
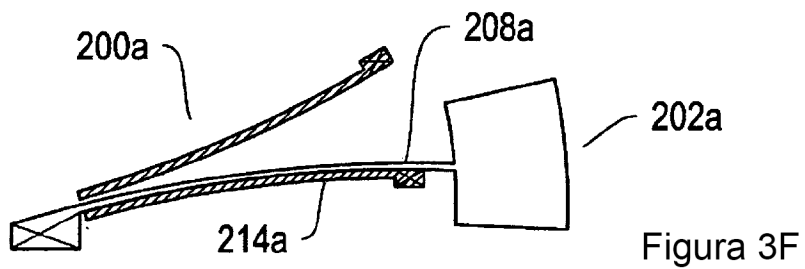
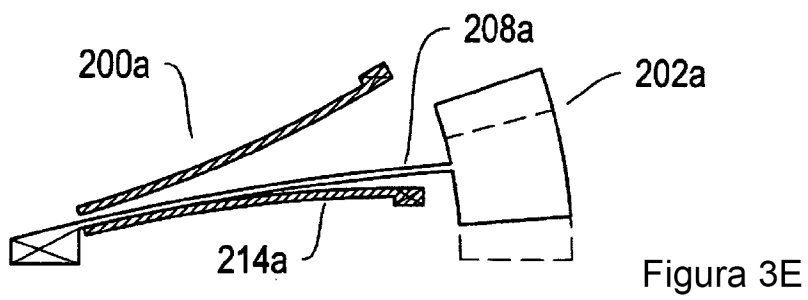
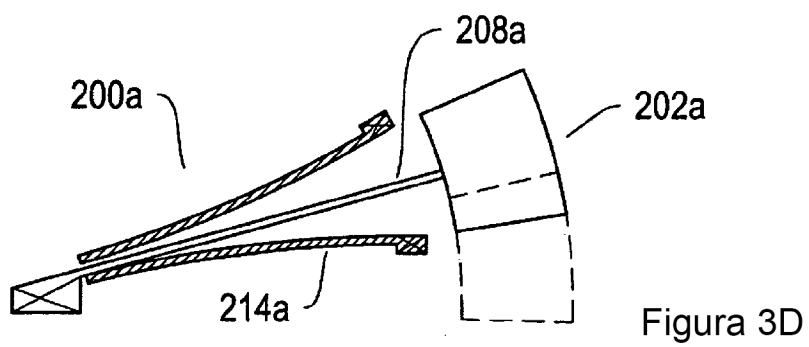
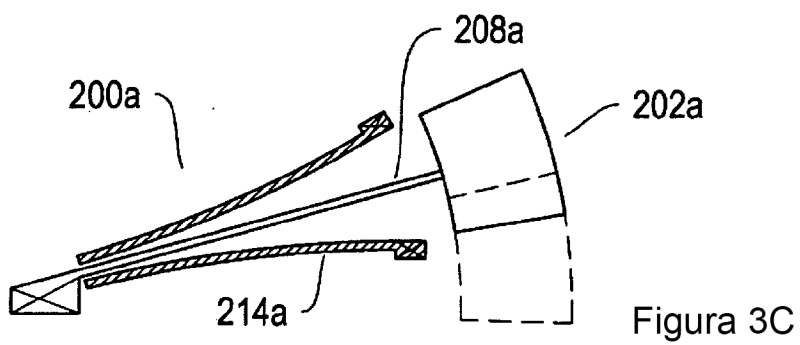
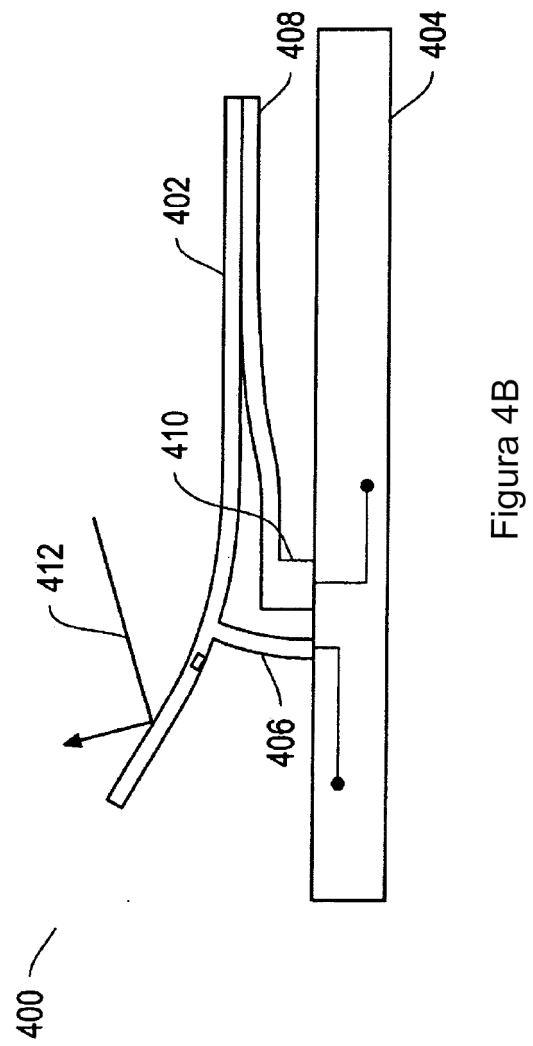
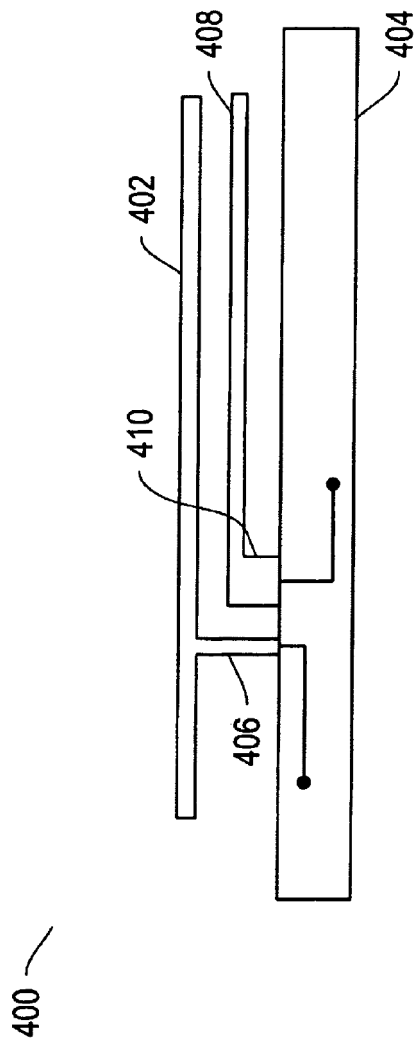


Figura 3B





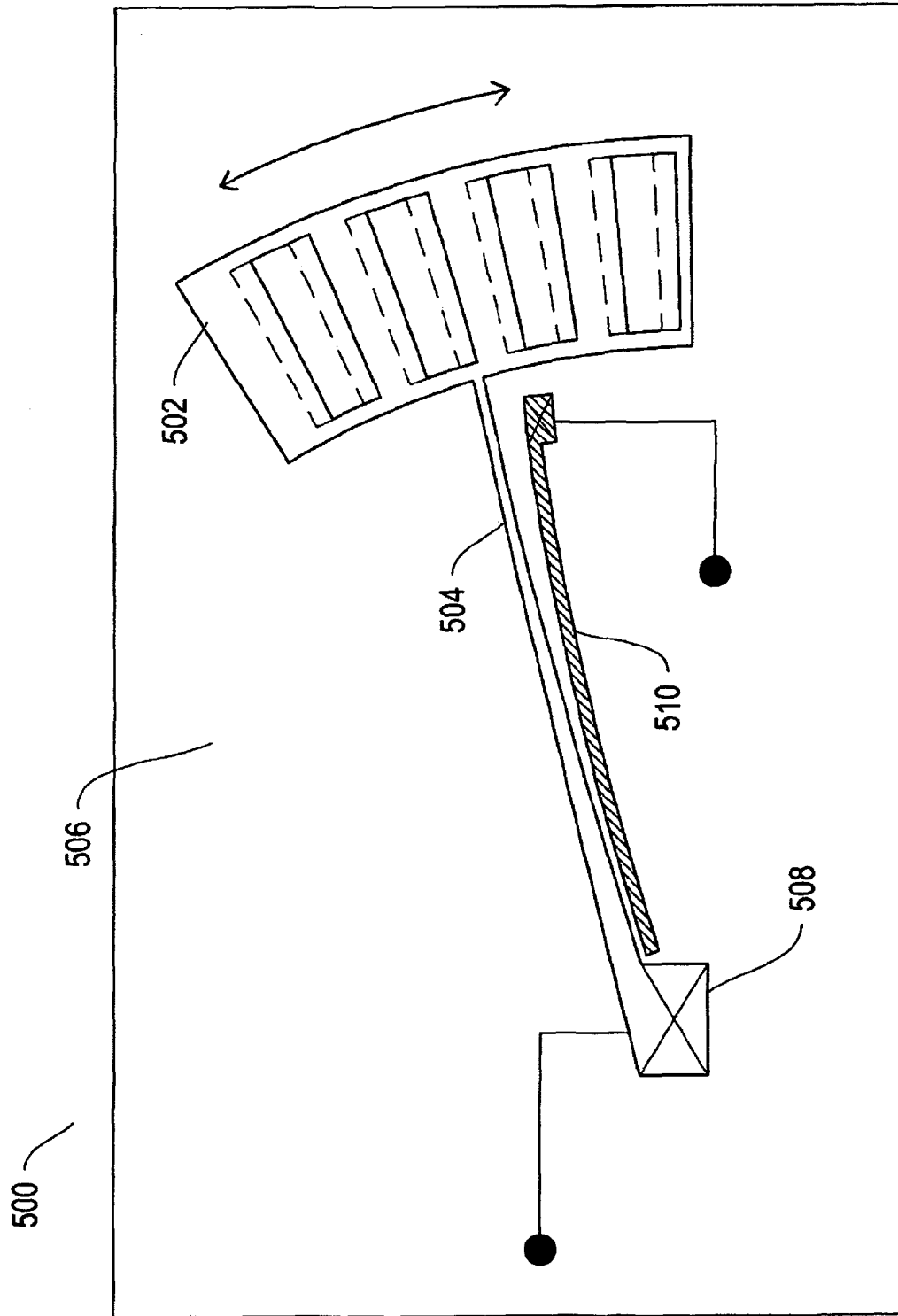


Figura 5

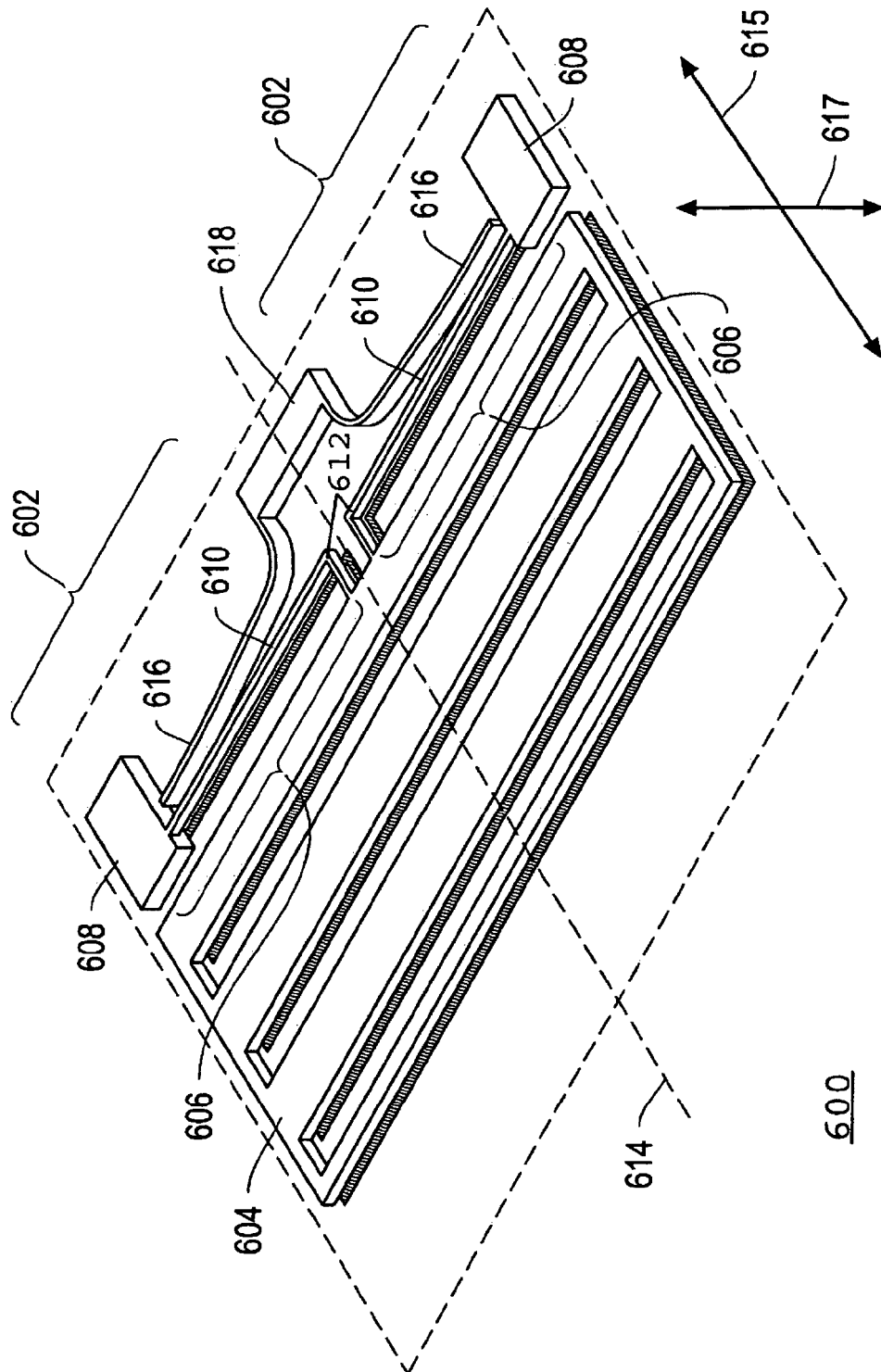


Figura 6

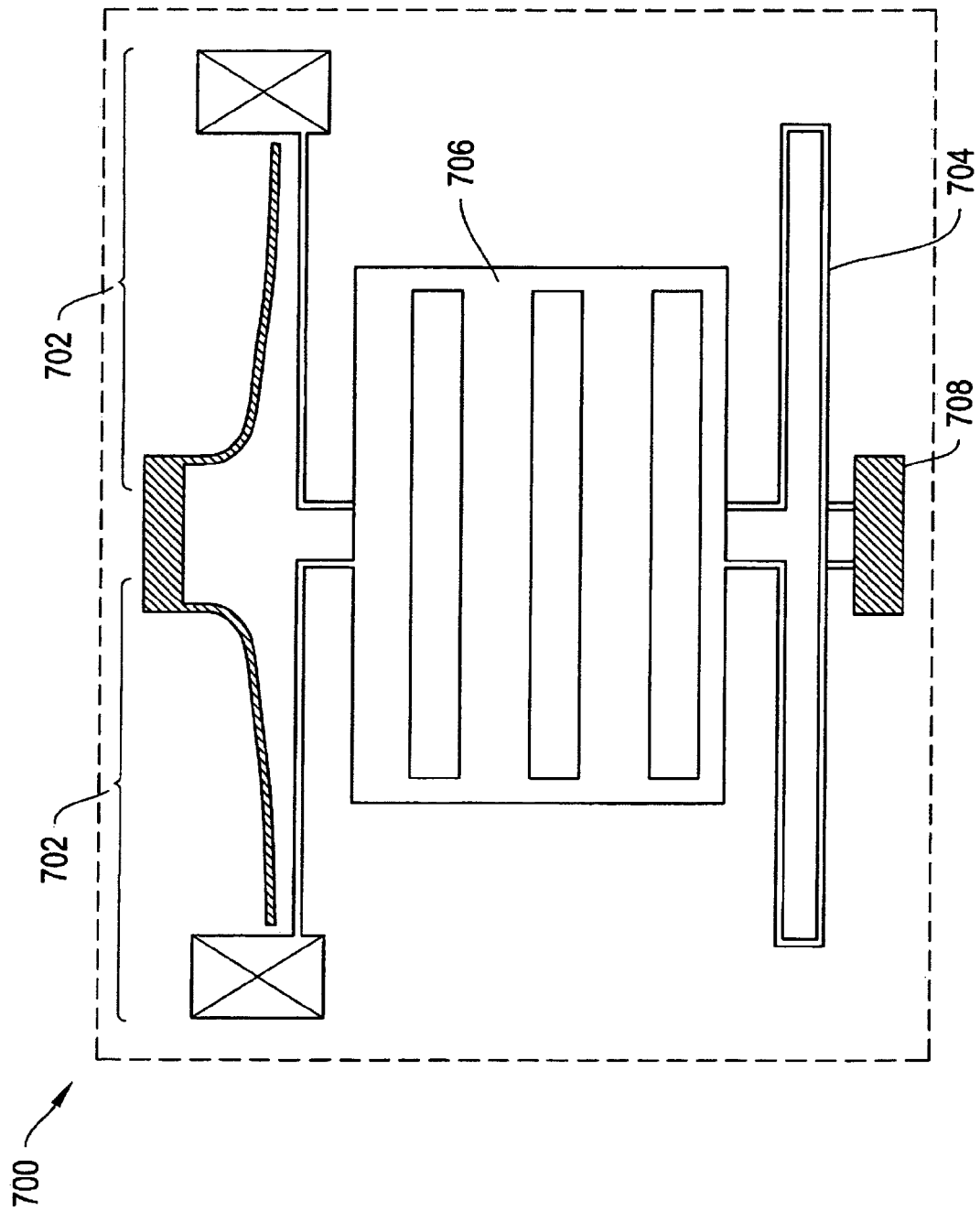


Figura 7

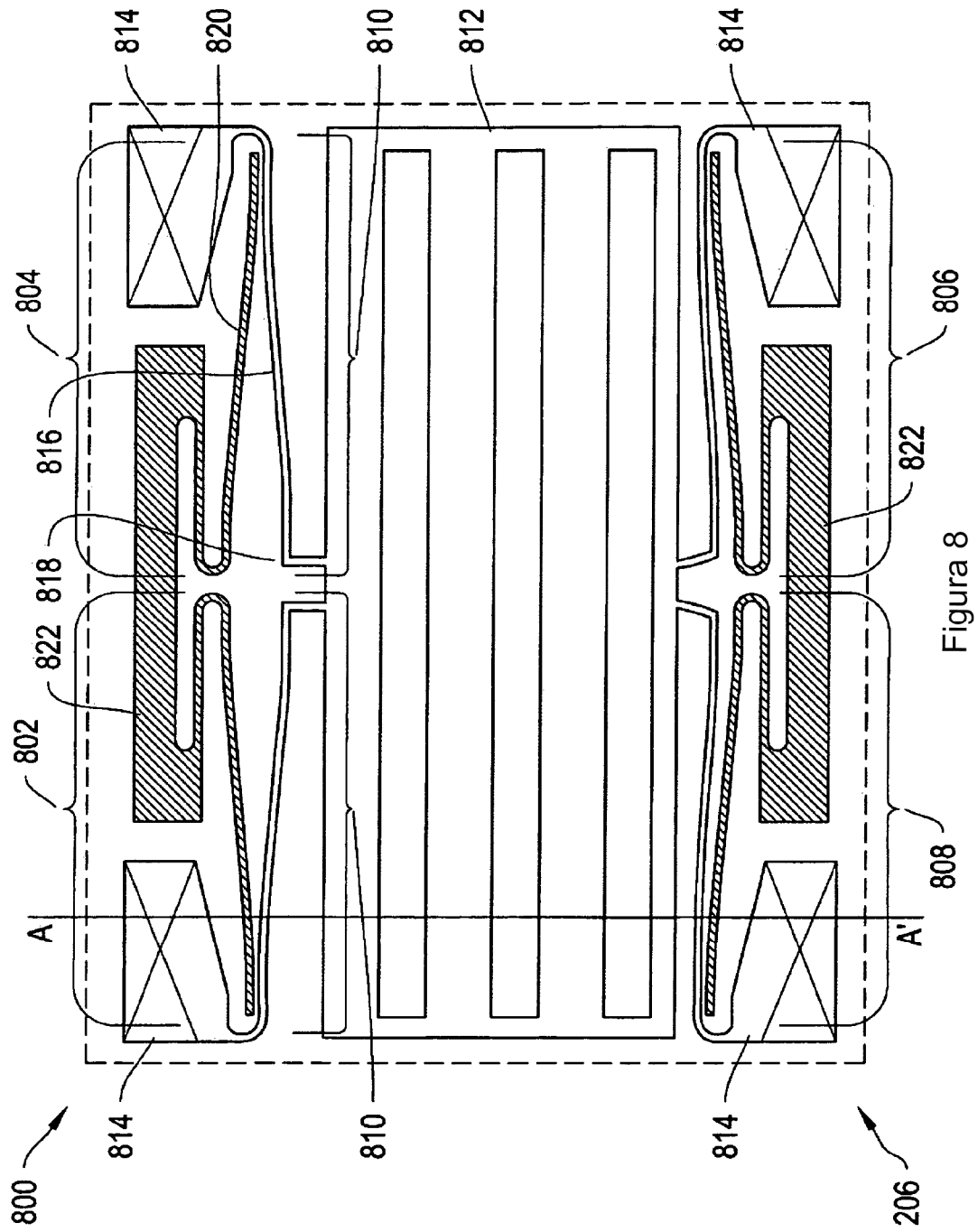


Figura 8

sdfsaal1

6/

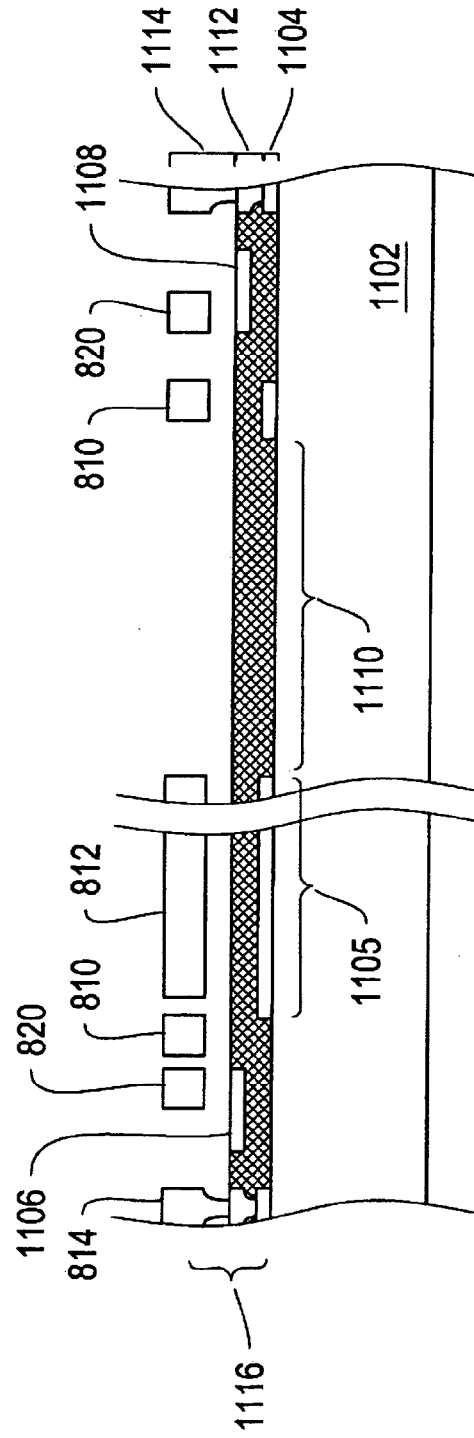


FIGURA 9

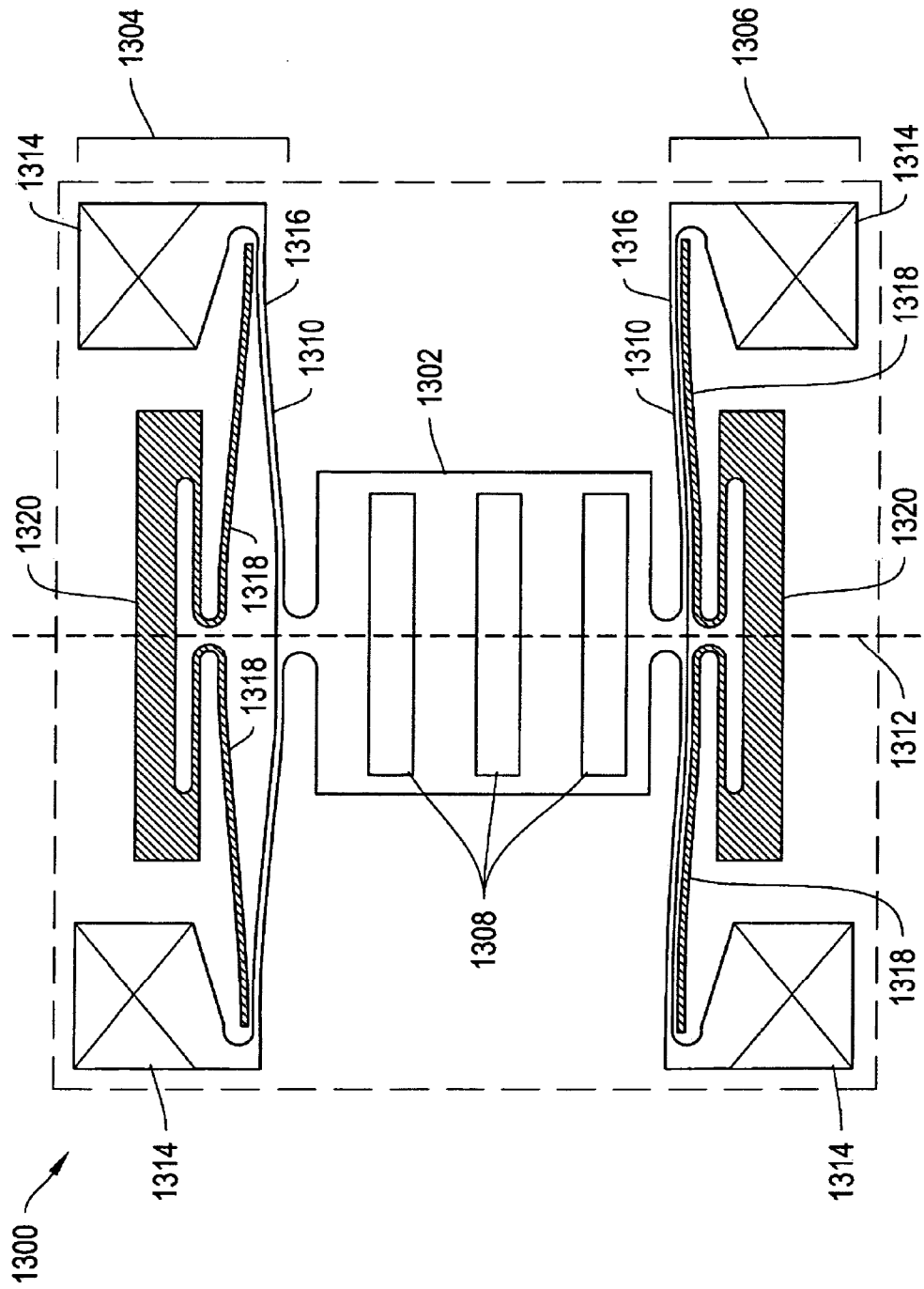


Figure 10

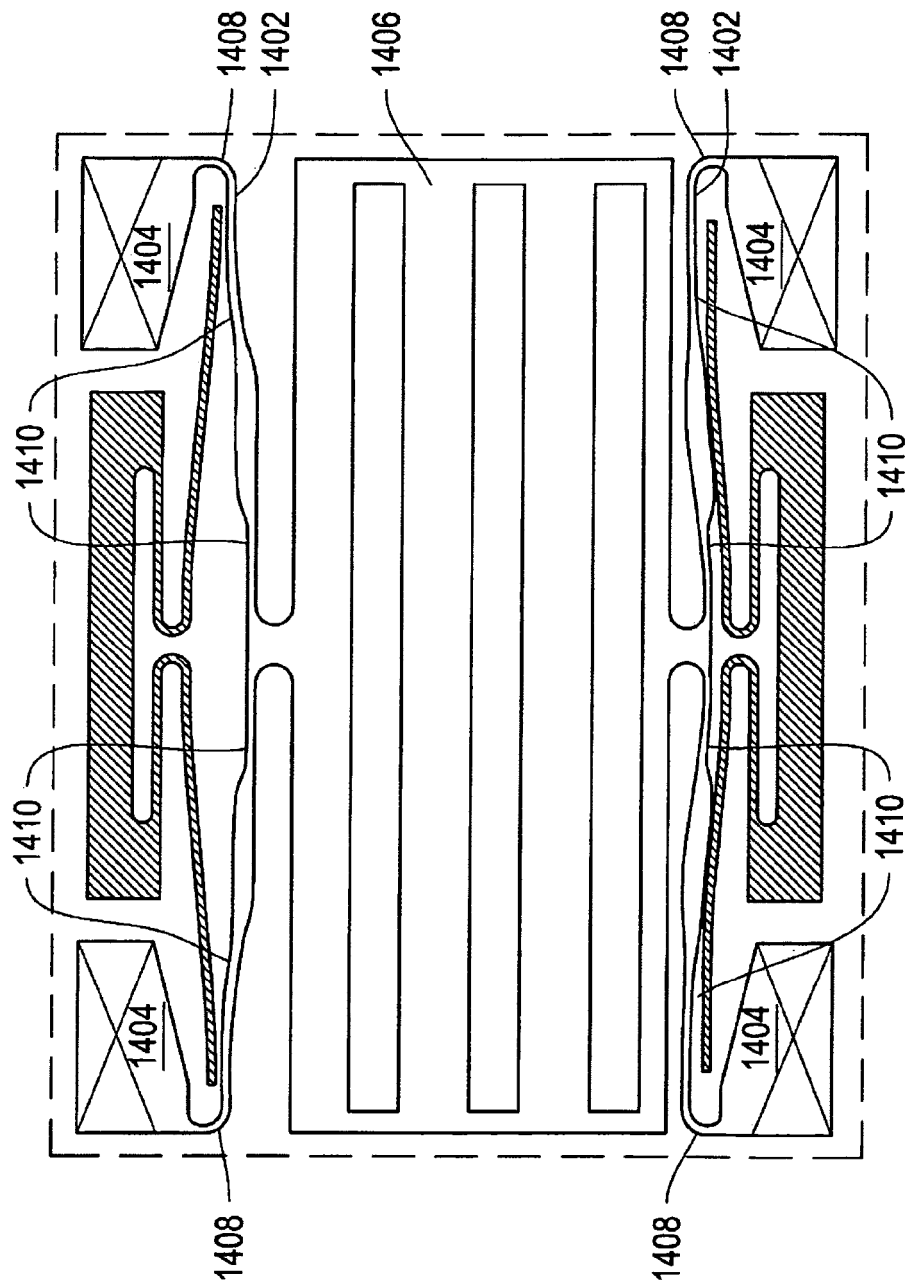


Figure 11

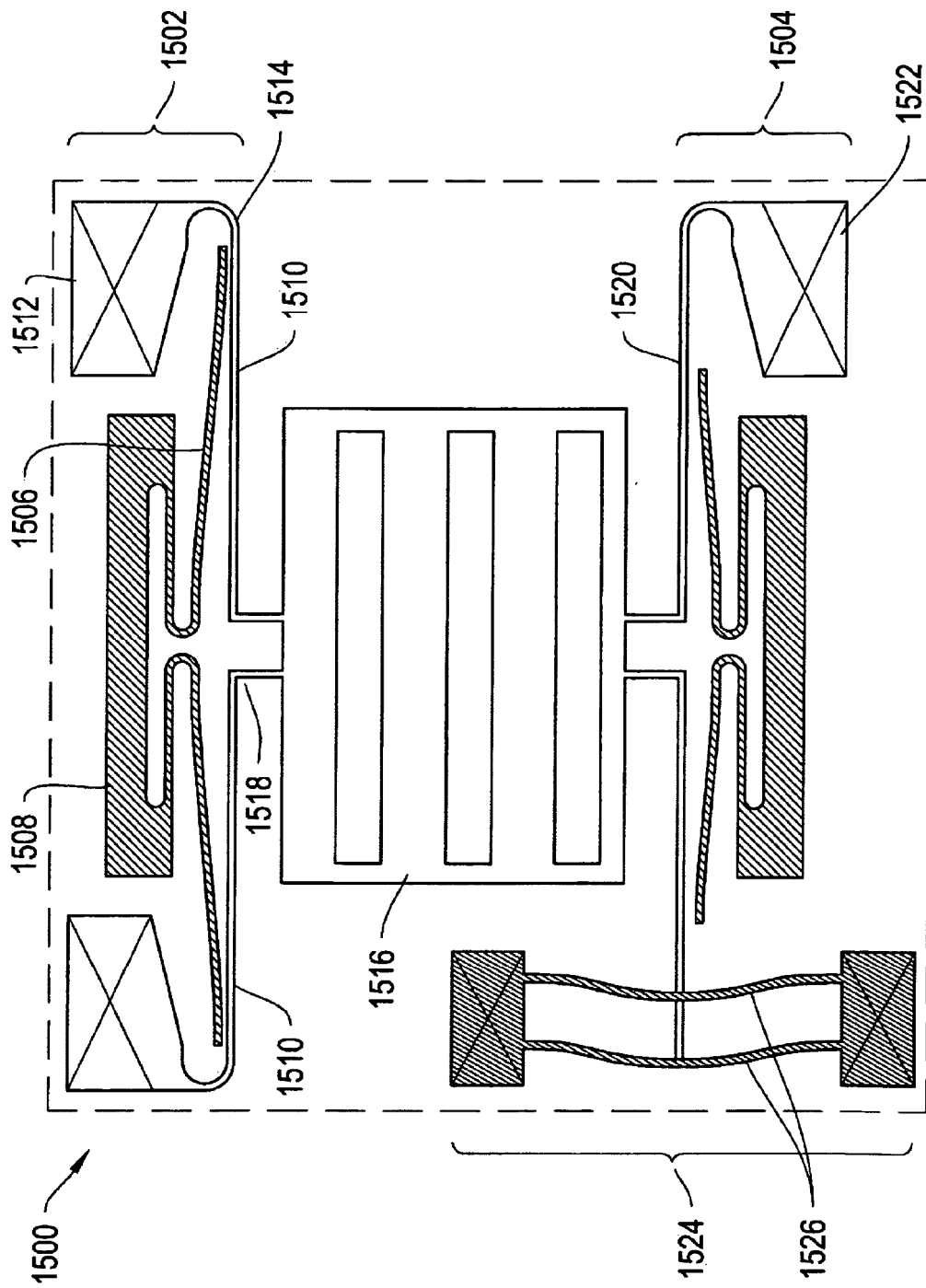


Figure 12

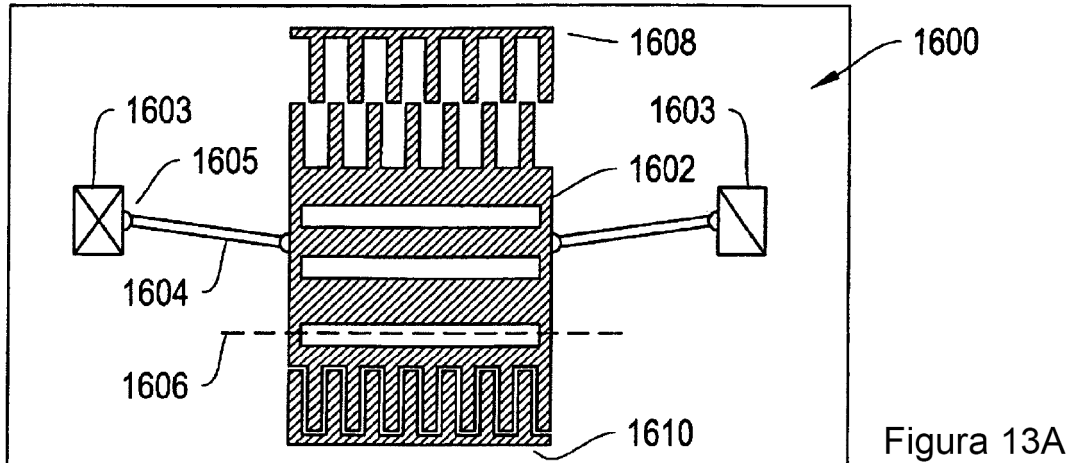


Figura 13A

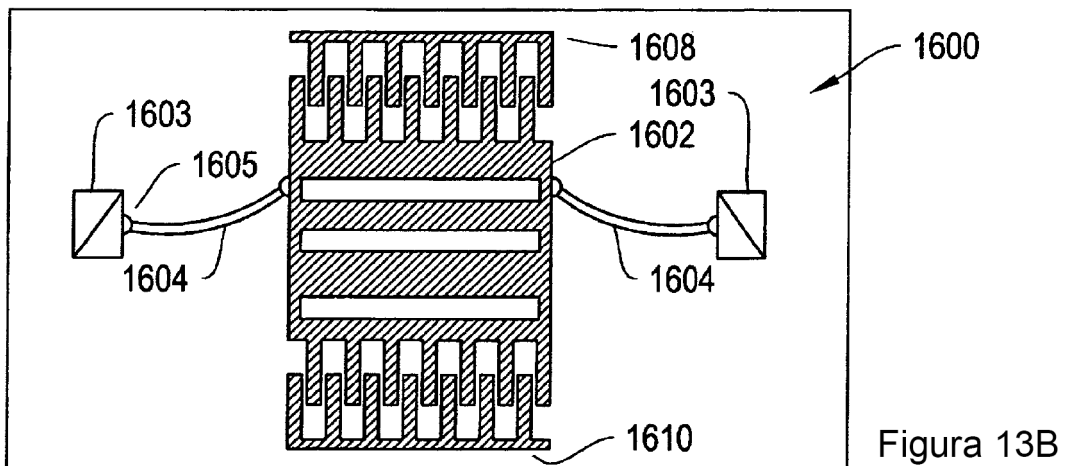


Figura 13B

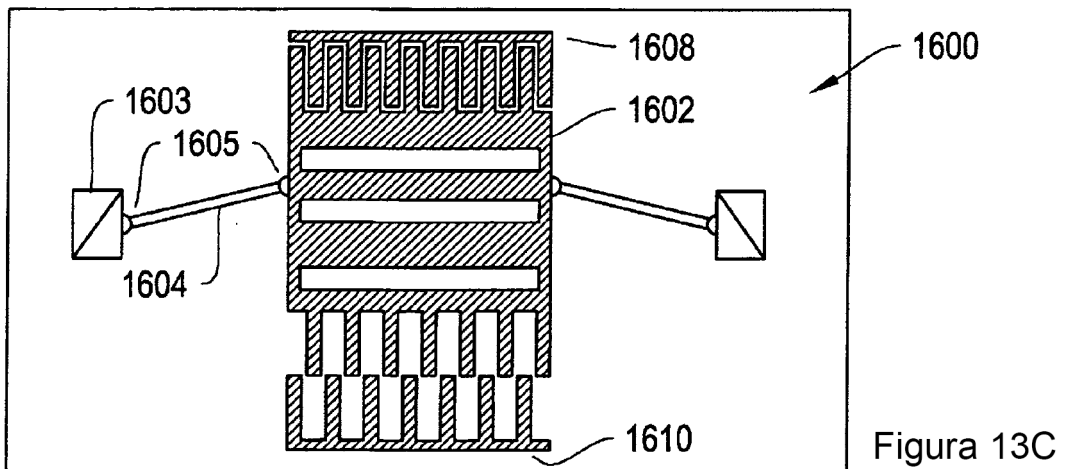


Figura 13C

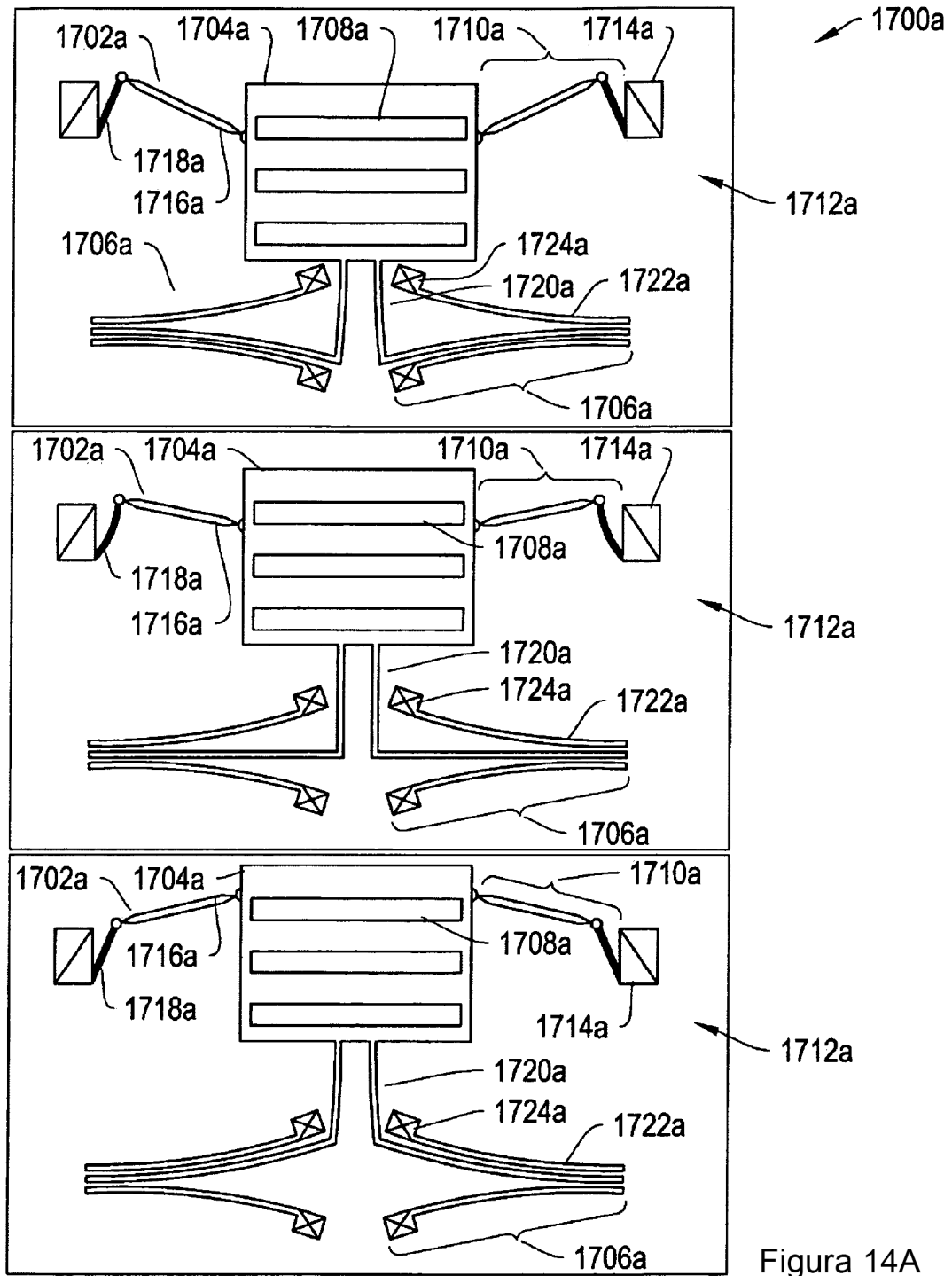


Figura 14A

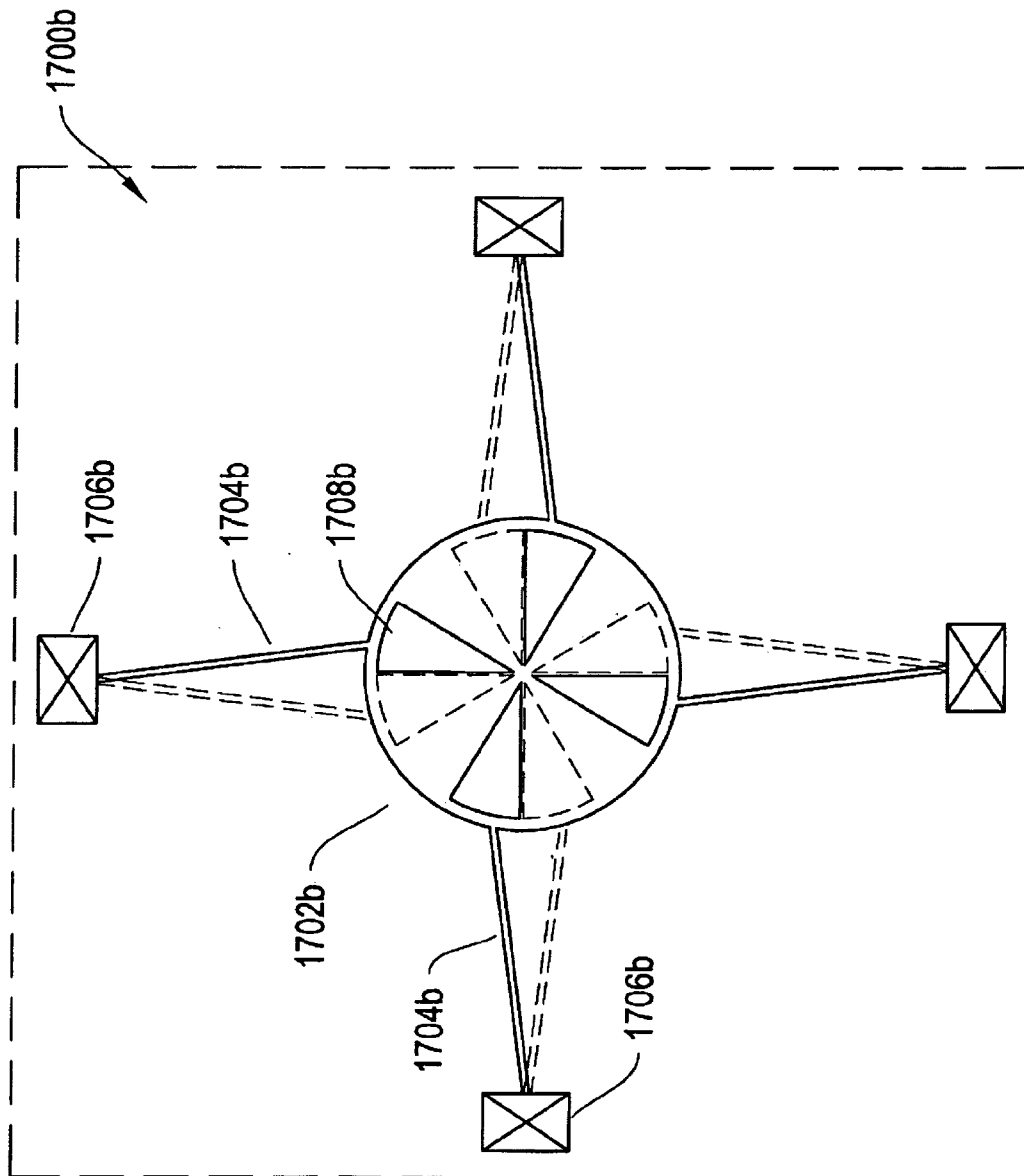


Figura 14B

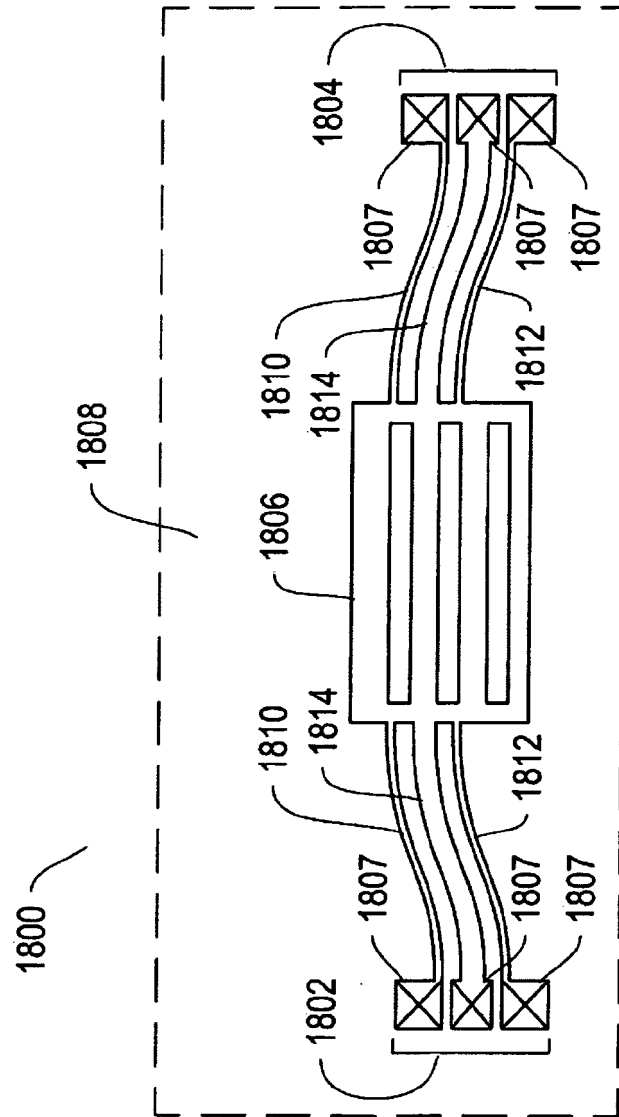


Figura 15

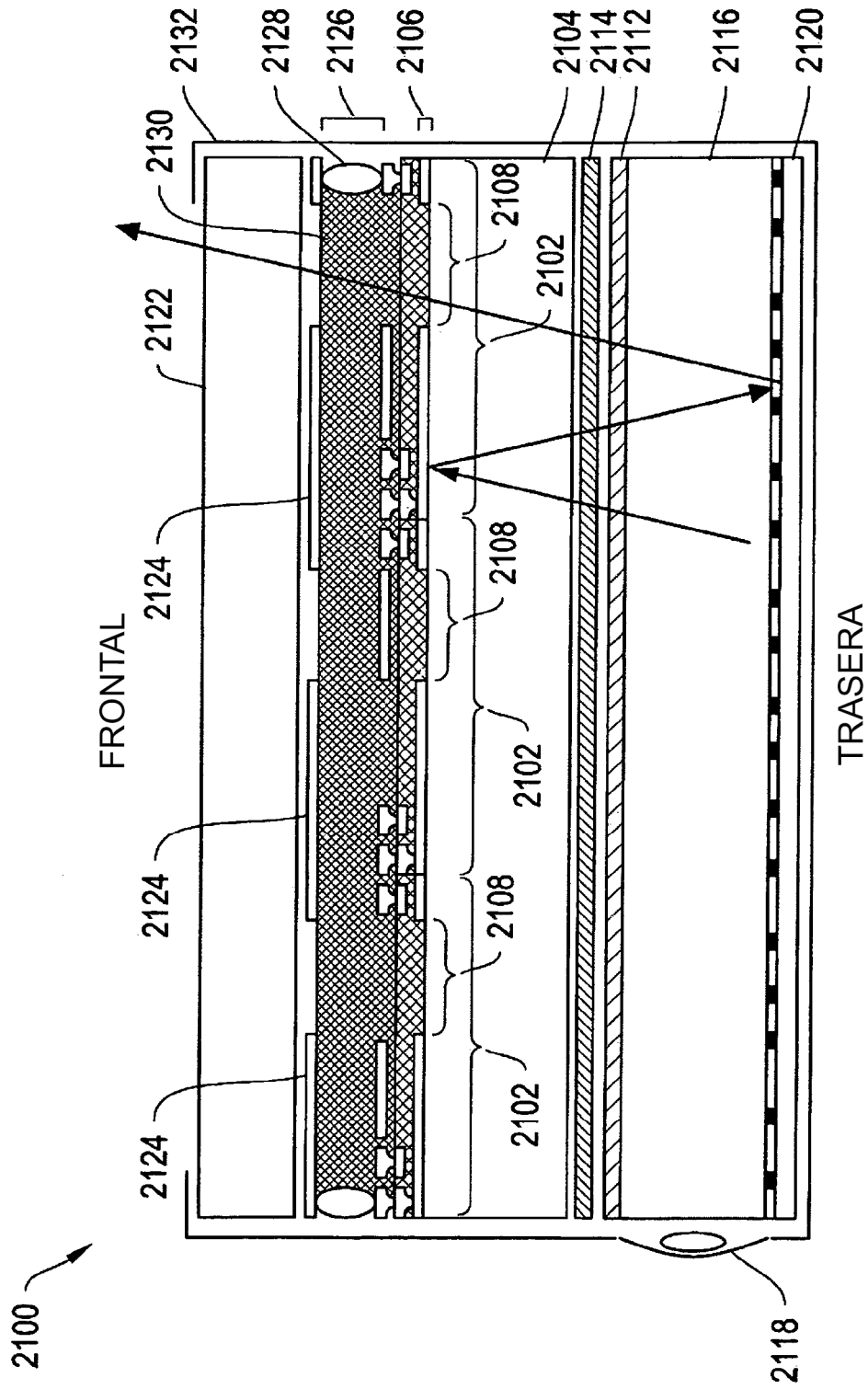


FIGURA 16

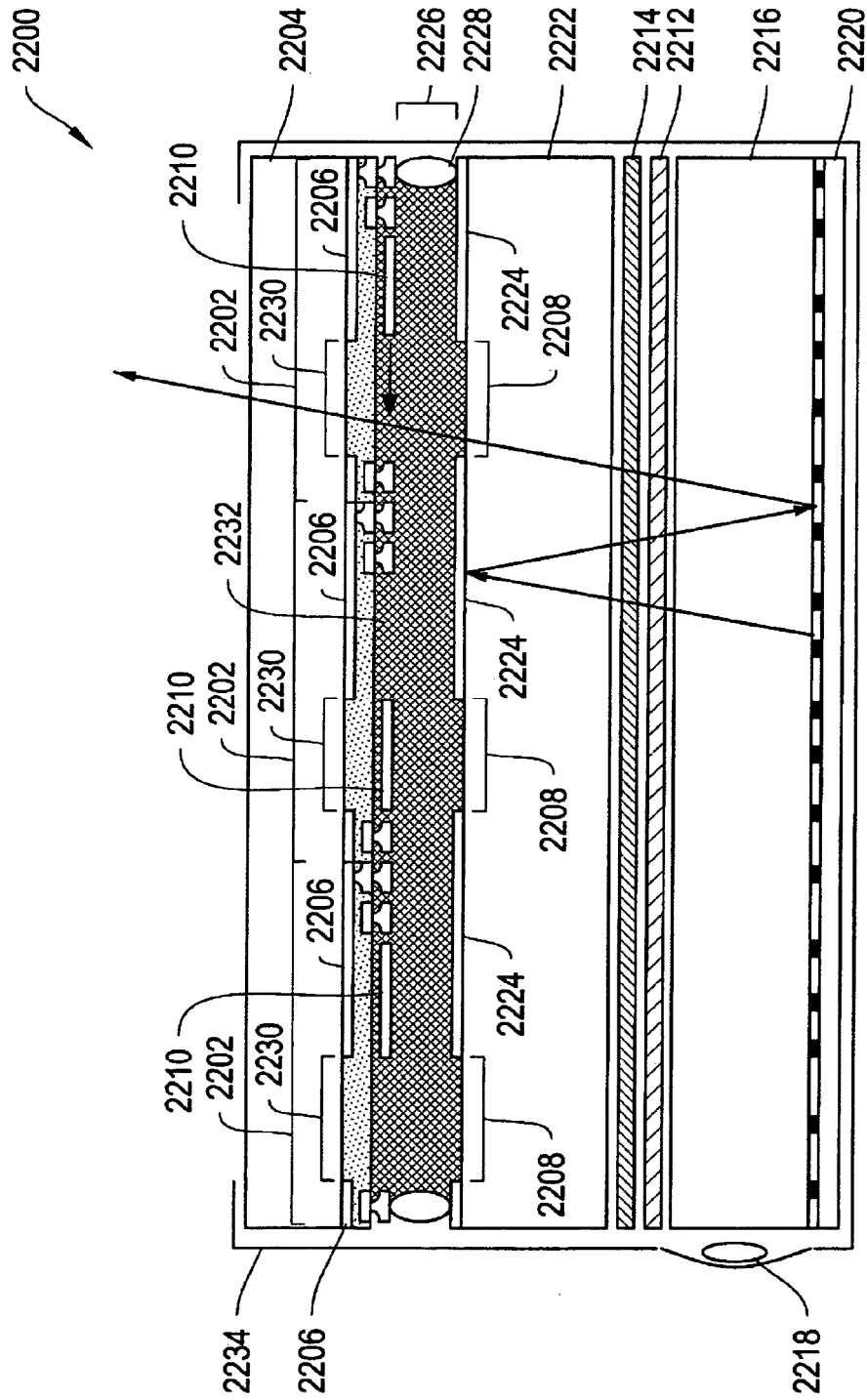


Figura 17