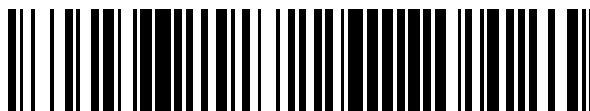


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 468 017**

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 10177223 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2322971**

54 Título: **Procedimientos y aparatos para accionar visualizaciones**

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:
13.06.2014

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 2 468 017 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 aparatos para accionar visualizaciones

Campo de la invención

5 En general, la invención se refiere al campo de las pantallas de vídeo, en particular, la invención se refiere a los aparatos de visualización accionados mecánicamente.

Antecedentes de la invención

10 Las pantallas construidas a partir de moduladores de luz mecánicos son una alternativa atractiva a las pantallas basadas en la tecnología de cristal líquido. Los moduladores de luz mecánicos son lo suficientemente rápidos para visualizar el contenido de vídeo con ángulos de visualización satisfactorios y con una amplia gama de la escala de colores y grises. Los moduladores de luz mecánicos han obtenido éxito en aplicaciones de visualización de proyecciones. Las pantallas retroiluminadas que utilizan moduladores de luz mecánicos no han todavía demostrado combinaciones suficientemente atractivas de brillo y potencia baja.

15 El documento EP 1202096 divulga un modulador óptico de estructura mecánica microeléctrica (MEMS) y un sistema de visualización óptico. El modulador óptico de MEMS incorpora un sustrato plano que incluye múltiples aberturas. Un accionador de MEMS divide en porciones de forma selectiva unos obturadores de MEMS sobre las aberturas. Sin embargo el sistema no incluye una película reflectante para formar las aberturas.

Se necesitan en la técnica unas pantallas accionadas mecánicamente de baja potencia, brillantes, rápidas. En concreto, se necesitan unas pantallas accionadas mecánicamente que incluyan unos mecanismos biestables y que puedan ser excitadas por bajas tensiones para conseguir un consumo de energía bajo.

20 La presente invención proporciona un aparato de visualización de acuerdo con la reivindicación 1.

Breve descripción de los dibujos

El sistema y los procedimientos pueden ser comprendidos de manera más acabada a partir de la descripción ilustrativa subsecuente con referencia a los dibujos que siguen, en los cuales:

- 25 La Figura 1 es una vista isométrica conceptual de un aparato de visualización;
- las Figuras 2A - 2B son vistas desde arriba de conjuntos de obturador basados en accionador de haz doble de electrodos elásticos para su uso en un aparato de visualización;
- la Figura 3A es un diagrama que ilustra diversas formas de electrodos elásticos apropiados para su inclusión en conjuntos de obturador basados en accionador de haz doble de electrodos elásticos;
- 30 la Figura 3B es un diagrama que ilustra la energía incremental necesaria para desplazar los conjuntos de obturador basados en accionador de haz doble de electrodos elásticos ilustrados en la Figura 3A;
- las Figuras 3C - 3F son vistas desde arriba del conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos de la Figura 2A en diversas etapas de accionamiento;
- las Figuras 4A y 4B son vistas en sección transversal de un modulador de luz basado en espejos basado en accionador de haz doble electrodos elásticos en un estado activo y en un estado inactivo;
- 35 la Figura 5 es una vista desde arriba de un conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos que presentan un haz con un grosor que varía a lo largo de su extensión;
- la Figura 6 es una vista isométrica de un conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos;
- 40 la Figura 7 es una vista desde arriba de un conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos que incluye un muelle de retorno;
- la Figura 8 es una vista desde arriba de un conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos que presenta unos accionadores separados abiertos y cerrados;
- la Figura 9 es una vista en sección transversal del conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos de la Figura 8;
- 45 la Figura 10 es una vista desde arriba de un conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos y estables;

la Figura 11 es una vista desde arriba de un segundo conjunto basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos biestables;

la Figura 12 es una vista desde arriba de un conjunto de obturador triestable que incorpora un accionador de electrodos dobles elásticos;

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

la Figura 14A es un diagrama conceptual de un conjunto de obturador biestable que incluye unos haces sustancialmente rígidos;

la Figura 14B es una vista desde arriba de un conjunto de obturador biestable rotacional;

10 la Figura 15 es un diagrama conceptual de un conjunto de obturador biestable que incorpora unos obturadores bieléctricos;

la Figura 16 es una vista en sección transversal de un aparato de visualización, de acuerdo con una forma de realización ilustrativa de la invención; y

15 la Figura 17 es una vista en sección transversal de otro aparato de visualización, de acuerdo con otra forma de realización ilustrativa de la invención.

Descripción

La Figura 1A es una vista isométrica de un aparato 100 de visualización, de acuerdo con una forma de realización ilustrativa de la invención. El aparato 100 de visualización incluye una pluralidad de moduladores de luz, en particular, una pluralidad de conjuntos 102a - 102d de obturador (genéricamente "conjuntos 102 de obturador")
20 dispuestos en filas y en columnas. En general, un conjunto 102 de obturador presenta dos estados, abierto y cerrado (aunque se pueden emplear aberturas parciales para conferir una escala de grises). Los conjuntos 102a y 102d de obturador están en el estado abierto, permitiendo que la luz pase. Los conjuntos 102b y 102c de obturador están en el estado cerrado, obstruyendo el paso de la luz. Mediante el ajuste de manera selectiva de los estados de los conjuntos 102a - 102d de obturador, el aparato 100 de visualización puede ser utilizado para formar una imagen 104
25 para una proyección o una visualización retroiluminada, si es iluminada por una lámpara 105. En otra realización, el aparato 100 puede formar una imagen por reflexión de luz ambiente procedente de la parte frontal del aparato. En el aparato 100 de visualización, cada conjunto 102 de obturador se corresponde con un píxel 106 de la imagen 104.

Cada conjunto 102 de obturador incluye un obturador 112 y una abertura 114. Para iluminar un píxel 106 de la imagen 104, el obturador 112 es situado de forma que deje pasar la luz, sin ninguna obstrucción significativa, a
30 través de la abertura 104 hacia un espectador. Para mantener un píxel 106 no iluminado, el obturador 112 es situado de forma que obstruya el paso de luz a través de la abertura 114. La abertura 114 se define por una abertura estructurada a través de un material reflectante o absorbente de luz en cada conjunto 102 de obturador.

En realizaciones alternativas, un aparato 100 de visualización incluye múltiples conjuntos 102 de obturador para cada píxel 106. Por ejemplo, el aparato 100 de visualización puede incluir tres conjuntos 102 de obturador de color
35 específico. Mediante la apertura selectiva de uno o más de los conjuntos 102 de obturador de color específico correspondientes a un concreto píxel 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 102 de obturador por píxel 106 para proporcionar una escala de grises en una imagen 104. En otras realizaciones adicionales, el aparato 100 de visualización puede incluir otras formas de obturadores de luz, como por ejemplo microespejos, filtros,
40 polarizadores, dispositivos interferométricos, y otros dispositivos apropiados, en lugar de los conjuntos 102 de obturador para modular la luz para formar una imagen.

Los conjuntos 102 de obturador del aparato 100 de visualización se forman utilizando técnicas de micromecanizado estándar conocidas en la técnica, incluyendo litografía; técnicas de mordentado al ácido, como por ejemplo eliminación fotorresistente química en húmedo y seco, oxidación térmica de silicio; galvanoplastia y revestimiento
45 por vía química sin electrodos, procesos de difusión, como por ejemplo difusión de fósforo, arsénico y antimonio; implantación iónica; deposición de película, como por ejemplo evaporación (filamento, haz de electrones, destellos y sombreado y cobertura de escalones), bombardeo iónico, deposición química de vapor (CVD), CVD potenciada con plasma, hepitalia (fase de vapor, fase líquida y haz molecular), galvanoplastia, impresión con estarcido, y laminación. Véase, en general, Jaeger, Introducción a la Fabricación Microelectrónica [Introduction to Microelectronic
50 Fabrication] (Addison- Wesley Publishing Co., Reading Mass. 1988); Runyan, et al., Tecnología de Procesamiento de Circuitos Integrados Semiconductores [Semiconductor Integrated Circuit Processing Technology] (Addison-Wesley Publishing Co., Reading Mass. 1990); Actas de la Conferencia sobre Sistemas Microelectrónicos del IEEE 1987 - 1998 [Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems Conference 1987 - 1998]; Rai-Choudhury, ed., Manual de Microlitografía, Micromecanizado y Microfabricación [Handbook of Microlithography, Micromachining &
55 Microfabrication] (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Wash. 1997).

- Más en concreto, múltiples capas de material (típicamente material alternado entre materiales dieléctricos) son depositadas sobre la parte superior del sustrato que forma una pila. Después de que una o más capas de material son añadidas a la pila, se aplican unos patrones sobre la capa de más arriba del material de marcado de la pila ya sea para ser eliminado de o para permanecer sobre la pila. Diversas técnicas de mordentado incluyendo mordentados en húmedo o en seco o de mordentado iónico reactivo, son entonces aplicadas a la pila estructurada para eliminar el material no deseado. El proceso de mordentado puede eliminar el material de una o más capas de la pila en base a la química de mordentado, a las capas de la pila, y a la cantidad de tiempo durante la que se aplica el mordentado. El proceso de fabricación puede incluir múltiples iteraciones de superposición de capas, estructurado y mordentado.
- En una realización, los conjuntos 102 de obturador son fabricados sobre un sustrato de vidrio con plástico transparente. Este sustrato puede ser fabricado como parte integrante de una retroiluminación que actúe para distribuir de manera uniforme la iluminación a partir de la lámpara 105 antes de que la luz salga de las aberturas 114. Como alternativa y de manera opcional, el sustrato transparente puede ser situado sobre la parte superior de una guía de luz plana, en la que la formación de conjuntos 102 de obturador actúe como elementos de modulación de la luz en la formación de una imagen. En una realización, los conjuntos 102 de obturador son fabricados en combinación con o con posterioridad a la fabricación de una formación de transistor de película delgada (TFT) sobre el mismo sustrato de vidrio o plástico. La formación de TFT proporciona una matriz de conmutación para la distribución de señales eléctricas hacia los conjuntos de obturador.
- El proceso incluye también la etapa de liberación. Para obtener la libertad de partes para que se desplacen en el dispositivo resultante, se incorpora un material de sacrificio en la pila próximo al material que formará las partes móviles en el dispositivo completado. Un mordentado elimina gran parte del material de sacrificio dejando libres de esta forma las partes para que se muevan.
- Después de la liberación, una o más de las superficies de conjunto de obturador pueden ser aisladas para que la carga no se transfiera entre partes móviles con el contacto. Esto puede venir acompañado por oxidación térmica y / o por deposición de química de vapor de un aislante, como por ejemplo Al_2O_3 , Cr_2O_2 , TiO_2 , TiSiO_4 , HfO_2 , HfSiO_4 , V_2O_5 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , SiO_2 , o Si_3N_4 o mediante deposición de materiales similares utilizando técnicas tales como la deposición atómica de capas y otras. Las superficies aisladas son típicamente pasivadas para impedir problemas tales como los de fricción estática entre las superficies en contacto mediante procesos de conversión química, como por ejemplo fluoración, silanización o hidrogenación de las superficies aisladas.
- Los accionadores de electrodos dobles elásticos constituyen una clase apropiada de accionadores para excitar los obturadores 112 de los conjuntos 102 de obturadores. Un accionador de haz doble de electrodos elásticos, en general, se forma a partir de dos o más haces al menos parcialmente elásticos. Al menos dos de los haces sirven como electrodos (también designados en la presente memoria como "electrodos de haces"). En respuesta a la aplicación de una tensión a través de los electrodos de haces, los electrodos de haces son atraídos entre sí a partir de las fuerzas electrostáticas resultantes. Ambos haces de un electrodo, de haz doble elástico son, al menos en parte, elásticos. Esto es, al menos alguna porción de cada uno de los haces puede flexionarse o doblarse para contribuir a que los haces se dispongan de manera conjunta. En algunas realizaciones, la elasticidad se consigue mediante la inclusión de pliegues o puntas de pasador. Una porción de los haces puede ser sustancialmente rígida o estar fijada en posición. De modo preferente, al menos la mayoría de la longitud de los haces es elástica.
- Los accionadores de electrodos dobles elásticos presentan ventajas respecto de otros accionadores conocidos en la técnica. Los accionadores de peine electrostáticos están indicados para actuar sobre distancias relativamente largas, pero pueden generar solo fuerzas relativamente débiles. Los accionadores de placas paralelas de haces paralelos pueden generar fuerzas relativamente considerables pero requieren unos pequeños espacios libres entre las placas o haces paralelos y, por tanto, solo actúan sobre distancias relativamente pequeñas. R. Legtenberg et. al. (Journal of Microelectromechanical Systems v. 6, p. 257, 1997) demostró cómo el uso de accionadores de electrodos curvados pueden generar fuerzas relativamente amplias y provocar desplazamientos relativamente amplios. Las tensiones requeridas para iniciar el accionamiento en el sistema de Legtenberg, sin embargo, son todavía considerables. Como se muestra en la presente memoria, dichas tensiones se puede reducir haciendo posible el desplazamiento o el repliegue de ambos electrodos.
- En el conjunto de obturador basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos, un obturador está acoplado a al menos un haz de un accionador de haz doble de electrodos elásticos. Cuando uno de los haces del accionador es traccionado hacia el otro, el haz traccionado desplaza también el obturador. Al hacerlo, el obturador es desplazado 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, bloqueando, reflejando, absorbiendo, filtrando, polarizando, difractando, o de cualquier forma alterando una propiedad o trayectoria de la luz. El obturador puede estar revestido con una película reflectante o absorbente de la luz para mejorar sus propiedades interferenciales. En la segunda posición, el obturador permite que la luz pase, relativamente sin obstrucciones.
- Las Figuras 2A y 2B son diagramas de dos realizaciones de conjuntos en voladizo de obturadores a base de accionadores de haces dobles de electrodos elásticos para su uso en un aparato de visualización, como por ejemplo el aparato 100 de visualización. Más en concreto, la Figura 2A muestra un conjunto 202a en voladizo de obturador

basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos ("conjunto 200a de obturador"). El conjunto 200a de obturador modula la luz para formar una imagen mediante el desplazamiento de forma controlada de un controlador 200a dentro y fuera de la trayectoria óptica de luz. En una realización, la trayectoria óptica comienza por detrás de una superficie 204a, a la cual está fijado el obturador 202a. La superficie 204a se ilustra como una línea límite de puntos. La línea de puntos indica que la superficie 204a se extiende más allá del espacio delimitado por la línea fronteriza. Líneas límite de puntos similares se ilustran en otras figuras para indicar lo mismo. La luz pasa a través de una abertura 206a por dentro de la superficie 204a hacia un espectador o hacia una pantalla de visualización. En otra realización, la trayectoria óptica comienza delante de la superficie 204a y se refleja hacia atrás hasta el espectador hacia la superficie 206a.

El obturador 202a del conjunto 200a obturador se forma a partir de un cuerpo macizo sustancialmente plano. El obturador 202a puede adoptar virtualmente cualquier forma, ya sea regular o irregular, de manera que, en una posición cerrada el obturador 202a obstruya en la medida suficiente la trayectoria óptica a través de la abertura 206a de la superficie 204a. Así mismo, el obturador 202a debe presentar una anchura en consonancia con la anchura de la abertura que, en la posición abierta (como se representa), permita que pase la luz suficiente a través de la abertura 206a de la superficie 204a para iluminar un píxel, o contribuir a la iluminación de un píxel en el aparato de visualización.

El obturador 202a se acopla a un haz 208a de carga. Un anclaje 210a de carga, situado en el extremo opuesto del haz 208a de carga conecta físicamente el haz 208a de carga a la superficie 204a y conecta eléctricamente el haz 208a de carga al conjunto de circuitos del accionador de la superficie 204a. Conjuntamente, el haz 208a de carga y el anclaje 210a de carga sirven como soporte mecánico para soportar el obturador 202a sobre la superficie 204a.

El conjunto 200a obturador incluye un par de haces 212a y 214a de excitación, uno situado a lo largo de uno u otro lado del haz 210a de carga. Juntos, los haces 212a y 214a de excitación y el haz 210a de carga forman un accionador. Un haz 212a de excitación sirve como un electrodo de apertura del obturador y el otro haz 214a de excitación sirve como un electrodo de cierre de obturador. Los anclajes 216a y 218a de excitación están situados en los extremos de los haces 212a y 214a de excitación más próximos al obturador 202a físicamente y eléctricamente conecta cada haz 212a y 214 de excitación a la superficie 204a. En esta realización, los demás extremos y la mayoría de las longitudes de los haces 212a y 214a de excitación permanecen sin anclaje o libres. Los extremos libres de los haces 212a y 214a de excitación están más próximos al extremo anclado del haz 208a de carga de lo que lo están los extremos anclados de los haces 212a y 214a de excitación al extremo del obturador del haz 208a de carga.

El haz 208a de carga y los haces 212a y 214a de excitación son elásticos. Esto es, presentan la suficiente flexibilidad y resiliencia para que puedan incurvarse fuera de su posición o forma no sometida a esfuerzo ("de reposo") hasta al menos un cierto grado útil, sin fatiga ni fractura. Cuando el haz 208a de carga y los haces 212a y 214a de excitación están anclados solo en un extremo, la mayoría de las longitudes de los anclajes 208a, 212a y 214a queda libre para desplazarse, doblarse, flexionarse o deformarse en respuesta a la fuerza aplicada. El funcionamiento del conjunto 200a en voladizo de obturador en base al accionador de haz doble de electrodos elásticos se analiza más adelante con mayor detalle en relación con la Figura 3.

La Figura 2B es una forma de realización ilustrativa de un conjunto 200b en voladizo basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos (conjunto 200b obturador). Como el conjunto 200a obturador, el conjunto 200b obturador incluye un obturador 202b acoplado a un haz 208b de carga y dos haces 212b, y 214b de excitación. El obturador 202b está situado en la posición intermedia entre su posición completamente abierta y su posición completamente cerrada. El haz 208b de carga y los haces 212b y 214b de excitación forman conjuntamente un accionador. Los anclajes 210b, 216b y 218b de excitación, acoplados a cada extremo de los haces conectan los haces con una superficie 204b. Frente al conjunto 200a de obturador, el obturador del conjunto 200b de obturador incluye varias aberturas 220 del obturador, bajo la forma de ranuras. La superficie 204b en lugar de presentar solo una abertura, incluye una abertura 206b de superficie. En la posición abierta, las aberturas 220 del obturador sustancialmente se alinean con las aberturas 206b de la superficie 204b, permitiendo que la luz pase a través del obturador 202b. En la posición cerrada, las aberturas 206b de superficie están obstruidas por el resto del obturador 202b, impidiendo con ello el paso de la luz.

La modificación del estado de un conjunto obturador que incluye múltiples aberturas de obturador con un número correspondiente de aberturas de superficie, requiere menos desplazamiento del obturador que la modificación del estado de un conjunto obturador que incorpore un obturador macizo y una abertura de superficie única, proporcionando sin embargo al tiempo la misma área de abertura. Un desplazamiento requerido reducido se corresponde con una tensión de accionamiento requerida baja. Más en concreto, una reducción en el movimiento requerido en 1/3 reduce la tensión de accionamiento necesaria del accionador en un factor de aproximadamente 1/3. La tensión de accionamiento reducida se corresponde también con un consumo de energía reducido. Dado que el área de abertura total para cualquier conjunto obturador es aproximadamente la misma, cada conjunto obturador proporciona sustancialmente un brillo similar.

En otras realizaciones, las aberturas de obturador y las correspondientes aberturas de superficie presentan formas distintas de las ranuras. Las aberturas pueden ser circulares, poligonales o irregulares. En realizaciones alternativas,

el obturador puede incluir una o más aberturas del obturador de las que aberturas de superficie que hay en el conjunto obturador. En dichas realizaciones, una o más de las aberturas del obturador pueden servir como filtro, como por ejemplo filtro de color. Por ejemplo, el conjunto obturador puede incorporar tres aberturas del obturador para cada abertura de superficie, incluyendo cada abertura de obturador un filtro de color rojo, azul o verde.

- 5 Las Figuras 3A y 3B son diagramas que ilustran la relación entre el desplazamiento en el extremo del haz de carga y la tensión relativa necesaria para desplazar el haz de carga más cerca del haz de excitación. El desplazamiento que se puede conseguir en cualquier tensión determinada depende, al menos en parte, de la curvatura o de la forma del haz de excitación o, más precisamente, de la forma en que la separación, d , y el esfuerzo de flexión a lo largo del haz de excitación y del haz de carga varía en función de una posición x a lo largo del haz de carga. Una función de separación $d(x)$, mostrada en la Figura 3A puede ser generalizada en forma de " $d = ax^n$ " donde y es la distancia entre los haces. Por ejemplo, si $n = 1$, la distancia entre el electrodo de excitación y el electrodo de carga aumenta linealmente a lo largo de la extensión del electrodo de carga. Si $n = 2$, la distancia aumenta parabólicamente. En general, partiendo de la base de una tensión constante, cuando la distancia entre los electrodos elásticos disminuye, la fuerza electrostática de cualquier punto de los haces aumenta proporcionalmente en $1/d$. Al mismo tiempo, sin embargo, cualquier deformación del haz de carga que pudiera reducir la distancia de separación se traduciría también en un estado de esfuerzo mayor dentro del haz. Por debajo de una tensión de umbral mínima se alcanzará un límite de deformación en el que cualquier energía eléctrica liberada por una aproximación más cercana de los electrodos quede exactamente equilibrada por la energía que resulta almacenada en la energía de deformación de los haces.
- 20 Como se indica en el diagrama 3B, para accionadores que presentan funciones de separación en las cuales n es menor que o igual a 2, la aplicación de una tensión de accionamiento mínima (V_2) se traduce en una atracción en cascada del haz de carga hacia el haz de excitación sin que se requiera la aplicación de una tensión más elevada. Para dichos accionadores, el incremento progresivo de la fuerza electrostática sobre los haces debido al acercamiento del haz de carga hacia el haz de excitación es mayor que el incremento progresivo del esfuerzo sobre los haces requerido para el desplazamiento adicional de los haces.

Para accionadores que incorporen funciones de separación en las cuales x sea mayor de 2, la aplicación de una tensión concreta se traduce en un desplazamiento parcial diferenciado del electrodo de carga. Esto es, el incremento progresivo de la fuerza electrostática sobre los haces derivada de una reducción concreta de separación sobre los haces, en algún punto, no consigue sobrepasar la fuerza de separación incremental requerida para que sea transmitida sobre el haz de carga para continuar reduciendo la separación. De esta manera, para accionadores que incorporen funciones de separación que presenten n mayor de 2, la aplicación de un primer nivel de tensión se traduce en un primer correspondiente desplazamiento del electrodo de carga. Una tensión más elevada se traduce en un correspondiente mayor desplazamiento del electrodo de carga. La forma en que los perfiles de la elasticidad relativa de los electrodos de haz delgados afecta a la tensión de accionamiento se divulga con mayor detalle en las siguientes referencias: (R. Legtenberg et al., Journal of Microelectromechanical Systems, v.6, p. 257 (1997) y J. Li et al. Transductores, '03, Duodécima Conferencia Internacional sobre Sensores de Estado Sólido, Accionadores, y Microsistemas, p. 480 (2003) [Transducers, '03, The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators, and Microsystems, p. 480 (2003)].

40 Con referencia de nuevo a las Figuras 2A y 2B, un aparato de visualización que incorpora los conjuntos 202a y 202b obturadores actúa, esto es, cambia la posición de los conjuntos 202a, 202b obturadores mediante la aplicación de un potencial eléctrico, a partir de una fuente de tensión controlable, hasta uno de los haces 212a, 212b, 214a o 214b de excitación por medio de su correspondiente anclaje 216a, 216b, 218a o 218b de excitación, estando el haz 208a o 208b de carga eléctricamente acoplado a tierra, provocando una tensión a través de los haces 208a, 208b, 212a, 212b, 214a, 214b. La fuente de tensión controlable, como por ejemplo un excitador de una formación de matrices activas, está eléctricamente acoplado al haz 208a o 208b de carga por medio de una formación matricial (véanse las Figuras 9 y 10 *infra*). El aparato de visualización puede por el contrario aplicar un potencial al haz 208a o 208b de carga por medio del anclaje 210a o 210b de carga del conjunto 202a o 202b obturador para incrementar la tensión. La diferencia de potencial eléctrico entre los haces de accionamiento y los haces de carga con independencia del signo del potencial a tierra, generará una fuerza electrostática entre los haces.

50 Con referencia de nuevo a la Figura 3, el conjunto 202a obturador de la Figura 2A presenta una función de separación de segundo orden (esto es, $n = 2$). De esta manera, si la diferencia de tensión o de potencial entre los haces 208a y 212a o 214a del conjunto 202a obturador en su punto de al menos separación sobrepasa la tensión de accionamiento mínima (V_2), la deformación de los haces 208a y 212a o 214a se desplaza en cascada hacia abajo por la totalidad de las longitudes de los haces 208a y 212a o 214a, traccionando el extremo del obturador del haz 208a de carga hacia el extremo anclado del haz 208a o 214a de excitación. El movimiento del haz 208a de carga desplaza el obturador 202a de forma que cambie su posición ya sea de abierta a cerrada, o viceversa, dependiendo de qué haz 212a o 214a de excitación del aparato de visualización aplicó el potencial. Para invertir el cambio de posición el aparato de visualización cesa en la aplicación del potencial al haz 212a o 214a de excitación energizado. Después de la cesación en la aplicación del potencial del aparato de visualización, la energía almacenada en forma de esfuerzo aplicado sobre el haz 208a de carga deformada restaura el haz 208a de carga a su posición original o de reposo. Para incrementar la velocidad de la restauración y para reducir cualquier oscilación alrededor de la

posición de reposo del haz 208a de carga, el aparato de visualización puede hacer retornar el obturador 202a a su posición anterior mediante la aplicación de un potencial eléctrico al haz 212a o 214a de excitación opuesto.

Estos conjuntos 200a, 200b obturadores, así como los conjuntos 500 obturadores (véase la Figura 5 *infra*), 600 (véase la Figura 6 *infra*), 700 (véase la Figura 7 *infra*) y 800 (véase la Figura 8 *infra*) tienen la propiedad de ser eléctricamente biestables. En general, se entiende que esto abarca, aunque no se limita a, los dispositivos en que el potencial eléctrico V_2 que inicia los desplazamientos entre los estados abierto y cerrado es generalmente mayor que el potencial eléctrico (V_1) requerido para mantener el conjunto obturador en estado estable. Una vez que el haz 208 de carga y uno de los haces de excitación están en contacto, una fuerza eléctrica sustancialmente mayor debe ser aplicada desde el haz de accionamiento opuesto para desplazar o separar el haz de carga, siendo dicha fuerza eléctrica mayor de la que sería necesaria si el haz 208a de carga empezara en una posición neutral o de no contacto. Los dispositivos biestables descritos en la presente memoria pueden emplear un esquema de excitación de matriz pasiva para el funcionamiento de una formación de conjuntos obturadores, como el conjunto 200a. En una secuencia de excitación de matriz pasiva es posible preservar una imagen manteniendo una tensión V_1 de estabilización a través de todos los conjuntos obturadores (excepto los que están siendo activamente excitados a un cambio de estado). Sin que se requiera ningún tipo de energía eléctrica, el mantenimiento de un material V_1 entre el haz 208a de carga y el haz 212a o 214a de excitación es suficiente para mantener el conjunto obturador ya sea en su estado abierto o cerrado. Con el fin de producir un episodio de conmutación la tensión entre el haz 208a de carga y el haz de excitación previamente afectado (por ejemplo 212a) se permite que retorne de V_1 de cero a cero mientras que la tensión entre el haz 208a de carga y el haz opuesto (por ejemplo 212b) es aproximado a la tensión V_2 de conmutación.

En la Figura 2B, el accionador presenta una función de separación de tercer orden (esto es, $n = 3$). Aplicando de esta manera un potencial concreto a uno de los haces 212b o 214b de excitación se provoca un desplazamiento incremental del obturador 202b. El aparato de visualización aprovecha la capacidad para desplazar de forma incremental el obturador 202b para generar una imagen de escala de grises. Por ejemplo, la aplicación de un primer potencial de un haz 212 o 214b de accionamiento desplaza el obturador 202b hasta su posición ilustrada, obstruyendo parcialmente la luz que pasa a través de las aberturas 206b de superficie, pero permitiendo todavía el paso de algo de luz a través del obturador 202b. La aplicación de otros potenciales se traduce en otras posiciones 202b de obturador, incluyendo la completamente abierta, la completamente cerrada y otras posiciones intermedias entre la completamente abierta y la completamente cerrada. De esta forma, el conjunto de circuitos de excitación eléctricamente analógico puede ser empleado para conseguir una imagen de escala de grises analógica.

Las Figuras 3C a 3F muestran las etapas de movimiento del haz 208a de carga, el electrodo 214a de cierre del obturador, y el obturador 202a del conjunto 200a obturador de la Figura 2A. La separación inicial entre los haces 208a y 214a elásticos determina una función de separación de segundo orden. La Figura 3C muestra el haz 208a de carga en posición neutra sin ninguna tensión aplicada. La abertura 206a está medio cubierta por el obturador 212a.

La Figura 3D muestra las etapas iniciales de accionamiento. Una pequeña tensión es aplicada entre el haz 208a de carga y el electrodo 214a de cierre del obturador. El extremo libre del electrodo 214a de cierre del obturador se ha desplazado para contactar con el haz 208a de carga.

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

La Figura 3F muestra el estado final de accionamiento del conjunto 200a obturador. La tensión ha sobrepasado el umbral de accionamiento. El conjunto 200a obturador está en la posición cerrada. Se efectúa el contacto entre el haz 208a de carga y el electrodo 214a de cierre del obturador a todo lo largo de su extensión.

La Figura 4A es un primer diagrama en sección transversal de un modulador 400 doble de luz a base de espejos de electrodos elásticos para la inclusión en un aparato de visualización, como por ejemplo el aparato 100 de visualización, en lugar de, o además de, los conjuntos 102 obturadores. El modulador 400 de luz a base de espejos incluye una plataforma 402 de reflexión mecánicamente elástica. Al menos una porción de la plataforma 402 de reflexión es ella misma reflectante o está revestida de o está conectada a un material reflectante.

La plataforma 402 de reflexión puede o puede no ser conductora. En realizaciones en las que la plataforma 402 de reflexión es conductora, la plataforma de reflexión sirve como un electrodo de carga para el modulador 400 de luz a base de espejos. La plataforma 402 de reflexión es físicamente soportada sobre y está eléctricamente acoplada a un sustrato 404 por medio de un miembro 406 de soporte elástico. Si la plataforma 402 de reflexión está formada a partir de un material no conductor, la plataforma 402 de reflexión está acoplada a un haz de carga conductor elástico o a otra forma de electrodo de carga elástico. Un miembro 406 de soporte elástico soporta físicamente la plataforma 402 de reflexión combinada y el electrodo sobre el sustrato 404. El miembro 406 de soporte proporciona también una conexión eléctrica desde el electrodo hasta el sustrato 404.

El modulador 400 de luz basado en espejos, incluye un segundo electrodo 408 elástico, que sirve al electrodo 408 de excitación. El electrodo 408 de excitación es soportado entre el sustrato 404 y la plataforma 402 de reflexión mediante un segundo miembro 410 de soporte sustancialmente rígido. El segundo miembro 410 de soporte conecta

también eléctricamente el segundo electrodo 408 elástico a una fuente de tensión para accionar el modulador 400 de luz a base de espejos.

El modulador 400 de luz a base de espejos mostrado en la Figura 4A, está en la posición de reposo en la que ni los electrodos 402 o 408 acarrear un potencial. La Figura 4B muestra el modulador 400 de luz basado en espejos en estado activado. Cuando se genera una diferencia de potencial entre el electrodo 408 de accionamiento y el electrodo 402 de carga (ya sea la plataforma 402 reflectante o un haz de carga fijado), el electrodo 402 de carga es arrastrado hacia el electrodo 408 de excitación, doblando de esta manera el haz 406 de soporte elástico y angulando la porción reflectante de la plataforma 402 de reflexión para que se sitúe, al menos parcialmente, en posición transversal con respecto a sustrato 404.

Para formar una imagen, la luz 412 es dirigida a una formación de moduladores 400 de luz basados en espejos en un ángulo concreto. Los moduladores 400 de luz basados en espejo en sus estados de reposo reflejan la luz 412 lejos del espectador o de la pantalla de visualización, y los moduladores de luz basados en espejo en el estado activo reflejan la luz 412 hacia un espectador o a una pantalla de visualización o viceversa.

La Figura 5 es un diagrama de otro conjunto 500 obturador en voladizo basado en accionador de haz doble de electrodos elásticos ("conjunto 500 obturador"). Como en el caso de los conjuntos 200a y 200b de la Figura 2, el conjunto 500 obturador incluye un obturador 502 acoplado a un haz 504 de carga elástico. El haz 504 de carga elástico es a continuación anclado físicamente a una superficie 506, y eléctricamente acoplado a tierra, en su extremo opuesto por medio de un anclaje 508 de carga. El conjunto 500 obturador incluye solo un haz 510 de excitación elástico, situado sustancialmente a lo largo del haz 504 de carga. El haz 510 de excitación, en respuesta a su energización con un potencial eléctrico procedente de una fuente de tensión controlable arrastra el controlador 502 desde una posición (en la que el haz 504 de carga está fundamentalmente no sometido a esfuerzo) en un plano sustancialmente paralelo a la superficie, hasta una segunda posición en la que el haz 504 de carga está sometido a esfuerzo. Cuando el potencial es retirado, el esfuerzo almacenado en el haz 504 de carga restaura el haz 504 de carga a su posición original.

Así mismo, en comparación con los conjuntos 202a, y 202b obturadores, el haz 504 de carga presenta una anchura que varía a lo largo de su extensión. El haz 504 de carga es más ancho cerca de su anclaje 508 que más cerca del obturador 502. En comparación con los conjuntos 202a, 202b obturadores y debido a su anchura diseñada a medida, el haz 504 de carga típicamente presenta una rigidez global mayor. Los conjuntos obturadores que incorporan haces más rígidos típicamente requieren tensiones de accionamiento más altas, pero por el contrario, permiten unas tasas de conmutación más elevadas. Por ejemplo los conjuntos 202a y 202b obturadores pueden ser conmutados hasta aproximadamente 10 kHz, mientras que el conjunto 500 obturador más rígido puede ser conmutado hasta aproximadamente 100 kHz.

La Figura 6 es un diagrama de un conjunto 600 obturador que incorpora dos accionadores 602 de haz doble de electrodos elásticos ("accionadores 602"). El conjunto 600 obturador incluye un obturador 604. El obturador 604 puede ser macizo, o puede incluir una o más aberturas del obturador según lo descrito con relación a la Figura 2B. El obturador 604 se acopla sobre un lado a los accionadores 602 del haz. Conjuntamente, los accionadores 602 desplazan el obturador transversalmente sobre una superficie en un plano de movimiento sustancialmente paralelo a la superficie.

Cada accionador 602 incluye un miembro 606 de carga elástico que conecta el obturador 604 a un anclaje 608 de carga. Los miembros 606 de carga elásticos incluyen cada uno un haz 610 de carga y un soporte de sujeción 612 en L. Los anclajes 608 de carga junto con los miembros 606 de carga elásticos sirven como soportes mecánicos manteniendo el obturador 604 suspendido próximo a la superficie. Los anclajes 608 de carga físicamente conectan los miembros 606 de carga elásticos y el obturador 604 a la superficie y conectan eléctricamente los haces 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 hasta los anclajes 608 de carga en posiciones a uno y otro lado del conjunto 600 obturador ayuda a reducir el movimiento de torsión del obturador 604 alrededor de su eje geométrico central durante el movimiento.

Los soportes de sujeción 612 en L reducen la rigidez en el plano del haz 610 de carga. Esto es, los soportes de sujeción 612 en L reducen la resistencia de los accionadores 602 para desplazarse en un plano paralelo con la superficie (designado como "desplazamiento en el plano" 615), aliviando los esfuerzos axiales del haz de carga.

Cada accionador 602 incluye también un haz 616 de excitación elástico situado en posición adyacente a cada haz 610 de carga. Los haces 616 de excitación se acoplan en un extremo a un anclaje 618 del haz de excitación compartido entre los haces 616 de excitación. El otro extremo de cada haz 616 de excitación queda libre para desplazarse. Cada haz 616 de excitación está curvado de forma que está más próximo al haz 610 de carga cerca del extremo libre del haz 616 de excitación y al extremo anclado del haz 610 de carga.

En funcionamiento, un aparato de visualización que incorpora el conjunto 600 obturador aplica un potencial eléctrico a los haces 616 de excitación por medio del anclaje 618 del haz de excitación. Como resultado de una diferencia de potencial entre los haces 616 de excitación y el haz 610 de carga, los extremos libres de los haces 616 de excitación son traccionados hacia los extremos anclados 610 de carga y los extremos del obturador de los haces 610 de carga

son traccionados hacia los extremos anclados de los haces 616 de excitación. La fuerza electrostática arrastra el obturador 604 hacia el anclaje 618 de excitación. Los miembros 606 elásticos actúan como muelles, de forma que, cuando los potenciales eléctricos son retirados de los haces 616 de excitación, los miembros 606 elásticos de los haces de carga empujan el obturador 604 de nuevo a su posición inicial, liberando el esfuerzo almacenado en los haces 610 de carga. Los soportes de sujeción 612 en L sirven también como muelles aplicando una fuerza de restauración adicional sobre el obturador 604.

En la fabricación de los conjuntos 200 a 800 obturadores, así como para los conjuntos 1300 a 1800 obturadores, es preferente disponer una configuración rectangular para la sección transversal de los haces de carga (como por ejemplo los haces 610 de carga) y los haces de excitación (como por ejemplo los haces 616 de excitación). Disponiendo un grosor de los haces (en la dirección perpendicular a la superficie) con una dimensión 1,4 veces o más superior que la anchura de los haces (en una dirección paralela a la superficie), el grosor del haz 610 de carga se incrementará para un movimiento 617 fuera del plano con respecto al movimiento 615 en el plano. Esa diferencia de la dimensión y, en consecuencia, el diferencial de rigidez contribuye a asegurar que el movimiento del obturador 604, iniciado por los accionadores 602, quede restringido al movimiento a lo largo de la superficie y a través de las aberturas de la superficie por oposición al movimiento de la superficie fuera del plano lo que significaría una aplicación antieconómica de energía. Es preferente para determinadas aplicaciones que la sección transversal de los haces de carga (por ejemplo el haz 610) sea rectangular por oposición a la forma curvada o elíptica. La fuerza de accionamiento más intensa se obtiene si los electrodos de los haces opuestos presentan caras planas para que tras el accionamiento puedan aproximarse y contactar entre sí con la distancia de separación lo más pequeña posible.

La Figura 7 es un diagrama de un segundo conjunto 700 obturador que incorpora dos accionadores 702 de haz doble de electrodos elásticos. El conjunto 700 obturador adopta la misma forma general que el conjunto 600 obturador, pero además incluye un muelle 704 de retorno. Como en el caso del conjunto 600 obturador, en el conjunto 700 obturador, dos accionadores 702 se acoplan a un primer lado de un obturador 706 para trasladar el obturador 706 en un plano paralelo a una superficie sobre la cual el obturador es físicamente soportado. El muelle 704 de retorno se acopla sobre el lado opuesto del obturador 706. El muelle 704 de retorno se acopla también a la superficie en un anclaje 708 del muelle, actuando como un soporte mecánico adicional. Mediante el soporte físico del obturador 706 sobre la superficie a los lados opuestos del obturador 706, los accionadores 702 y el muelle 704 de retorno reducen el movimiento del obturador 706 fuera del plano del movimiento previsto durante su funcionamiento. Así mismo, el muelle 704 de retorno incorpora varias incurvaciones que reducen la rigidez en el plano del muelle 704 de retorno, promoviendo con ello aún más el movimiento en el plano con respecto al movimiento fuera del plano. El muelle 704 de retorno proporciona una fuerza de retorno adicional al obturador 706, de forma que, una vez que se ha retirado el potencial de accionamiento, el obturador 706 retorna a su posición inicial más rápidamente. La incorporación del muelle 704 de retorno incrementa solo 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. Cada uno de los cuatro accionadores 802, 804, 806 y 808 adoptan la forma de un accionador de haz dobles de electrodos elásticos. Cada accionador 802, 804, 806 y 808 incluye un miembro 810 de carga elástico que acopla un obturador 812, en un extremo, a un anclaje 814 de carga en el otro extremo. Cada miembro 810 de carga elástico incluye un haz 816 de carga y un soporte de sujeción 818 en L. Cada accionador 802, 804, 806 y 808 incluye también un haz 820 de excitación con un extremo acoplado a un anclaje 822 de excitación. Cada par de accionadores 802 / 804 y 806 / 808 comparten un anclaje 822 de excitación común. El extremo no anclado de cada haz 820 de excitación está situado cerca del extremo anclado de un correspondiente miembro 810 de carga elástico. El extremo anclado de cada haz 820 de excitación está situado cerca de la pieza de soporte en L de un correspondiente haz 816 de carga. En un estado desactivado, la distancia entre el haz 816 de carga y su haz 820 de excitación correspondiente aumenta progresivamente desde el extremo anclado del haz 816 de carga hasta la pieza de soporte 818 en L.

En funcionamiento, para abrir el obturador 812, un aparato de visualización que incorpora el conjunto 800 obturador aplica un potencial eléctrico al anclaje 822 de excitación de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador, arrastrando el obturador 812 hacia la posición abierta. Para cerrar el obturador 812, el aparato de visualización aplica un potencial eléctrico al anclaje 822 de excitación de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador arrastrando el obturador 812 hacia la posición cerrada. Si ningún par de accionadores 802 / 804 u 806 / 808 es activado, el obturador 812 permanece en posición intermedia en algún punto entre completamente abierto y completamente cerrado.

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 cierre del obturador incorporan sus propios miembros 810 de carga, reduciendo así 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 actuación con más brazo de palanca para separar el miembro 810 de carga elástico de un haz 820 de excitación con el que podría estar en contacto. Situando los accionadores 802 / 804 y 806 / 808 de apertura y cierre sobre lados opuestos del obturador 812, la fuerza de actuación del accionador destinado a ser accionado es transferida al accionador destinado a ser separado a través del obturador. La fuerza de actuación se

aplica por tanto a la tarea de separación en un punto próximo al obturador (por ejemplo cerca del extremo de la pieza de soporte en L del brazo 816 de carga) donde el brazo de palanca será mayor.

Para conjuntos obturadores como el de la Figura 8 las anchuras típicas del obturador (a lo largo de la dirección de las ranuras) oscilarán dentro del intervalo de 20 y 800 micrómetros. La "distancia de lanzamiento" o distancia a través de la cual el obturador se desplazará entre las posiciones de apertura y cierre oscilará entre 4 y 100 micrómetros. La anchura de los brazos de accionamiento y de los brazos de carga oscilará entre 0,2 y 40 micrómetros. La longitud de los brazos de accionamiento y de los brazos de carga oscilará entre 10 y 600 micrómetros. Dichos conjuntos obturadores pueden ser empleados para pantallas con resoluciones que oscilen entre 30 y 1000 puntos por 2,54 cm.

Cada uno de los conjuntos 200a, 200b, 500, 600, 700 y 800 obturadores, y el modulador 400 de luz a base de espejos, descrito con anterioridad, se incluyen en una clase de moduladores de luz designada en la presente memoria como "moduladores de luz elásticos". Los moduladores de luz elásticos presentan un estado de reposo mecánicamente estable. En el estado de reposo, el modulador de luz puede estar activo (abierto o reflectante), apagado (cerrado o no reflectante) o en un punto intermedio (parcialmente abierto o parcialmente reflectante). Si la generación de una tensión a través de los haces en un accionador fuerza el modulador de luz fuera de su estado de reposo a un estado mecánicamente inestable, algún nivel de tensión a través de los haces debe ser mantenido para que el modulador de luz permanezca en ese estado inestable.

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

Además del 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 excitación, el conjunto 800 obturador incluye un electrodo 1104 de fila, un electrodo 1106 de apertura del obturador, un electrodo 1108 de cierre del obturador y tres aberturas 1100 de superficie. El conjunto obturador mostrado presenta al menos tres capas funcionales, que pueden ser designadas como la capa conductora de fila, la capa conductora de columna y la capa del obturador. El conjunto obturador está, de modo preferente, fabricado sobre un sustrato transparente, como por ejemplo vidrio o plástico. Como alternativa, el sustrato puede estar fabricado a partir de un material opaco, como por ejemplo silicio siempre que los agujeros estén dispuestos en las posiciones de cada una de las aberturas 1110 de superficie para la transmisión de luz. La primera capa de metal sobre la parte superior del sustrato es la capa del conductor de fila que está estructurada en unos electrodos 1104 del conductor de fila así como unas secciones 1105 de superficie reflectantes. Las secciones 1105 de superficie reflectantes reflejan la luz que pasa a través del sustrato 1102 excepto en la las aberturas 1110 de superficie. En algunas realizaciones las aberturas de superficie pueden incluir o estar cubiertas por materiales de filtrado de color rojo, verde o azul.

El electrodo 1106 de apertura del obturador y el electrodo 1108 de cierre del obturador están formados dentro de una capa 1112 de conductor de columna depositado sobre el sustrato 1102, sobre la parte superior de la capa 1104 de conductor de fila. La capa 1112 de conductor de columna está separada de la capa 1104 de conductor de fila por una o más capas intermedias de material dieléctrico o de metal. El electrodo 1104 de apertura del obturador y el electrodo 1106 de cierre de obturador del conjunto obturador 800 son compartidos con otros conjuntos obturadores en la misma columna del aparato de visualización. La capa 1112 de conductor de columna sirve también para reflejar la luz que pasa a través de los espacios libres existentes en el electrodo 1104 de tierra y diferentes de los que pasan a través de las aberturas 1110 de superficie. La capa 1104 conductora de fila y la capa 1112 conductora de columna tienen un grosor aproximado de entre 0,1 y 2 micrómetros. En realizaciones alternativas, la capa 1112 conductora de columna puede estar situada por debajo de la capa 1104 conductora de fila. En otra realización alternativa, tanto la capa conductora de columna como la capa conductora de fila pueden estar situadas por encima de la capa de obturador.

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 excitación están formados a partir de la tercera capa funcional del conjunto 800 obturador, designada como capa 1114 del obturador. Los accionadores 802, 804, 806 y 808 están formados a partir de un material depositado como por ejemplo, sin limitación, Au, Cr o Ni, o un semiconductor depositado, como por ejemplo, sin limitación, silicio policristalino o silicio amorfo o a partir de silicio de cristal único si se conforma sobre la parte superior de un óxido enterrado (también conocido como silicio sobre aislador). Los haces de los accionadores 802, 804, 806 y 808 están estructurados en dimensiones de aproximadamente de 0,2 a aproximadamente 20 micrómetros de anchura. El grosor del obturador oscila típicamente entre 0,5 micrómetros y 10 micrómetros. Para promover el desplazamiento en el plano de los obturadores (esto es, reducir la rigidez transversal de los haces por oposición a la rigidez fuera del plano) es preferente mantener una

relación dimensional de los haces de aproximadamente al menos 1,4: 1, siendo los haces más gruesos que su anchura.

Unas vías metálicas o de semiconductor 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 1112 conductora de columna con las características dispuestas sobre la capa 1114 del obturador. En concreto, las vías 1116 acoplan eléctricamente el electrodo 1104 de fila a los anclajes 814 de carga del conjunto 800 obturador, manteniendo el miembro 810 de carga elástico de los accionadores 802, 804 de apertura del obturador y los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador así como el obturador 812 en el potencial conductor de fila. Vías adicionales acoplan eléctricamente el electrodo 1106 de apertura del obturador con los haces 820 de excitación de los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador por medio del anclaje 822 de excitación compartido por los accionadores 802 y 804 de apertura del obturador. Otras vías aún eléctricamente acoplan el electrodo 1108 de cierre del obturador con los haces 820 de excitación de los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador a través del anclaje 822 de excitación compartidos por los accionadores 806 y 808 de cierre del obturador.

La capa 1114 del obturador está separada de la capa 1112 de conductor de columna por un lubricante, vacío o aire, proporcionando una libertad de movimientos al obturador 812. Las piezas móviles dispuestas en la capa 1114 del obturador están mecánicamente separadas de los componentes vecinos (excepto los puntos 814 de anclaje) en una etapa de liberación, que puede ser un mordentado químico o un proceso de calcinación, que elimine un material de sacrificio de entre todas las partes móviles.

Los diodos, transistores y / o los condensadores (no mostrados por razones de claridad) empleados en la formación de matrices activas pueden ser estructurados en la estructura existente de las tres capas funcionales, o pueden incorporarse en capas separadas que estén dispuestas ya sea entre el conjunto obturador y el sustrato o bien sobre la parte superior de la capa del obturador. Las secciones 1105 de superficie reflectantes pueden ser estructuradas como extensiones de los electrodos de conductor de fila y columna o pueden ser estructuradas como secciones independientes o flotantes eléctricamente del material reflectante. Como alternativa, las secciones 1105 de superficie reflectantes junto con sus aberturas 1110 de superficie asociadas pueden ser estructuradas en una cuarta capa funcional, dispuesta entre el conjunto obturador y el sustrato, y formadas a partir de o bien una capa de metal depositado o un espejo dieléctrico. Pueden añadirse por separado unos conductores de puesta a tierra a partir de los electrodos de conductor de fila en la capa 1104. Estos conductores separados de puesta a tierra se pueden necesitar cuando las filas sean activadas por medio de transistores como es el caso de una formación de matrices activas. Los conductores de puesta a tierra pueden ser o bien situados en paralelo con los electrodos de fila (y conectados entre sí en los circuitos de excitación) o los electrodos de puesta a tierra pueden ser situados en capas separadas entre el conjunto obturador y el sustrato.

Además de los moduladores de luz elásticos, el aparato de visualización puede incluir unos moduladores de luz biestables, por ejemplo conjuntos obturadores biestables. Según lo descrito con anterioridad, un obturador de un conjunto obturador elástico presenta una posición mecánicamente estable (la "posición de reposo"), siendo todas las demás posiciones del obturador mecánicamente inestables. El obturador de un conjunto obturador biestable, por otro lado, presenta dos posiciones mecánicamente estables, por ejemplo, abierta y cerrada. Los conjuntos obturadores mecánicamente estables tiene la ventaja de que no se requiere ninguna tensión para mantener los obturadores ya sea en las posiciones abierta o cerrada. Los conjuntos obturadores biestables pueden subdividirse en dos clases: conjuntos obturadores en los cuales cada posición estable sea sustancialmente igual desde el punto de vista energético, y conjuntos obturadores en los cuales una posición estable sea preferencial desde el punto de vista energético respecto de otra posición mecánicamente estable.

La Figura 10 es una vista desde arriba de una capa 1300 de obturador de un conjunto obturador biestable. La capa 1300 de obturador incluye un obturador 1302 excitado por dos accionadores 1304 y 1306 de electrodos elásticos dobles. El obturador 1302 incluye tres aberturas 1308 ranuradas del obturador. Un accionador 1304 de electrodo elástico doble sirve como accionador de apertura del obturador. El otro accionador 1306 de electrodo elástico doble sirve como accionador de cierre del obturador.

Cada accionador 1304 y 1306 de electrodo elástico doble incluye un miembro 1310 elástico que conecta el obturador 1302 en aproximadamente su eje geométrico 1312 lineal con dos anclajes 1314 de carga, situados en las esquinas de la capa 1300 de obturador. Los miembros 1310 elásticos incluyen cada uno un haz 1316 conductor de carga, el cual puede incorporar un aislador dispuesto sobre parte o sobre la totalidad de su superficie. Los haces 1316 de carga sirven como soportes mecánicos, que soportan físicamente el obturador 1302 como un sustrato sobre el cual se construye el conjunto obturador. Los accionadores 1304 y 1306 incluyen también cada uno dos haces 1318 de excitación elásticos que se extienden desde un anclaje 1320 de excitación compartido. Cada anclaje 1320 de excitación compartido conecta física y eléctricamente los haces 1318 de excitación al sustrato. Los haces 1318 de los accionadores 1304 y 1306 se incurvan separándose de sus correspondientes anclajes 1320 de excitación hacia los puntos dispuestos sobre los anclajes 1314 de carga en los cuales los haces 1316 de carga se acoplan con los anclajes 1314 de carga. Estas curvas de los haces 1318 de excitación actúan para reducir la rigidez de los haces de excitación, ayudando de esta manera a reducir la tensión de accionamiento.

Cada haz 1316 de carga está genéricamente curvado, por ejemplo adoptando una forma en arco (o sinusoidal). La extensión del arco se determina por la distancia relativa entre los anclajes 1314 de carga y la longitud del haz 1316 de carga. Las curvaturas de los haces 1316 de carga proporcionan la estabilidad del conjunto 1300 obturador. Cuando el haz 1316 de carga es elástico, el haz 1316 de carga puede o bien arquearse hacia o separarse del anclaje 1320 de excitación. La dirección del arco cambia dependiendo de la posición en la que esté el obturador 1302. Como se muestra, el obturador 1302 está en la posición cerrada. El haz 1316 de carga del accionador 1304 de apertura del obturador se arquea separándose del anclaje 1320 de excitación del accionador 1304 de apertura del obturador. El haz 1316 de carga del accionador 1306 de cierre del obturador se arquea hacia el anclaje 1320 de excitación del accionador 1306 de cierre del obturador.

En funcionamiento, para cambiar los estados, por ejemplo de cerrado a abierto, un aparato de visualización aplica un potencial a los haces 1318 de excitación del accionador 1304 de apertura del obturador. El aparato de visualización puede también aplicar un potencial a los haces 1316 de carga del accionador de apertura del obturador. Cualquier diferencia de potencial eléctrico entre los haces de excitación y los haces de carga, con independencia del signo con respecto a un potencial de tierra, generará una fuerza entre los haces. La tensión resultante entre los haces 1318 de excitación y los haces 1316 de carga del accionador 1304 de apertura del obturador se traduce en una fuerza electrostática, que arrastra los haces 1316 y 1318 entre sí. Si la tensión es lo suficientemente intensa, el haz 1316 de carga se deforma hasta que su curvatura se invierta sustancialmente, como se muestra en el accionador de cierre del obturador de la Figura 10.

En la Figura 10, la longitud del miembro elástico es mayor que la distancia en línea recta entre el anclaje y el punto de fijación dispuesto en el obturador. Contenido por los puntos de anclaje, el haz de carga encuentra una forma estable mediante la adopción de una forma curvada, cuyas dos formas constituyen las configuraciones de mínimos locales de la energía potencial. Otras configuraciones del haz de carga implican deformaciones con energía de deformación adicional.

Para haces de carga fabricados en silicio, las anchuras diseñadas típicas son aproximadamente de 0,2 μm y aproximadamente 10 μm . Las longitudes diseñadas de manera típica son de aproximadamente de 20 μm a aproximadamente 1000 μm . Los grosores de los haces típicamente diseñados oscilan aproximadamente entre 0,2 μm y aproximadamente 10 μm . La cantidad hasta la cual el haz de carga es predoblado es típicamente mayor que tres veces la anchura típicamente diseñada.

Los haces de carga de la Figura 10 pueden ser diseñados de forma que una de las dos posiciones curvadas esté próxima a un mínimo global, esto es, posea la energía o el estado relajado más bajo, típicamente un estado de energía próximo a cero almacenada como una deformación o esfuerzo en el haz. Dicha configuración de diseño puede designarse como "predoblada", lo que significa, entre otras cosas, que la forma del miembro elástico está estructurada formando la máscara de forma que se requiera poca o ninguna deformación después de la liberación del conjunto obturador respecto del sustrato. La forma adaptada a diseño y curvada del miembro elástico es próxima a su estado estable o relajado. Dicho estado relajado afecta a una de las dos posiciones del obturador, ya sea la posición abierta o la cerrada. Al cambiar el conjunto obturador al otro estado estable (que se puede designar como estado metaestable) alguna energía de deformación quedará almacenada en la deformación del haz; los dos estados, por tanto, tendrán unas energías de potencial desiguales; y se requerirá menos energía eléctrica para desplazar el haz desde los estados metaestables a los estables en comparación con el movimiento del estado estable al estado metaestable.

Otra configuración de diseño de la Figura 10, sin embargo, puede ser descrita como un diseño pretensionado. El diseño pretensionado proporciona dos estados estables con energías de potencial equivalentes. Esto se puede conseguir, por ejemplo, estructurando el miembro elástico de forma que, tras la liberación del conjunto obturador se deforme sustancial y espontáneamente en su forma estable (esto es, el estado inicial está diseñado para ser inestable). De modo preferente, las dos formas estables son similares de manera que la energía de deformación o alargamiento almacenada en el miembro elástico de cada uno de esos estados estables será similar. El trabajo requerido entre las posiciones abierta y cerrada del obturador para un diseño pretensionado será similar.

El estado pretensionado del conjunto obturador puede conseguirse por varios medios. Este estado puede venir impuesto después de la fabricación mediante, por ejemplo, el embalaje mecánico del sustrato para inducir la curvatura del sustrato y por tanto la deformación de la superficie del sistema. Una situación de pretensionado puede también imponerse como un esfuerzo sobre una película delgada impuesto por las capas de superficie situadas sobre o alrededor de los haces de carga. Estos esfuerzos de película delgada se derivan de las condiciones específicas de los procesos de deposición. Los parámetros de deposición que pueden conferir un esfuerzo de película delgada incluyen una composición de material de película delgada, una tasa de deposición, y una tasa de bombardeo iónico durante el proceso de deposición.

En la Figura 10, el haz de carga está curvado en sus estados localmente estables y el haz de carga está también curvado en todos los puntos de deformación entre los estados estables. El miembro elástico puede estar compuesto, sin embargo, por cualquier pluralidad de secciones rectas o rígidas de haces de carga según se describirá en las figuras posteriores. En la Figura 18, así mismo, se mostrará el diseño de un conjunto de obturador biestable en el cual ninguna de las dos posiciones estables equivalentes posea, requiera o acumule ninguna energía de

deformación o alargamiento significativa. El esfuerzo es almacenado en el sistema de manera temporal cuando es desplazado entre los estados estables.

La Figura 11 es una vista desde arriba de la capa 1400 de obturador de un segundo conjunto obturador biestable. Según lo descrito con anterioridad en relación con 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 1400 de obturador es similar a la de la capa 1300 de obturador, distinta a la que la capa 1400 de obturador incluye una característica de reducción en el plano, la cual promueve un desplazamiento en el plano, y un promovedor de deformación que promueve una transición adecuada entre estados. Como en el caso de la capa 1300 de obturador de la Figura 10, la capa 1400 de obturador de la Figura 11 incluye unos haces 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 una cierta elasticidad axial a los haces 1402 de carga, los anclajes 1404 de carga se acoplan a los haces 1402 de carga por medio de unos muelles 1408. Los muelles 1408 pueden estar formados a partir de unos pliegues, unas piezas de sujeción en L, o unas porciones curvadas de los haces 1402 de carga.

Así mismo, las anchuras de los haces 1402 de carga varían a lo largo de sus extensiones. En particular, los haces son más estrechos a lo largo de las secciones en las que coinciden con los anclajes 1404 de carga y el obturador 1406. Los puntos a lo largo de los haces 1402 de carga en los cuales los haces 1402 de carga se hacen más anchos sirven como puntos 1410 de pivote para confinar la deformación de los haces 1402 de carga a las secciones 1410 más estrechas.

La Figura 12 es una vista desde arriba de una capa 1500 obturadora de un conjunto obturador triestable que incorpora unos accionadores dobles de electrodos elásticos. La capa 1500 obturadora incluye un accionador 1502 de apertura del obturador y un accionador 1504 de cierre del obturador. Cada accionador 1502 y 1504 incluye dos haces 1506 de excitación elásticos física y eléctricamente acoplados a un sustrato de un aparato de visualización mediante un anclaje 1508 de excitación.

El accionador 1502 de apertura del obturador, por sí mismo, es un accionador elástico, que presenta un estado mecánicamente estable. A menos que se vea constreñido por otro motivo, el accionador 1502 de apertura del obturador, después de su accionamiento retornaría a su estado de reposo. El accionador 1502 de apertura del obturador incluye dos haces 1510 de carga acoplados a los anclajes 1512 de carga mediante las piezas de sujeción 1514 en L en un extremo y al obturador 1516 a través de las piezas de sujeción 1518 en L, en el otro extremo. En el estado de reposo del accionador 1502 de apertura del obturador, los haces 1510 de carga son rectos. Las piezas de sujeción 1514 y 1518 en L permiten que los haces 1510 de carga se deformen hacia los haces 1506 de excitación del accionador 1502 de apertura del obturador tras el accionamiento del accionador 1502 de apertura del obturador y lejos de los brazos 1506 de excitación tras el accionamiento del accionador 1504 de cierre del obturador.

El accionador 1504 de cierre del obturador es, de manera similar, inherentemente elástico. El accionador 1504 de cierre del obturador incluye un solo haz 1520 de carga acoplado a un anclaje 1522 de carga en un extremo. Cuando no está sometido a esfuerzo, esto es, en su estado de reposo, el haz 1520 de carga es recto. En el extremo opuesto del haz 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador, el haz 1520 de carga está acoplado a un estabilizador 1524 formado a partir de dos haces 1526 elásticos curvados conectados en sus extremos y en el centro de sus longitudes. Los haces 1526 del estabilizador 1524 presentan dos posiciones mecánicamente estables: arqueada lejos del accionador 1504 de cierre del obturador (como se muestra) y arqueada hacia el accionador 1504 de cierre del obturador.

En funcionamiento, si cualquier accionador entre el accionador 1502 de apertura del obturador o el accionador 1504 de cierre del obturador son activados, el haz 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador se deforma para arquearse hacia el accionador 1504 de apertura del obturador o hacia los haces 1508 de excitación del accionador 1504 de cierre del obturador, respectivamente, cuando el obturador 1516 es desplazado hasta una posición accionada. En cualquier caso, el haz 1520 de carga del accionador 1504 de cierre del obturador con respecto a la anchura de la capa 1500 del obturador, como conjunto, se reduce, traccionando los haces 1526 del estabilizador 1524 para arquearse hacia el accionador 1504 de cierre del obturador. Después de que el accionador activado es desactivado, la energía necesaria para deformar los haces 1526 del estabilizador 1524 de nuevo a su posición original, es mayor que la energía almacenada en los haces 1510 y 1520 de carga y de los accionadores 1502 y 1504. Se puede añadir una energía adicional al sistema para hacer retornar al obturador 1516 a su posición de reposo. De esta manera, el obturador 1516 del conjunto obturador presenta tres posiciones mecánicamente estables, abierta, medio abierta y cerrada.

Las Figuras 13A - C son diagramas de otra realización de un conjunto 1600 obturador biestable, que ilustra el estado del conjunto 1600 obturador durante un cambio en la posición del obturador 1602. El conjunto 1600 obturador incluye un obturador 1602 físicamente soportado por un par de haces 1604 de soporte elásticos. Los haces de soporte se acoplan a los anclajes 1603 así como al obturador 1602 por medio de unas juntas 1605 rotatorias. Estas juntas pueden considerarse compuestas por juntas de pasadores, pliegues o finos haces de conector. En el caso de que no se aplique un esfuerzo sobre los haces 1604 de soporte, los haces 1604 de soporte son sustancialmente rectos.

La Figura 13A muestra el obturador 1602 en posición abierta, la Figura 13B muestra el obturador 1602 en la mitad de una transición hacia la posición cerrada, y la Figura 13C muestra el obturador 1602 en una posición abierta. El conjunto 1600 obturador se basa en una excitación de peine electrostática para su accionamiento. La excitación de peine está compuesta por un electrodo 1608 abierto rígido y un electrodo 1610 cerrado rígido. El obturador 1602 adopta también una forma de peine que es complementaria con la forma de los electrodos abierto y cerrado. Las excitaciones de peine, como por ejemplo las mostradas en la Figura 16, son capaces de actuar a través de distancias traslaciones razonablemente largas, pero a costa de una fuerza de accionamiento reducida. Los campos eléctricos primarios entre los electrodos en una excitación de peine están alineados genéricamente en perpendicular a la dirección de desplazamiento, por tanto la fuerza de accionamiento generalmente no se produce a lo largo de las líneas de la presión eléctrica más acusada experimentada por las superficies interiores de la excitación de peine.

A diferencia de los conjuntos obturadores biestables descritos con anterioridad, en lugar de basarse en una curvatura específica de uno o más haces para obtener una estabilidad mecánica, el obturador 1600 biestable se basa en el estado relajado recto de sus haces 1604 de soporte para obtener una estabilidad mecánica. Por ejemplo, en sus dos posiciones mecánicamente estables, mostradas en las Figuras 16A y 16C, los haces 1604 de soporte elásticos son sustancialmente rectos en un ángulo con respecto al eje geométrico 1606 lineal del conjunto 1600 obturador. Como se muestra en la Figura 16B, en la cual el obturador 1602 está en transición desde una posición mecánicamente estable a la otra, los haces 1604 de soporte físicamente se deforman o alabean para adaptarse al desplazamiento. La fuerza requerida para modificar la posición del obturador 1602 debe, por tanto, ser suficiente para superar el esfuerzo resultante aplicado sobre los haces 1604 de soporte elástico. Una diferencia de energía entre los estados abierto y cerrado del conjunto 1600 obturador se representa mediante una pequeña cantidad de energía elástica en las juntas 1605 rotatorias.

El obturador 1602 está acoplado a dos posiciones a uno y otro lado del obturador 1602 a través de los haces 1604 de soporte hasta los anclajes 1603 en posiciones a ambos lados del conjunto 1600 obturador, reduciendo así cualquier torsión o movimiento rotacional del obturador 1602 alrededor de su eje geométrico central. El uso de haces 1604 de soporte elásticos conectados para separar los anclajes a los lados opuestos del obturador 1602 constriñe también el desplazamiento del obturador a lo largo de un eje geométrico de traslación lineal. En otra realización, un par de haces 1604 de soporte elásticos sustancialmente paralelos pueden ser acoplados a cada lado del obturador 1602. Cada uno de los cuatro haces de soporte se acopla en puntos independientes y opuestos sobre el obturador 1602. Este enfoque en paralelogramo para soportar el obturador 1602 ayuda a garantizar que sea posible el movimiento de traslación lineal.

La Figura 17A muestra un conjunto 1700 obturador biestable, en el que los haces 1702 incorporados en el conjunto 1700 obturador son sustancialmente rígidos y no elásticos, tanto en las posiciones 17A-1 y 17A-3 estables del conjunto obturador como en una posición 17A-2 transicional. El conjunto 1700 obturador incluye un obturador 1704 excitado por un par de accionadores 1706 dobles de electrodos de haces elásticos. Dos miembros 1710 elásticos soportan el obturador 1704 sobre una superficie 1712. Los miembros 1710 se acoplan a los lados opuestos del obturador 1704. Los otros extremos de los miembros 1710 elásticos se acoplan a los anclajes 1714, conectando los miembros 1710 elásticos a la superficie 1712. Cada miembro 1710 elástico incluye dos haces 1716 sustancialmente rígidos acoplados a un pliegue o a otro elemento 1718 elástico, como por ejemplo un muelle o un brazo en voladizo. Aun cuando los haces 1716 de los miembros elásticos son rígidos, la incorporación del elemento 1718 elástico permite que el miembro 1710 elástico, como conjunto, cambie su forma a una forma elástica para adoptar dos formas mecánicamente estables. El elemento elástico se deja relajar hasta su estado de reposo ya sea en las posiciones cerrada o abierta del conjunto obturador (véanse las Figs. 14A-1 y 14A-3) para que ambos estados terminales posean energías potenciales sustancialmente idénticas. No se requiere ninguna incurvación de los haces o esfuerzo de los haces para establecer la estabilidad de los dos estados terminales, aunque la energía de deformación esté almacenada en el elemento 1718 elástico durante la transición entre estados (véase la Fig. 14A-2).

La forma del elemento 1718 elástico es tal que se hace posible una traslación en el plano relativamente fácil del obturador 1704 mientras que se restringe un movimiento fuera del plano del obturador.

El accionamiento del conjunto 1700 obturador biestable se lleva a cabo mediante un par de accionadores 1706 de haz doble de electrodos elásticos, similares a los accionadores empleados en la Figura 12. En el conjunto 1700 obturador los accionadores 1706 están físicamente separados y diferenciados respecto de los miembros 1710 elásticos. Los miembros 1710 elásticos proporcionan un soporte relativamente fijo al obturador 1704 proporcionando al tiempo la biestabilidad requerida para sostener los estados abierto y cerrado. Los accionadores 1706 proporcionan la fuerza de excitación necesaria para conmutar el obturador entre los estados abierto y cerrado.

Cada accionador 1706 comprende un miembro 1720 de carga elástico. Un extremo del miembro 1720 de carga elástico está acoplado al obturador 1704, mientras que el otro extremo queda libre. En el conjunto 1700 obturador los miembros de carga elásticos de los accionadores 1706a no están acoplados a los anclajes o de cualquier otra forma conectados a la superficie 1712. Los haces 1722 de excitación de los accionadores 1706 están acoplados a los anclajes 1724 y por tanto conectados a la superficie 1712. De esta manera, la tensión de accionamiento se reduce.

La Figura 17B es un diagrama de un conjunto 1700b obturador biestable en el que el obturador 1702b está diseñado para rotar tras su accionamiento. El obturador 1702b es soportado en cuatro puntos a lo largo de su periferia por 4 haces 1704b de soporte elásticos que están acoplados a cuatro anclajes 1706b. Como en la Figura 16, los haces 1704b de soporte elásticos son sustancialmente rectos en su estado de reposo. Tras la rotación del obturador 1702b los miembros elásticos se deformarán a medida que la distancia entre los anclajes y la periferia del obturador se reduzca. Hay dos estados estables de baja energía en los que los haces 1704b de soporte elásticos son sustancialmente rectos. El mecanismo obturador de la referencia numeral 1700b presenta la ventaja de que no hay ningún centro de movimiento de masa en el obturador 1702b.

El obturador 1702b del conjunto 1700 obturador presenta una pluralidad de aberturas 1708b del obturador, cada una de las cuales posee una forma segmentada diseñada para potenciar al máximo el movimiento rotacional del obturador. La Figura 18 es un diagrama de un conjunto 1800 obturador biestable que incorpora unos accionadores 1802 y 1804 termoelectrónicos. El conjunto 1800 obturador incluye un obturador 1806 con una serie de aberturas 1808 del obturador ranuradas. Los accionadores 1802 y 1804 termoelectrónicos se acoplan a uno y otro lado del obturador 1806 para desplazar el obturador 1806 en sentido transversal en un plano sustancialmente paralelo a una superficie 1808 a lo largo de la cual el obturador 1806 es soportado. El acoplamiento del obturador 1806 desde dos posiciones a uno y otro lado del obturador 1806 hasta los anclajes 1807 de carga en posiciones a ambos lados del conjunto 1800 obturador, ayuda a reducir cualquier torsión o movimiento rotacional del obturador 1806 alrededor de su eje geométrico central.

Cada accionador 1802 y 1804 termoelectrónico incluye tres haces 1810, 1812 y 1814 elásticos. Los haces 1810 y 1812 elásticos son cada uno más delgados que el haz 1814 elástico. Cada uno de los haces 1810, 1812 y 1814 está curvado adoptando la forma de una s, manteniendo el obturador 1806 en posición estable.

En funcionamiento, para modificar la posición del obturador de abierta (como se muestra) a cerrada, se hace pasar la corriente a través de un circuito que incluye los haces 1810 y 1814. Los haces 1810 más delgados de cada accionador 1802 y 1804 se calientan y, por tanto, se expanden también más rápido que el haz 1814 más grueso. Provocando las fuerzas de expansión de los haces 1810, 1812 y 1814 un movimiento transversal del obturador 1806 desde su curvatura mecánicamente estable hasta la posición cerrada. Para abrir el obturador 1806, una corriente es dirigida a través de un circuito que incluye los haces 1812 y 1814 provocando un calentamiento desproporcionado similar y provocando la expansión de los haces 1812 la retracción del obturador 1806 a la posición abierta.

La Figura 16 es una vista en sección transversal de un aparato 2100 de visualización que incorpora unos conjuntos 2102 de obturador dobles a base de accionadores de electrodos elásticos. Los conjuntos 2102 obturadores están dispuestos sobre un sustrato 2104 de vidrio. Una película 2106 reflectante dispuesta sobre el sustrato 2104 define una pluralidad de aberturas 2108 de superficie situadas por debajo de las posiciones cerradas de los obturadores 2110 de los conjuntos 2102 obturadores. La película 2106 reflectante retrorrefleja la luz que no pasa a través de las aberturas 2108 de superficie hacia la parte trasera del aparato 2100 de visualización. Un difusor 2112 opcional y una película 2114 de potenciación del brillo opcional pueden separar el sustrato 2104 de una luz trasera 2116. La luz trasera 2116 es iluminada por 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 fotoemisores. Una película 2120 reflectante está dispuesta por detrás de la luz trasera 2116, reflejando la luz hacia los conjuntos 2102 obturadores. Los rayos de luz procedente de la luz trasera que no pasan a través de uno de los conjuntos 2102 obturadores serán devueltos a la luz trasera y reflejados de nuevo desde la película 2120. De esta manera, la luz que no consigue abandonar la pantalla para formar una imagen sobre el primer paso puede ser reciclada y quedar dispuesta para su transmisión a través de otras aberturas abiertas de la formación de conjuntos 2102 obturadores. Dicho reciclaje de la luz se ha demostrado que incrementa la eficiencia de la iluminación de la pantalla. Una placa 2122 de cubierta forma la parte delantera del aparato 2100 de visualización. El lado trasero de la placa 2122 de cubierta puede estar cubierto con una matriz 2124 negra para incrementar el contraste. La placa 2122 de cubierta es soportada a una distancia predeterminada respecto de los conjuntos 2102 obturadores formando un espacio libre 2126. El espacio libre 2126 es mantenido por unos soportes mecánicos y / o por una junta 2128 de epoxi que fija la placa 2122 de cubierta al sustrato 2104. El epoxi 2128 debe incorporar una temperatura de curado preferente por debajo de aproximadamente 200° C, debe incorporar un coeficiente de expansión térmica preferente por debajo de aproximadamente 50 ppm por grado C y debe ser resistente a la humedad. Un epoxi 2128 ejemplar es el EPO-TEK B9021-1, comercializado por Epoxy Technology, Inc.

La junta 2128 de epoxi cierra herméticamente un fluido 2130 de trabajo. El fluido 2130 de trabajo es diseñado técnicamente con viscosidades, de modo preferente, por debajo de aproximadamente 10 centipoises y con un constante dieléctrico relativo de modo preferente por encima de aproximadamente 2,0, y unas resistencias de ruptura dieléctrica por encima de aproximadamente 10^4 V / cm. El fluido 2130 de trabajo puede también servir como lubricante. Sus propiedades mecánicas y eléctricas son también eficaces para reducir la tensión necesaria para desplazar el obturador entre las posiciones abierta y cerrada. En una realización, el fluido 2130 de trabajo presenta, de modo preferente, un índice de refracción bajo, de modo preferente es de aproximadamente 1,5. En otra realización, el fluido 2130 de trabajo presenta un índice de refracción que se corresponde con el del sustrato 2104. Los fluidos 2130 de trabajo apropiados incluyen, sin limitación, agua desionizada, metazol, metanol, aceites de silicona, aceites de silicona fluorados, dimetilsiloxano, polidimetilsiloxano, hexametildisiloxano y dietilbenceno.

Un conjunto de pieza de soporte 2132 de metal en láminas o de plástico moldeado sujeta la placa 2122 de cubierta, los conjuntos 2102 obturadores, el sustrato 2104, la luz trasera 2116 y entre sí las demás partes componentes alrededor de los bordes. El conjunto de pieza de soporte 2132 está fijado con tornillos o con lengüetas indentadas para añadir rigidez al aparato 2100 de visualización combinado. En algunas realizaciones, la fuente 2118 de luz está moldeada en posición mediante un compuesto inmerso en epoxi.

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

El conjunto 2200 de visualización incluye una luz trasera 2216, que es iluminada 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 fotoemisores. Una película 2220 reflectante está dispuesta por detrás de la luz trasera 2216, reflejando la luz hacia los conjuntos 2202 obturadores.

El sustrato 2204 está orientado para que los conjuntos 2202 obturadores encaren la luz trasera 2216.

Interpuestos entre la luz trasera 2216 y los conjuntos 2202 obturadores están un difusor 2212 opcional y una película 2214 opcional potenciadora del brillo. También interpuesta entre la luz trasera 2216 y los conjuntos 2202 obturadores se encuentra una placa 2222 de aberturas. Dispuesta sobre la placa 2222 de aberturas, y orientada hacia los conjuntos obturadores, se encuentra una película 2224 reflectante. La película 2224 reflectante define una pluralidad de aberturas 2208 de superficie situadas por debajo de las posiciones cerradas de los obturadores 2210 de los conjuntos 2202 obturadores. La placa 2222 de aberturas es soportada a una cierta distancia predeterminada respecto de los conjuntos 2202 obturadores formando un espacio libre 2226. El espacio libre 2226 es mantenido por unos soportes mecánicos y / o por una junta 2228 de epoxi que fija la placa 2222 de aberturas al sustrato 2204.

La película 2224 reflectante retrorrefleja la luz que no pasa a través de las aberturas 2208 de superficie hacia la parte trasera del conjunto 2200 de visualización. Los rayos de luz procedentes de la luz trasera que no pasan a través de uno de los conjuntos 2202 obturadores serán devueltos a la luz trasera y reflejados de nuevo desde la película 2220. De esta manera, la luz que no consigue abandonar la pantalla para forma una imagen sobre el primer paso puede ser reciclada y quedar disponible para su transmisión a través de otras aberturas abiertas de la formación de conjuntos 2202 obturadores. Dicho reciclaje de la luz se ha demostrado que incrementa la eficiencia de la iluminación de la pantalla.

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

El epoxi 2228 tiene que presentar una temperatura de curado, de modo preferente, por debajo de aproximadamente 200° C, debe presentar un coeficiente de expansión térmica de modo preferente por debajo de aproximadamente 50 ppm por grado C y debe ser resistente a la humedad. Un epoxi 2228 ejemplar es el EPO-TEK B9022-1, comercializado por Epoxy Technology, Inc.

La junta 2228 de epoxi cierra herméticamente un fluido 2232 de trabajo. El fluido 2232 de trabajo está diseñado técnicamente con viscosidades de modo preferente por debajo de aproximadamente 10 centipoises y con una constante dieléctrica relativa de modo preferente por encima de aproximadamente 2,0 y unas resistencias a la ruptura dieléctricas por encima de aproximadamente 10^4 V / cm. El fluido 2232 de trabajo puede también servir como lubricante. Sus propiedades mecánicas y eléctricas son también eficaces para reducir la tensión necesaria para desplazar el obturador entre las posiciones abierta y cerrada. En una realización, el fluido 2232 de trabajo de modo preferente presenta un índice de refracción bajo, de modo preferente inferior a aproximadamente 1,5. En otra realización, el fluido 2232 de trabajo presenta un índice de refracción que se corresponde con el del sustrato 2204. Los fluidos 2232 de trabajo apropiados incluyen, sin limitación, agua desionizada, metanol, etanol, aceites de silicona, aceites de silicona fluorados, dimetilsiloxano, polidimetilsiloxano, hexametildisiloxano y dietilbenceno.

Una pieza de soporte del conjunto de metal en láminas o de plástico moldeado mantiene unidos la placa 2222 de aberturas, los conjuntos 2202 obturadores, el sustrato 2204, la luz trasera 2216 y las demás partes componentes, alrededor de los bordes. La pieza de soporte 2234 del conjunto está fijada con tornillos o con lengüetas indentadas para añadir rigidez al conjunto 2200 de visualización combinado. En algunas realizaciones, la fuente 2218 de luz es moldeada en posición mediante un compuesto de inmersión en epoxi.

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato de visualización que presenta un lado frontal para emitir luz a través de dicho lado frontal para formar una imagen, comprendiendo dicho aparato:

5 un primer sustrato (2104, 2222) transparente que presenta una superficie orientada hacia delante y una superficie orientada hacia atrás;

un segundo sustrato (2122, 2204) transparente situado en posición adyacente a la superficie orientada hacia delante del primer sustrato;

una película (2106, 2224) reflectante que incluye una pluralidad de aberturas (2108, 2208) dispuestas sobre la superficie orientada hacia delante del primer sustrato (2104, 2222); y

10 una pluralidad de moduladores (2102, 2202) de luz MEMS dispuestos en un espacio libre (2126, 2226) entre dicha película (2106, 2204) reflectante y dicho segundo sustrato (2122, 2204) para modular la luz dirigida hacia la pluralidad de aberturas (2108, 2208) para formar una imagen.

15 2.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, que comprende una guía (2116, 2216) de luz situada en posición adyacente a la superficie orientada hacia atrás del primer sustrato (2104, 2222), en el que la película (2106, 2224) reflectante retrorrefleja la luz que no pasa a través de la pluralidad de aberturas (2108, 2208) incluidas en la película reflectante hacia la guía (2116, 2216) de luz.

3.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de moduladores (2102, 2224) de luz MEMS comprende unos moduladores de luz basados en un obturador.

20 4.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que los moduladores (2102) de luz MEMS están dispuestos sobre el primer sustrato (2104).

5.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que la película (2106, 2224) reflectante está formada a partir de uno de un espejo, un espejo dieléctrico, y una película metálica.

25 6.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que el primer sustrato (2104, 2222) está situado con respecto a una guía (2116, 2216) de luz para formar un espacio libre entre el primer sustrato (2104, 2222) y la guía (2116, 2216) de luz.

7.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de moduladores (2224) de luz MEMS está formada sobre el segundo sustrato (2204).

8.- El aparato de visualización de la reivindicación 7, en el que la pluralidad de moduladores (2224) de luz MEMS está formada sobre una superficie orientada hacia atrás del segundo sustrato (2204).

30 9.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que el primer sustrato (2104, 2222) comprende una guía de luz.

10.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, que comprende una junta (2128, 222) de epoxi para fijar los primer y segundo sustratos.

35 11.- El aparato de visualización de la reivindicación 1, en el que el primer sustrato está situado con respecto al segundo sustrato para formar el espacio libre (2126, 2226) entre el primer sustrato y el segundo sustrato, comprendiendo el aparato de visualización unos soportes mecánicos para mantener el espacio libre.

12.- El aparato de visualización de la reivindicación 11, que comprende un fluido (2130, 2232) que llena el espacio libre.

13.- El aparato de visualización de la reivindicación 12, en el que el fluido (2130, 2232) es un lubricante.

40

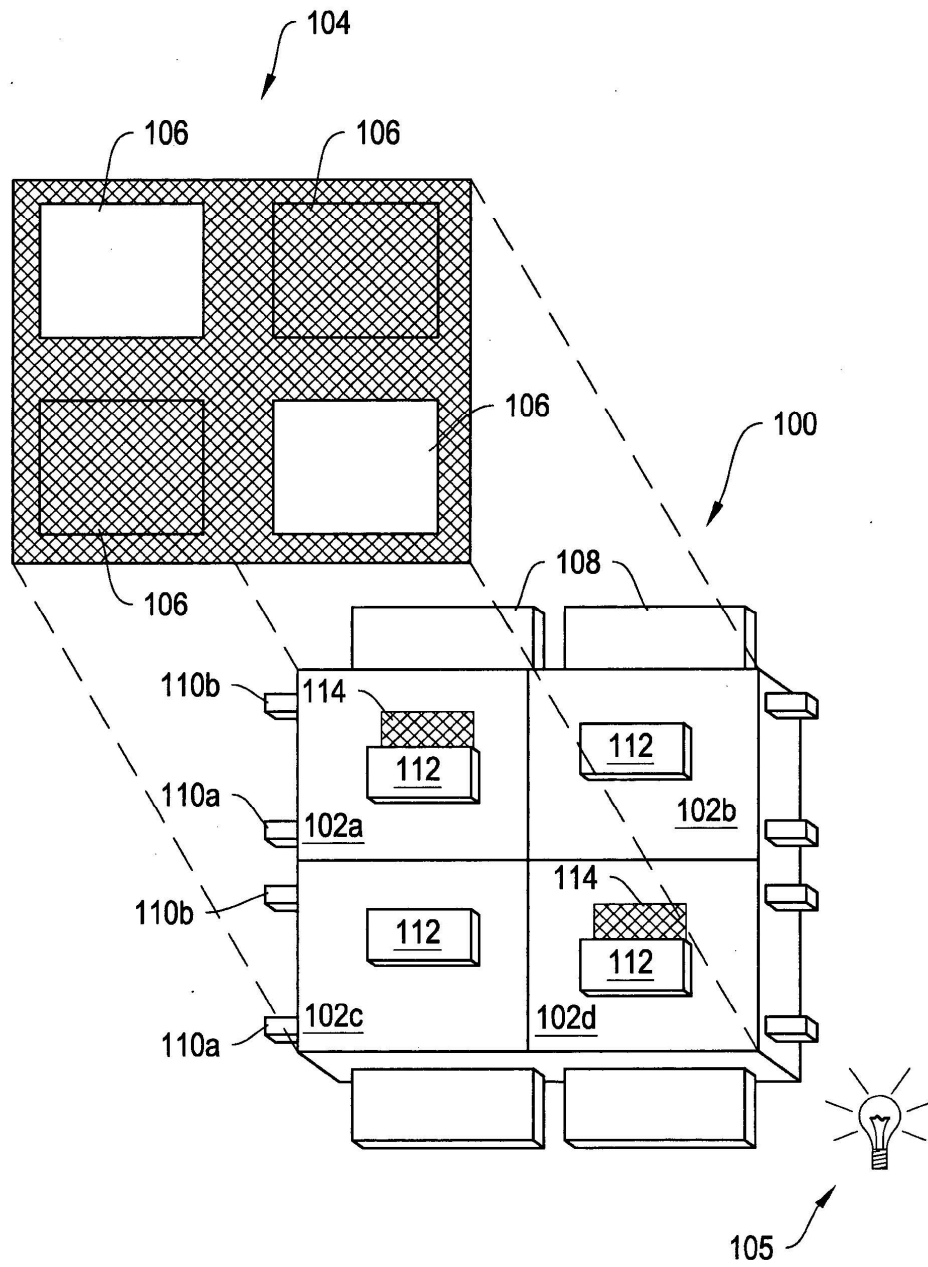


Figura 1

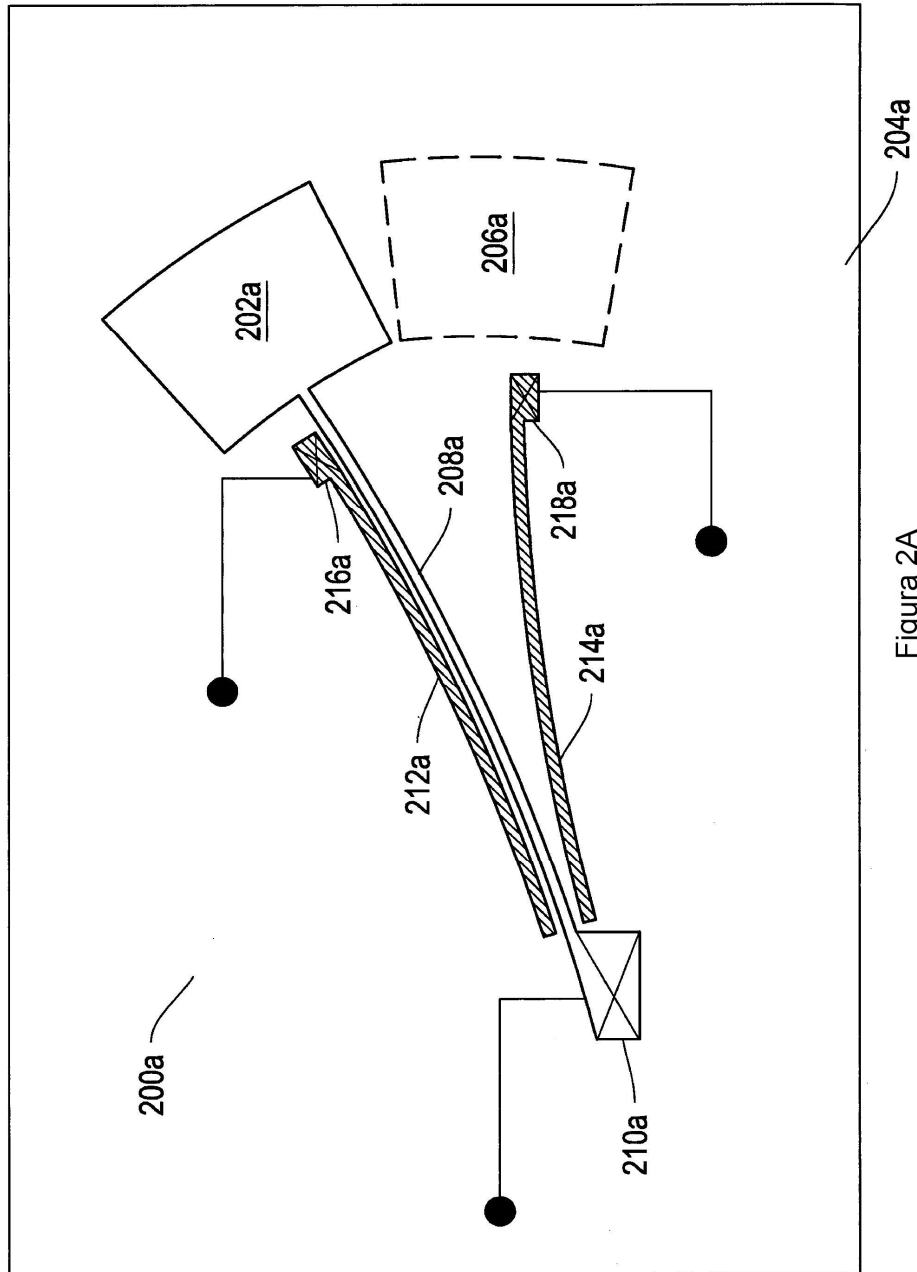


Figura 2A

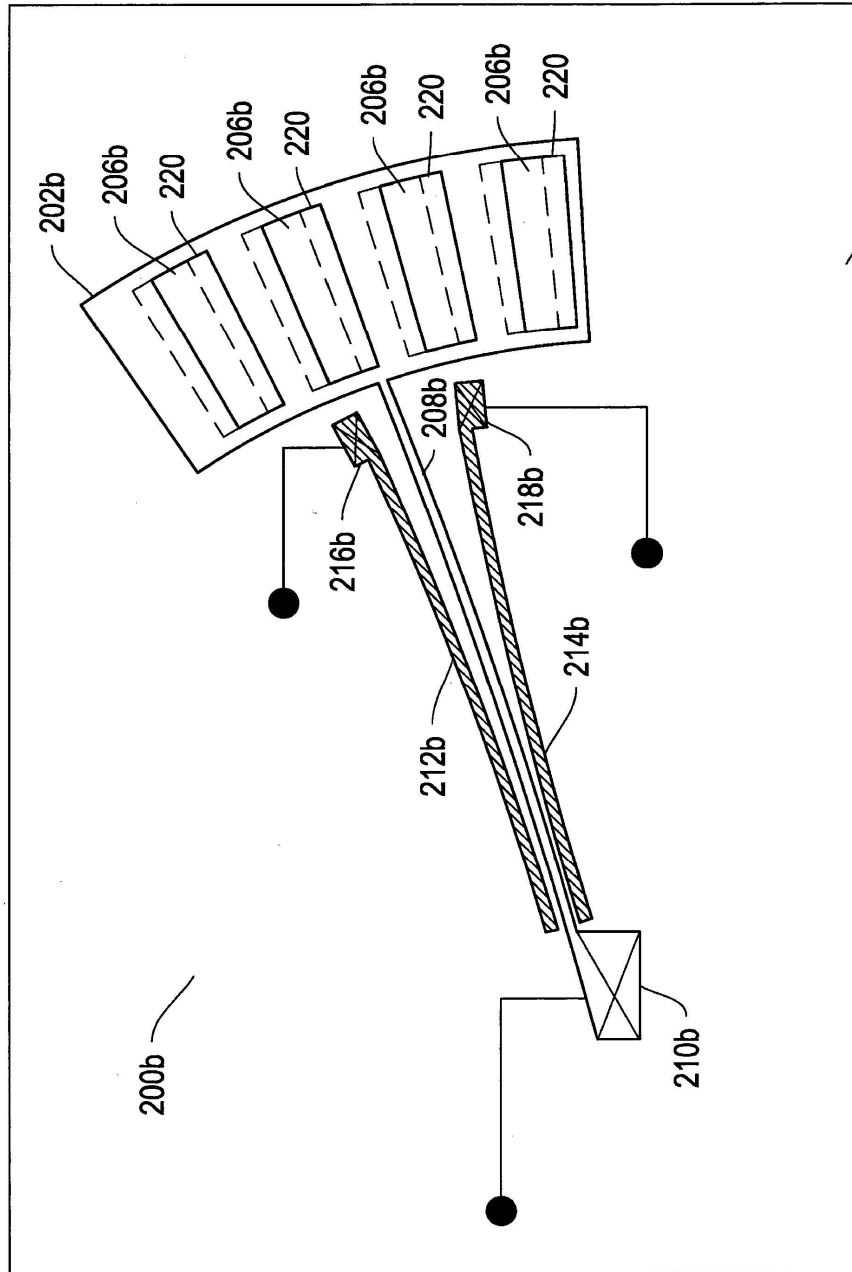


Figure 2B

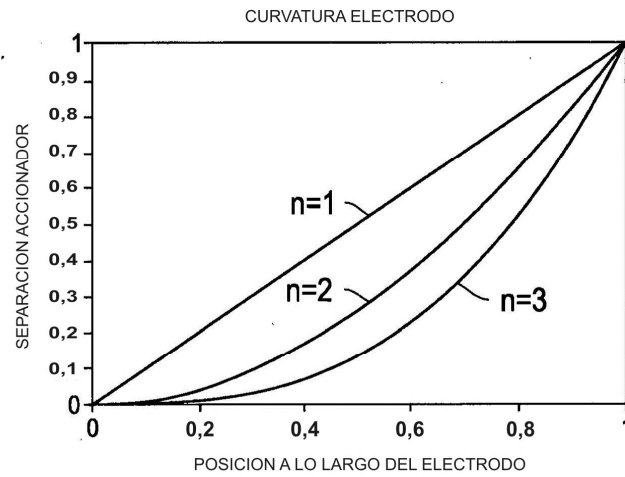


Figura 3A

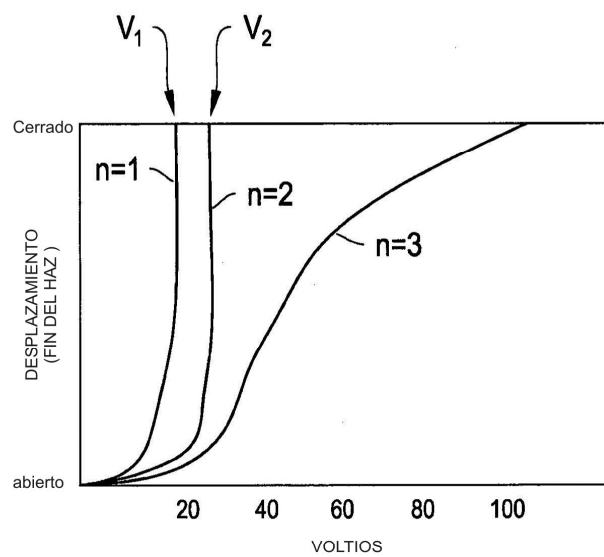
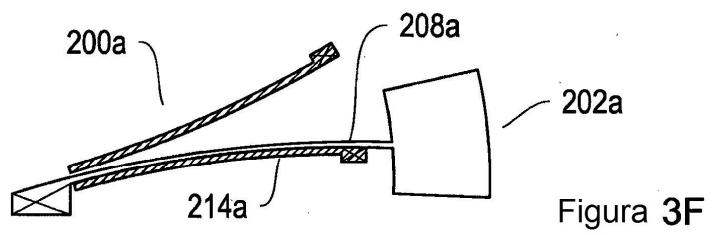
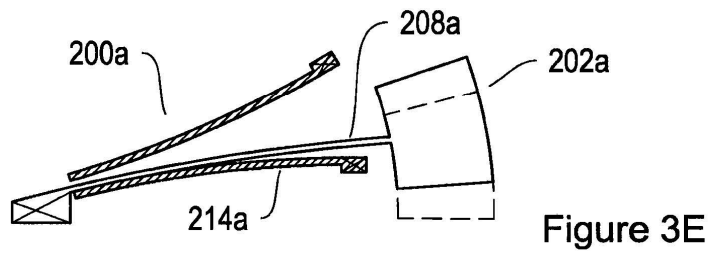
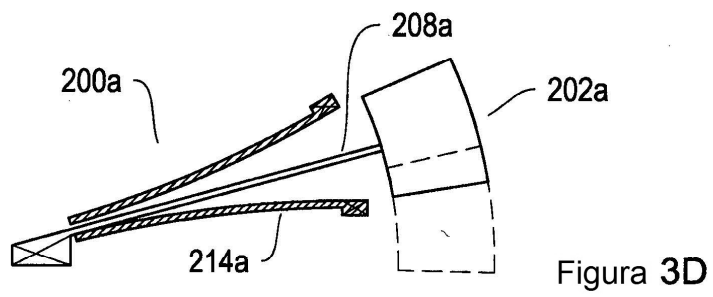
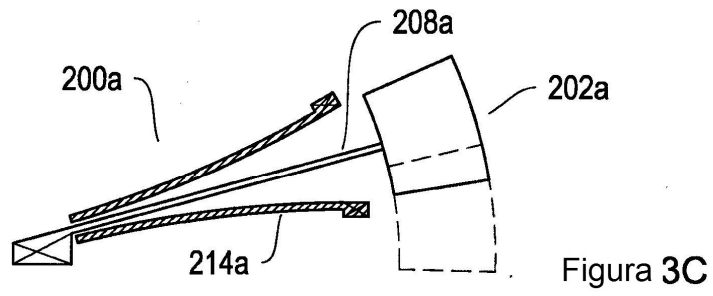


Figura 3B



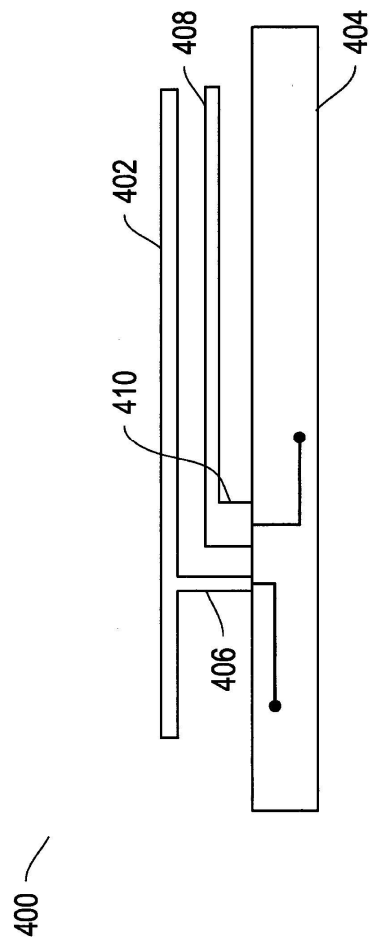


Figura 4A

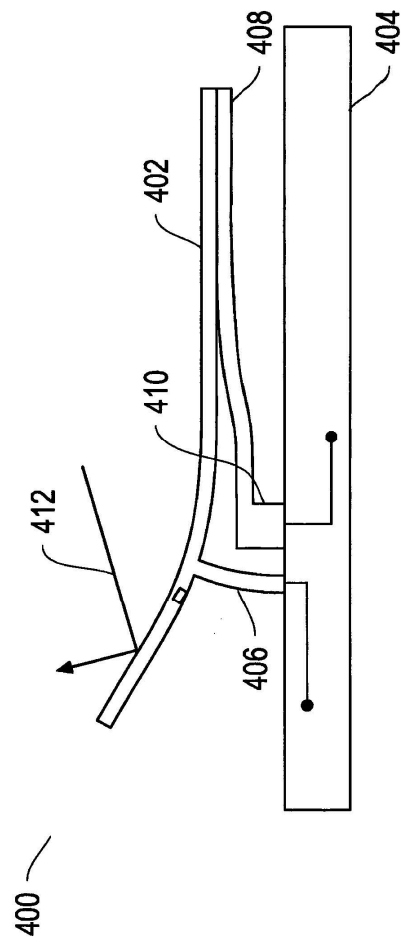


Figura 4B

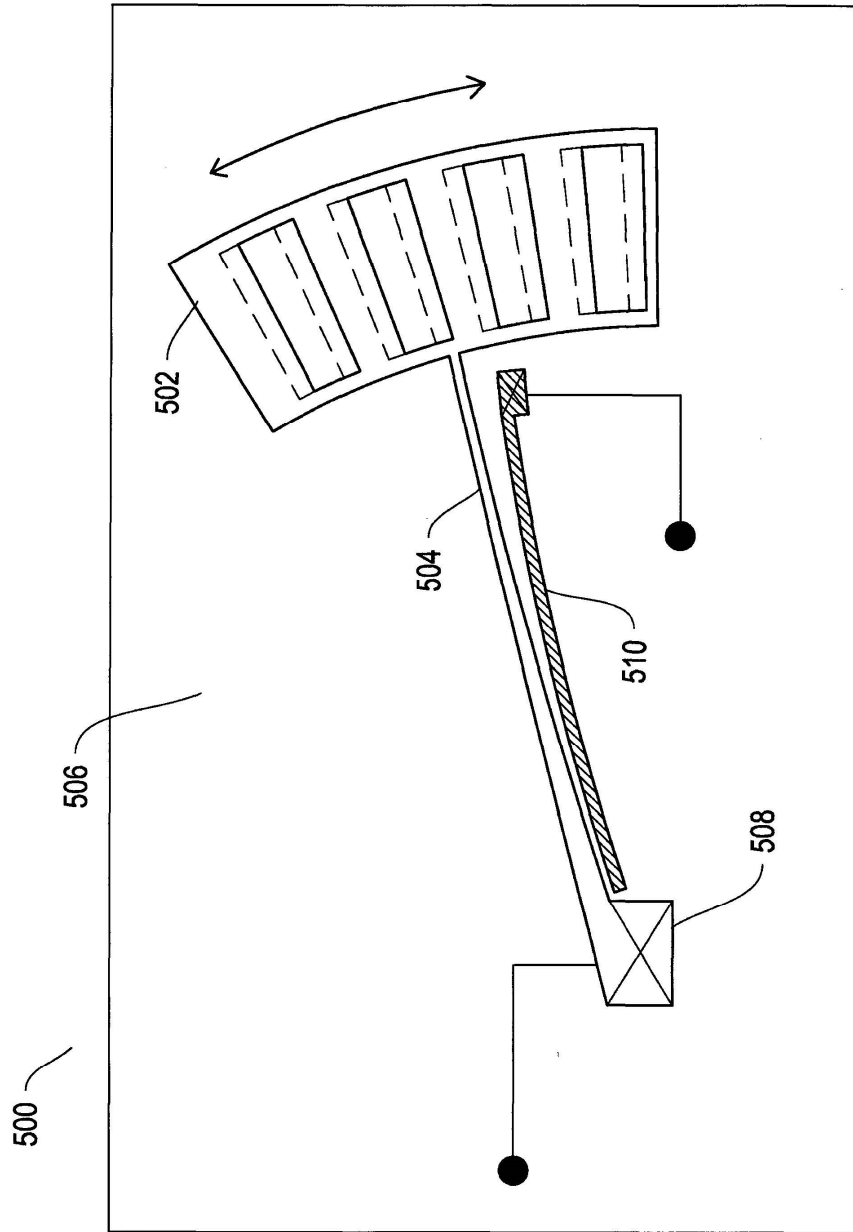


Figura 5

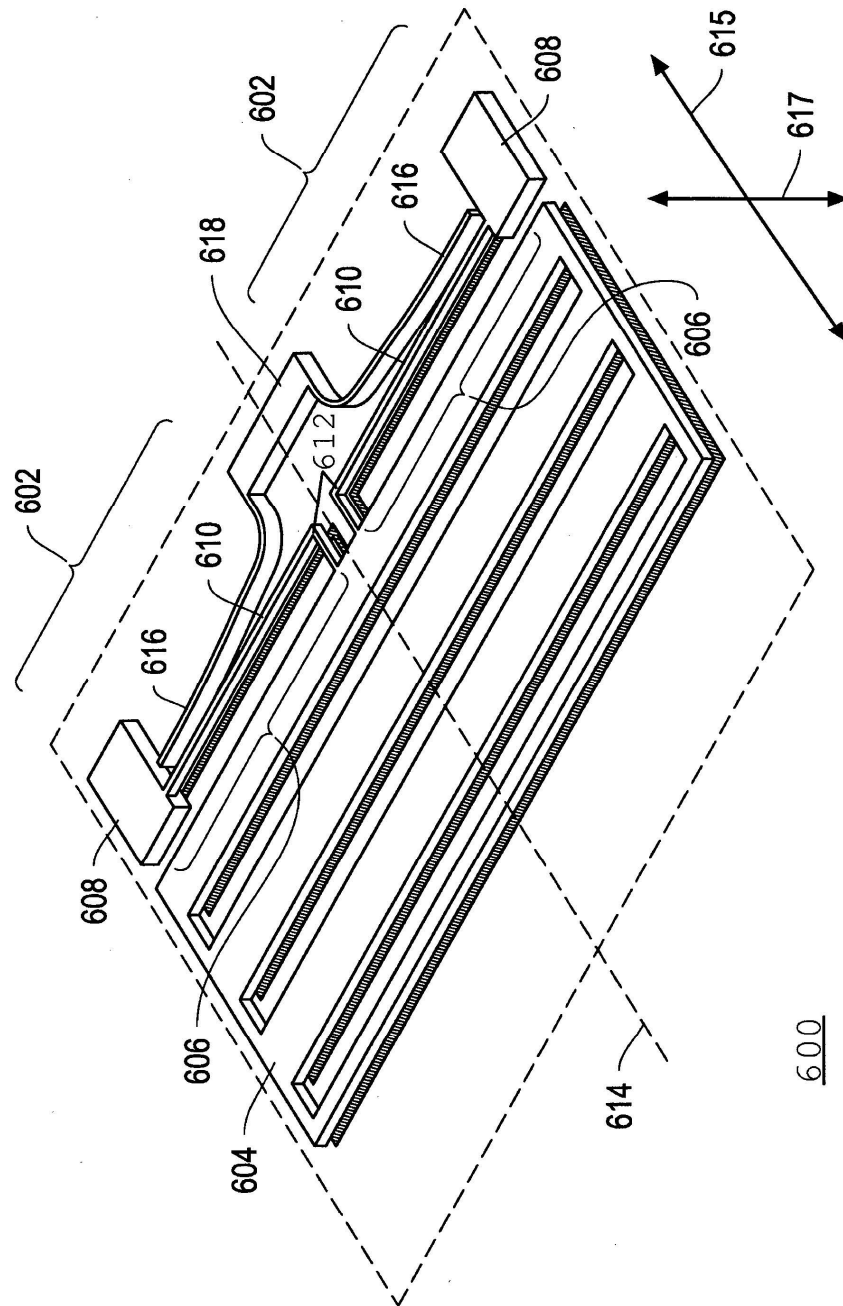


Figura 6

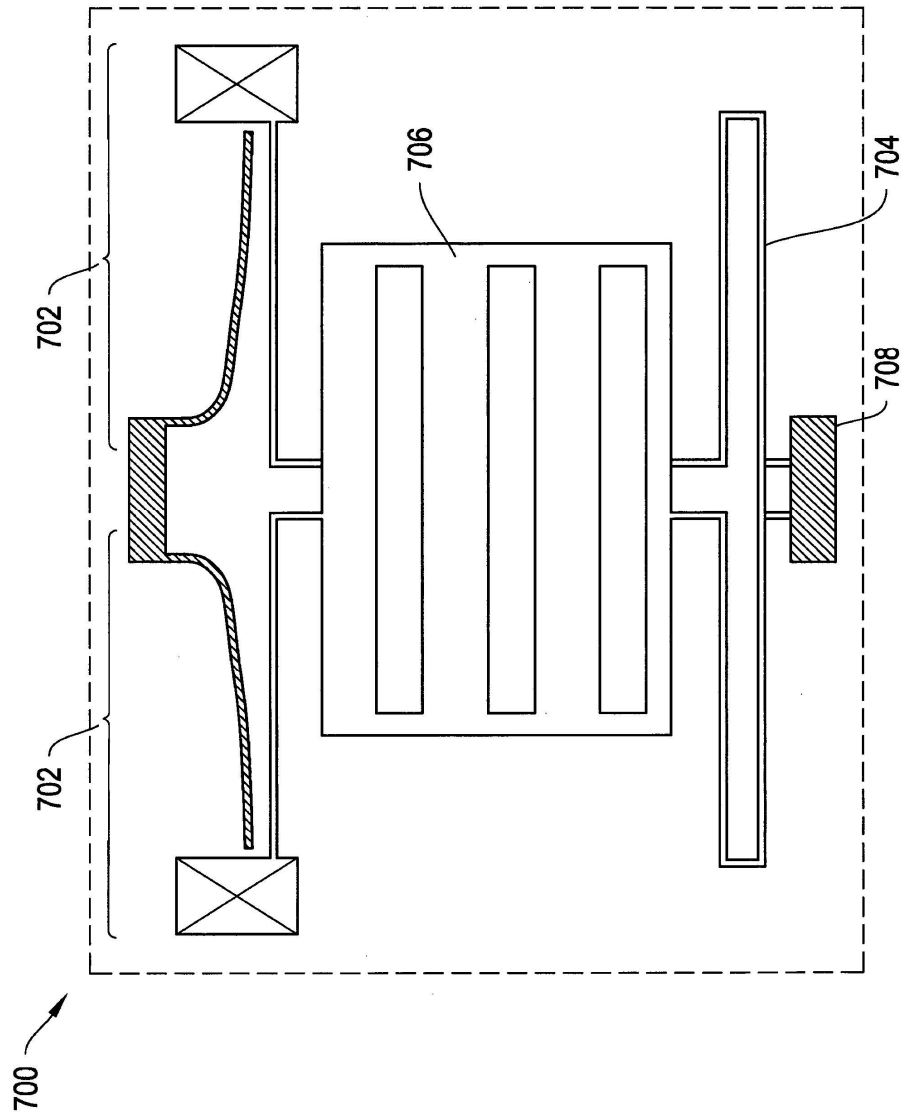
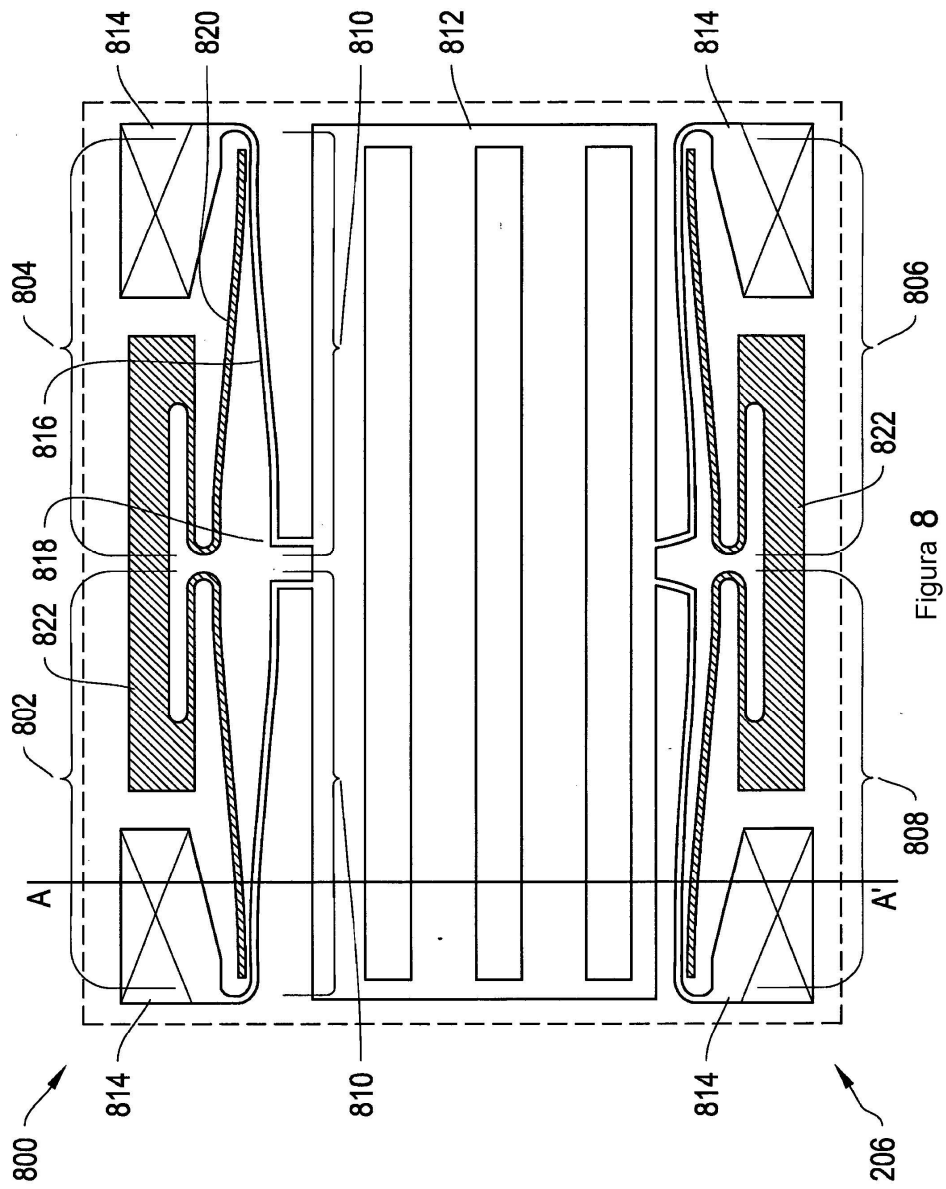


Figura 7



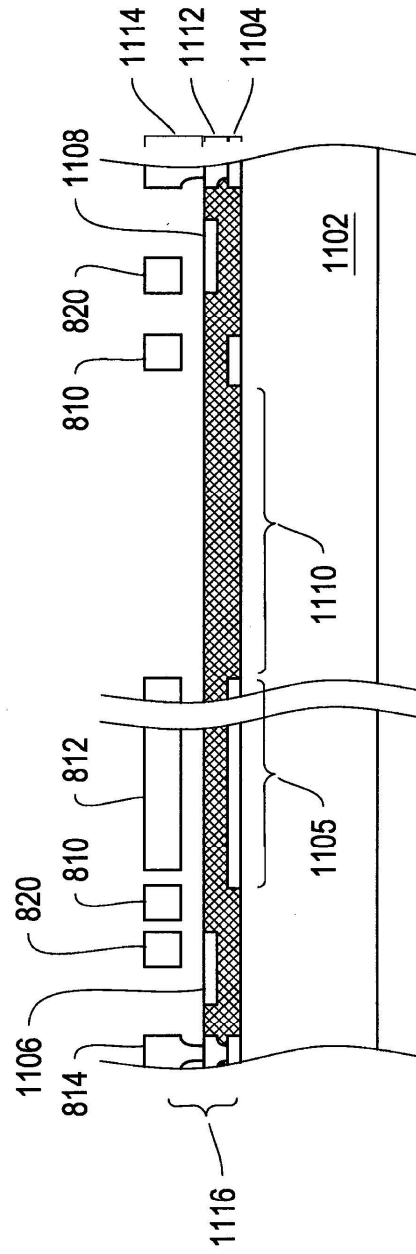


Figura 9

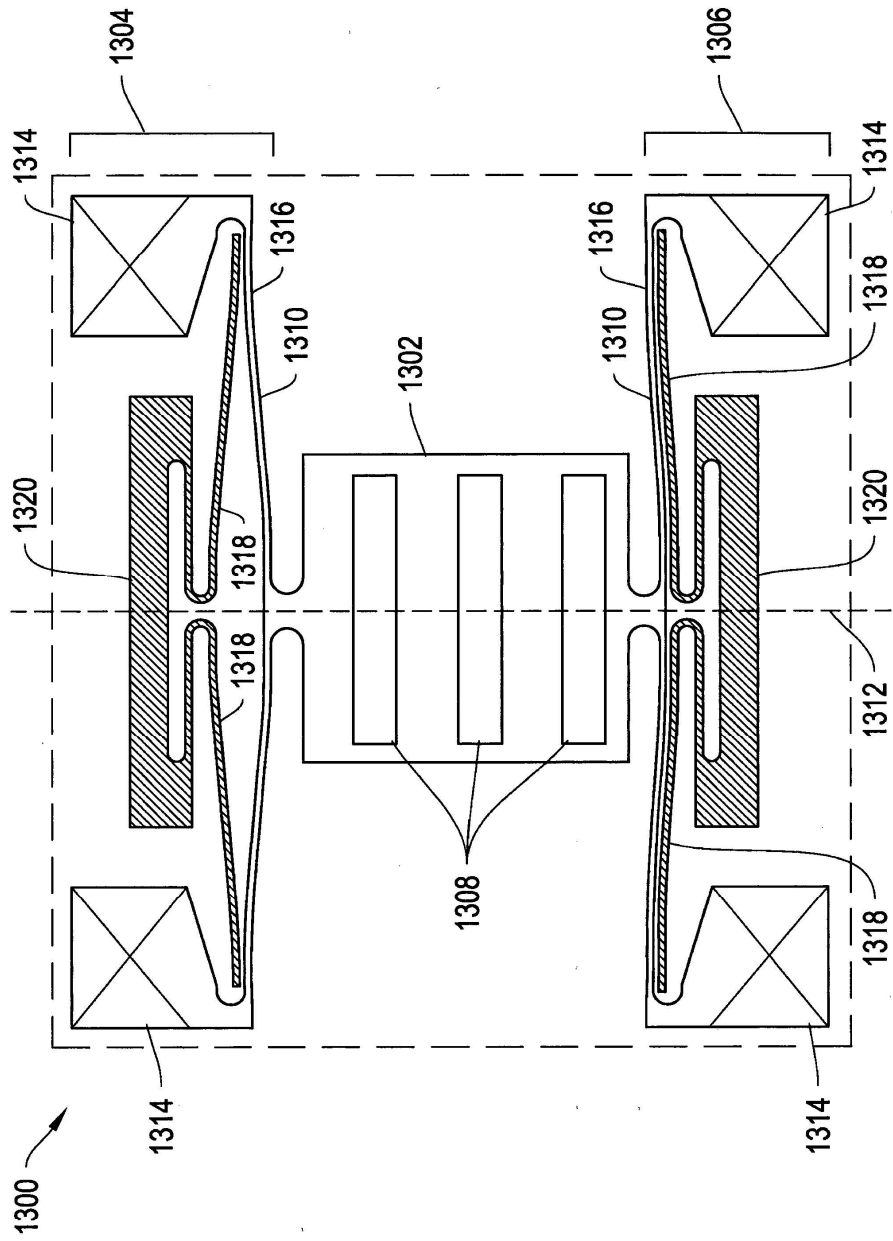


Figure 10

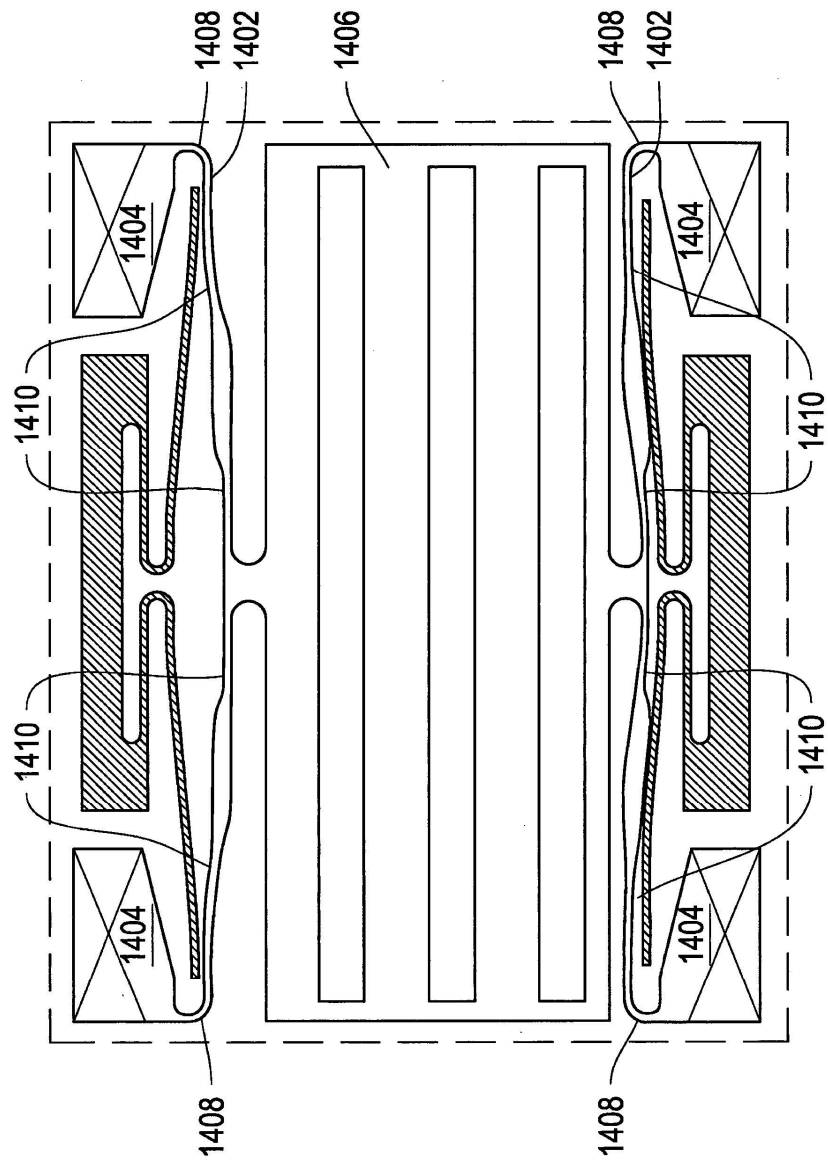


Figura 11

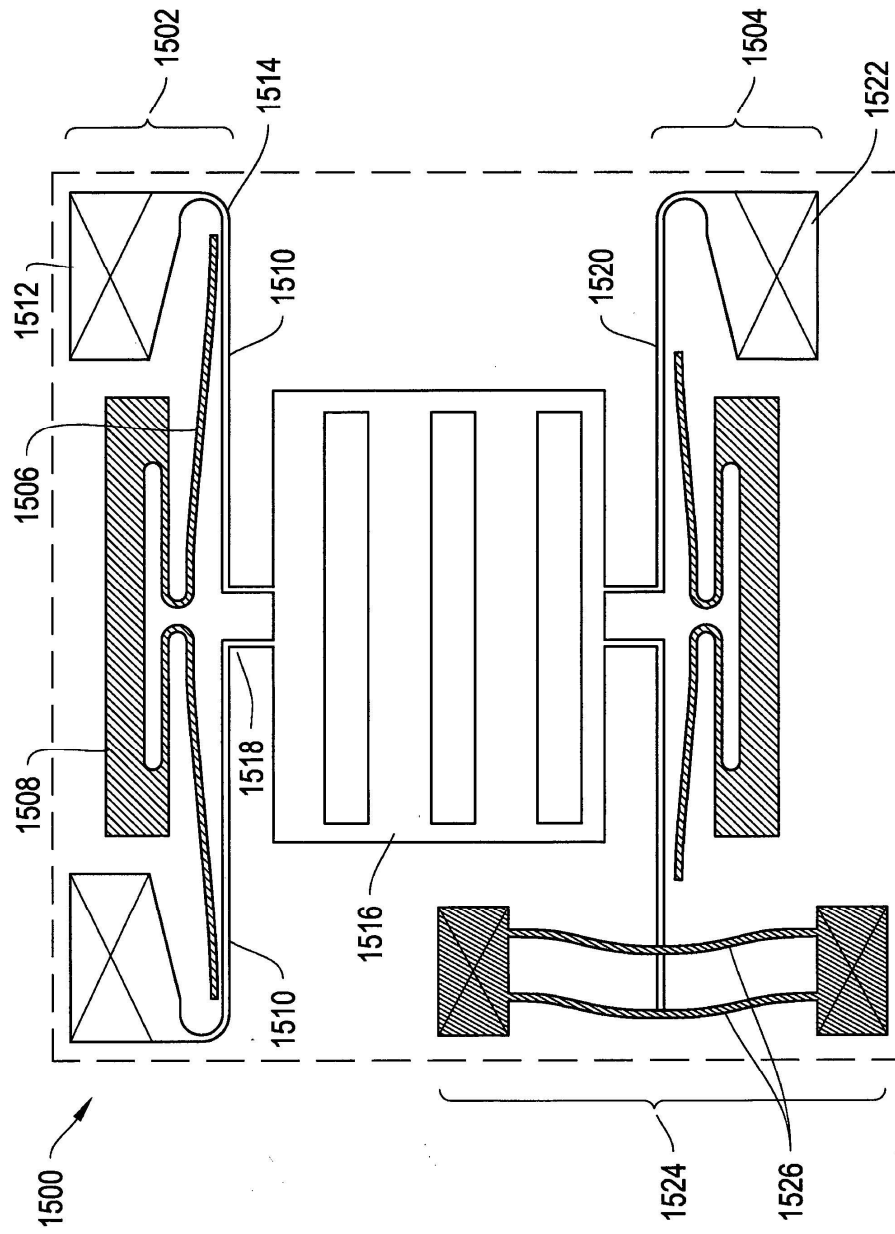
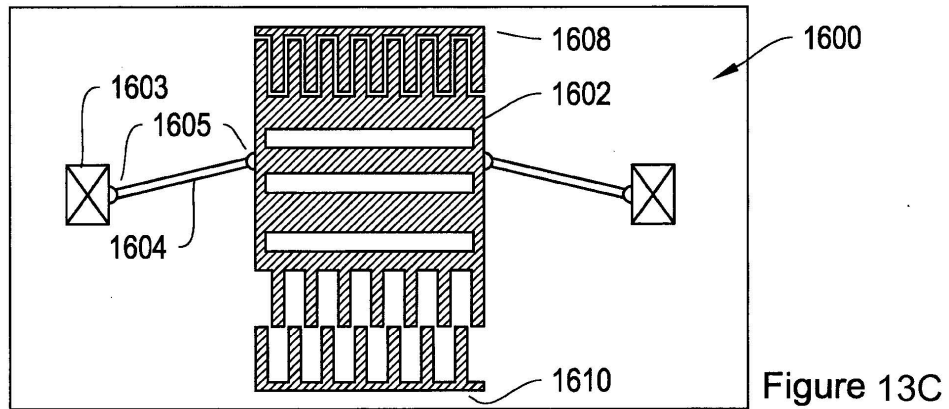
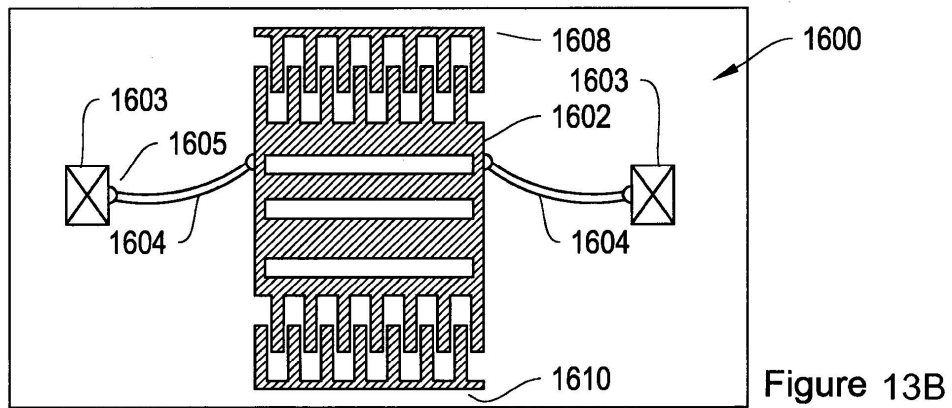
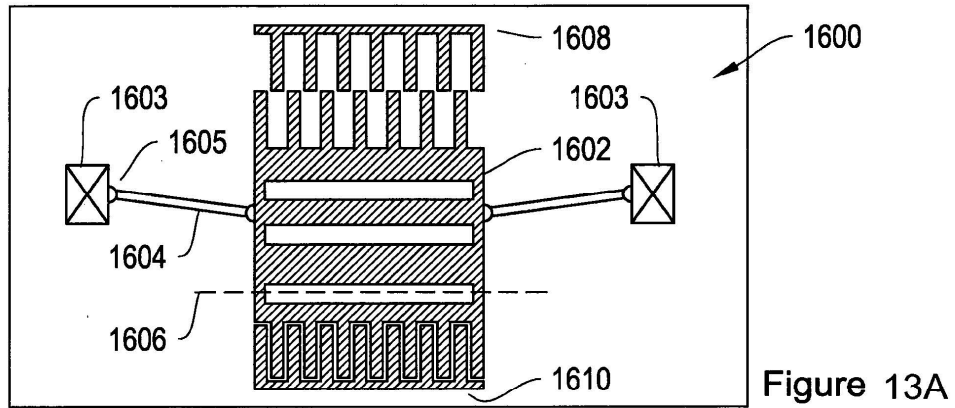


Figura 12



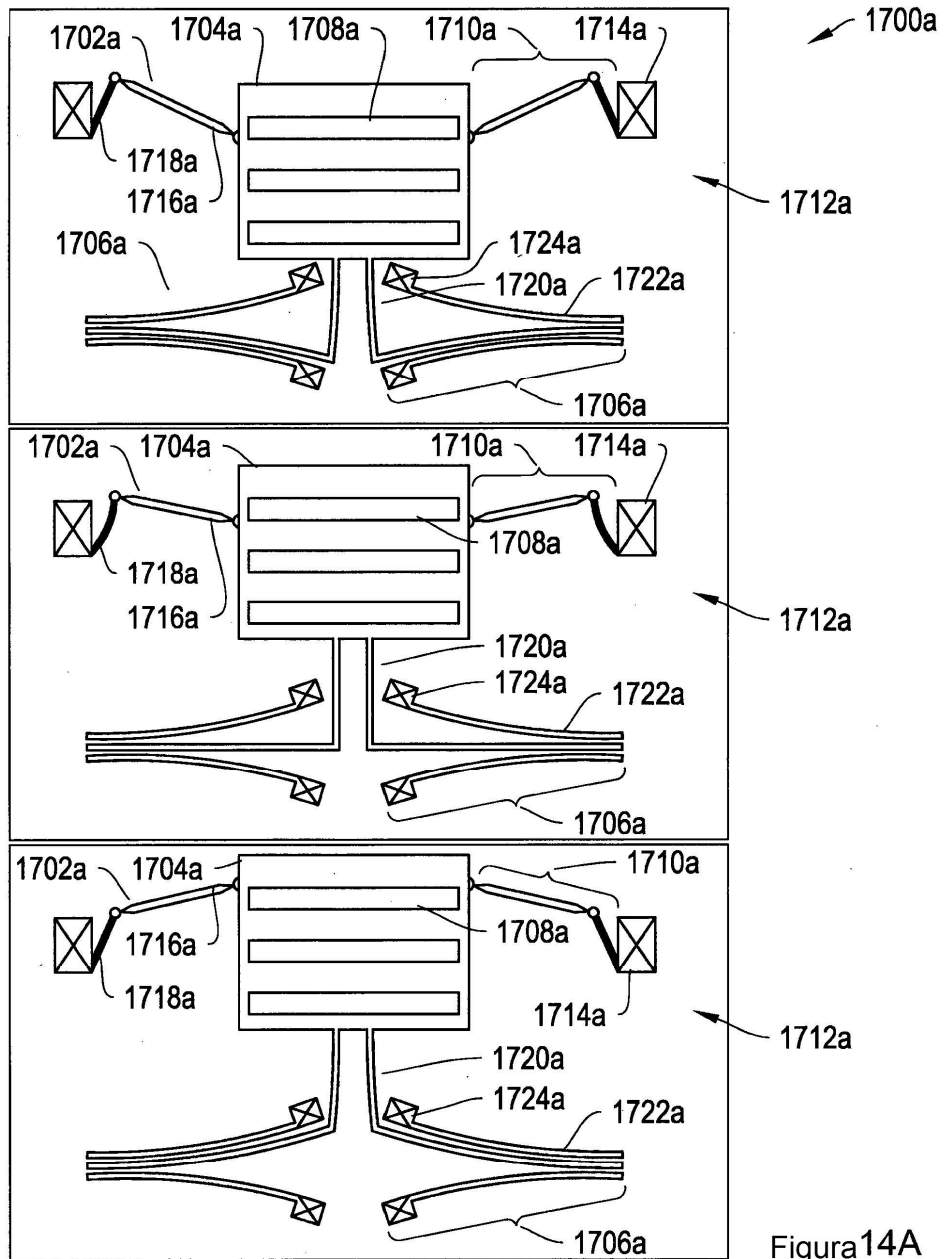


Figura 14A

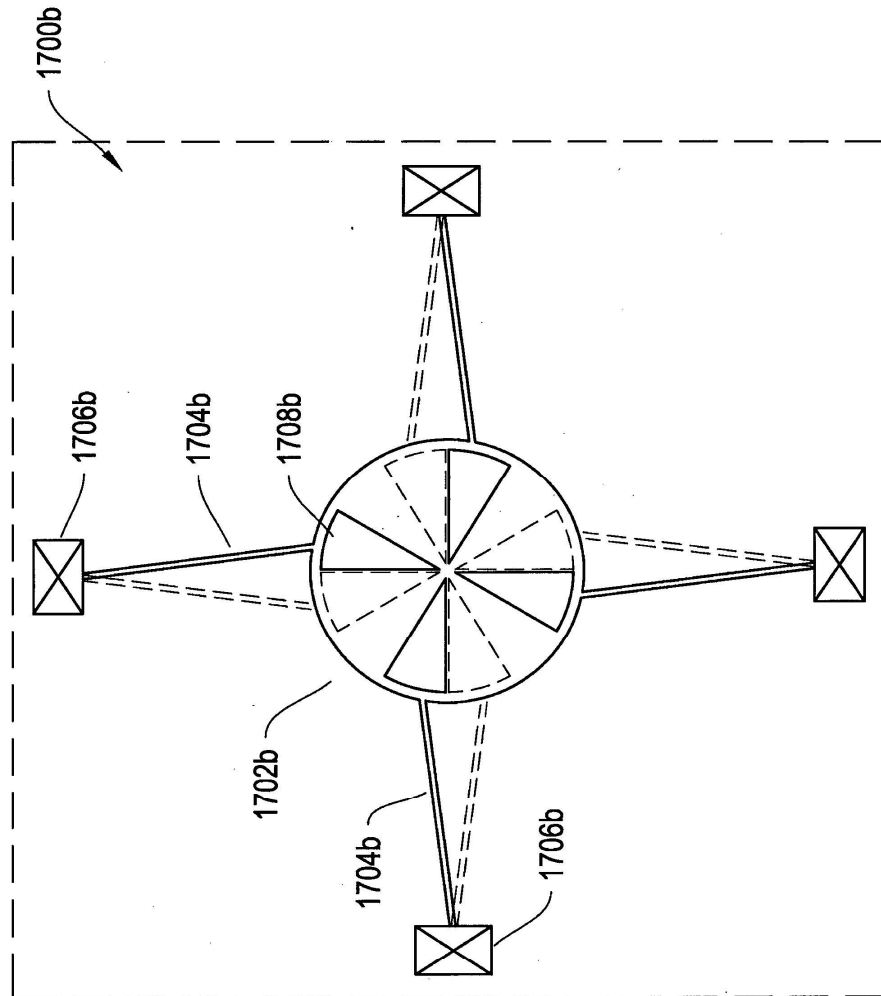


Figura 14B

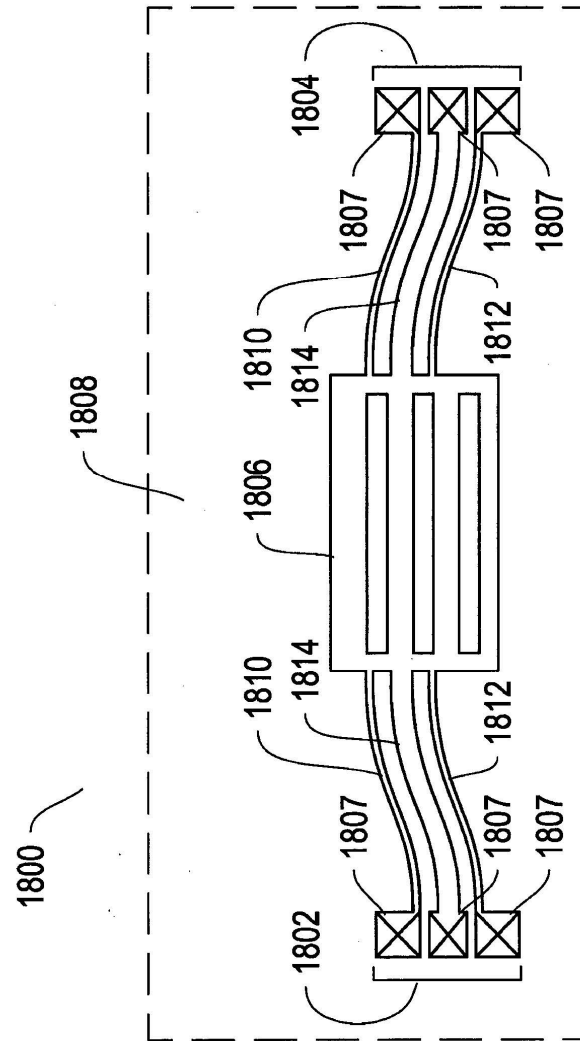


Figura 15

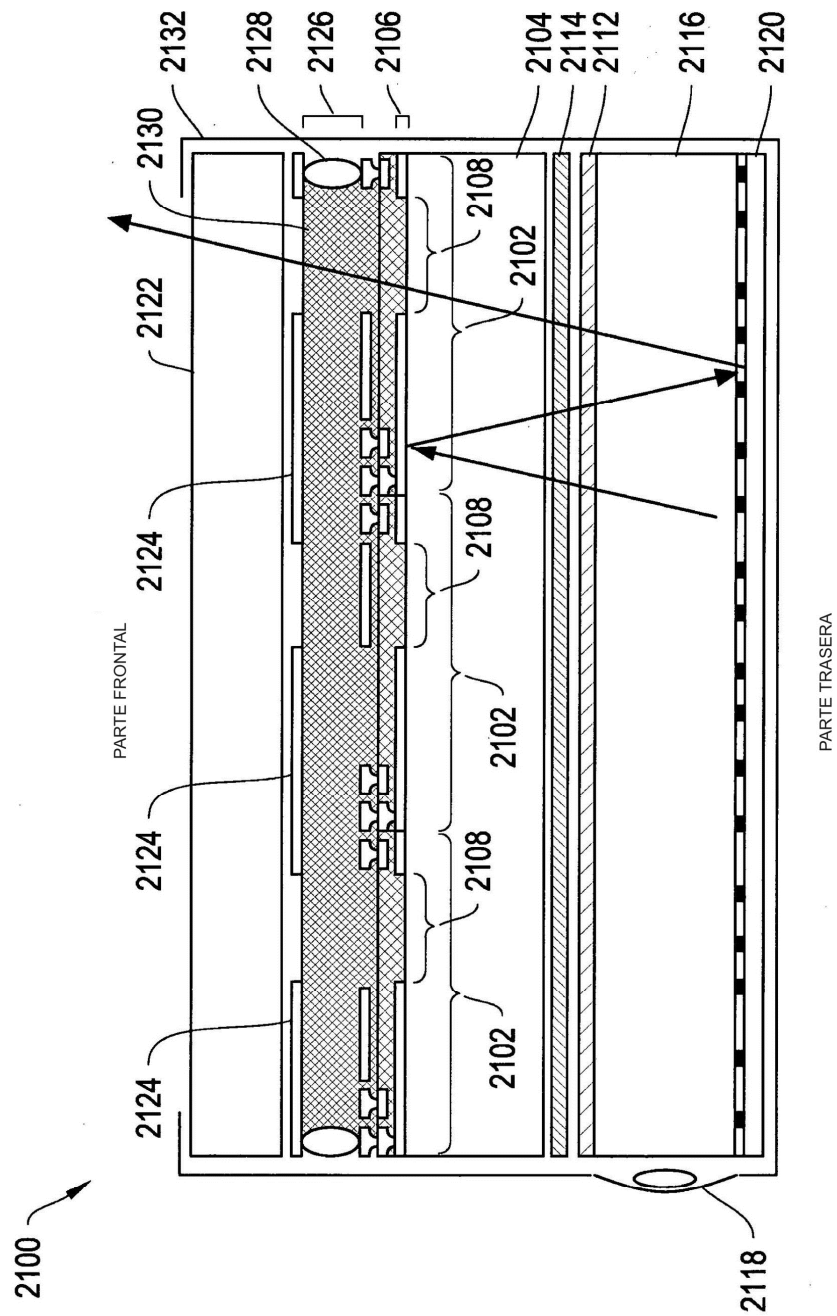


Figura 16

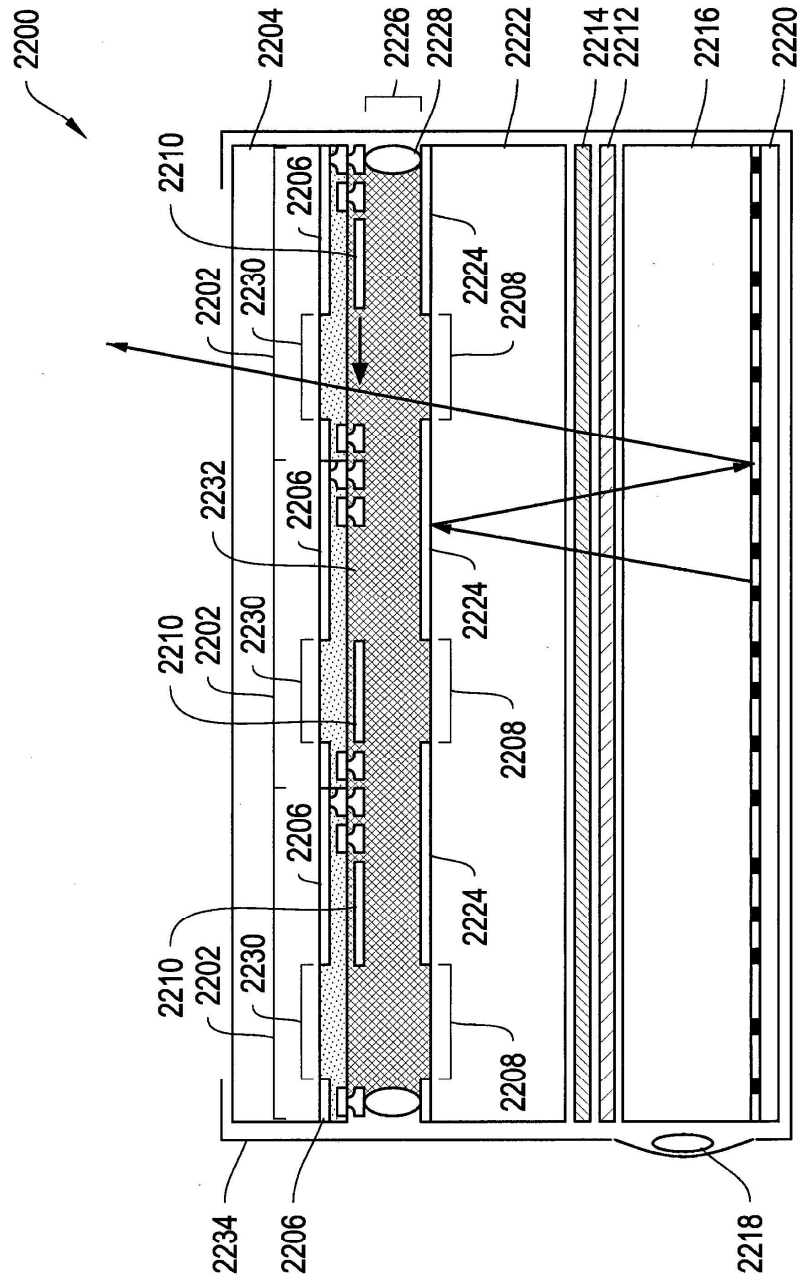


Figura 17