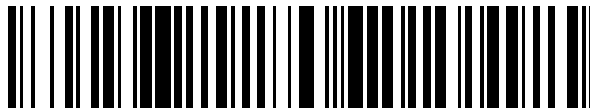


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 410 629**

51 Int. Cl.:

G02B 26/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2008 E 08807847 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2013 EP 2208103**

54 Título: **Microespejo MEMS de escaneado**

30 Prioridad:

05.10.2007 US 977721 P

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

02.07.2013

73 Titular/es:

**INNOLUCE B.V. (100.0%)
Kerkenbos 1234 Unit C
6546 BE Nijmegen, NL**

72 Inventor/es:

**KRASTEV, KRASSIMIR TODOROV;
SOEMERS, HERMAN M.J.;
VAN LIEROP, HENDRIKUS W.L.A.M.;
SANDERS, RENATUS HENDRICUS MARIA y
NELLISSSEN, ANTONIUS JOHANNES MARIA**

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Carlos

ES 2 410 629 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

Microespejo MEMS de escaneado

5 La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional U.S.A. número 60/977.721, presentada el 5 de Octubre de 2007, la solicitud provisional U.S.A. número 60/977.717 presentada el 5 de Octubre de 2007 (expediente de los solicitantes número PH009047) y el documento U.S.A. provisional número 60/977.713, presentado el 5 de Octubre de 2007 (expediente de los solicitantes número PH009046) y solicitudes relacionadas.

10 El sector técnico de esta invención se refiere a los Sistemas microeléctricos mecánicos (MEMS), particularmente los microespejos MEMS de escaneado.

15 Los microespejos MEMS de escaneado han sido desarrollados para la presentación de información visual. El microespejo MEMS de escaneado oscila en una o dos dimensiones y un láser u otro haz luminoso se refleja en la superficie del espejo. Variando el ángulo y la sincronización del haz incidente sobre la superficie del espejo se genera una imagen visual sobre una pantalla o en otra superficie, tal como una matriz de visualización bidimensional. Se utilizan números diferentes de microespejos MEMS de escaneado y de láseres para producir imágenes de colores y detalles diferentes. Son ejemplos de utilización de los microespejos MEMS de escaneado están encabezados por las pantallas en disposición superior (o "head up") para aplicaciones automovilísticas, pantallas transportables, pantallas de proyección, pantallas para teléfonos móviles y pantallas de uso manual y escáneres de códigos de barras.

20 La generación presente de microespejos MEMS de escaneado incluye una placa de espejo acoplada a un armazón por medio de dos barras colineales de torsión que crean un eje de escaneado alrededor del cual gira la placa del espejo. Las barras de torsión soportan la placa del espejo y proporcionan la rigidez a la torsión requerida durante la rotación. Las barras de torsión son el único punto de acoplamiento entre la placa del espejo y el armazón, y determinan la frecuencia de resonancia del microespejo MEMS de escaneado. El microespejo MEMS de escaneado incluye asimismo un dispositivo de accionamiento para aplicar magnética o eléctricamente un par a la placa del espejo alrededor del eje de escaneado sin contacto físico con la placa del espejo. Habitualmente, el dispositivo de accionamiento acciona la placa del espejo a la frecuencia de resonancia. Los microespejos MEMS de escaneado están fabricados a base de silicio de cristal único, de material de silicio policristalino utilizando fotolitografía.

25 En la generación presente de microespejos MEMS de escaneado surgen problemas con la calidad de la imagen debido a movimientos no deseados del espejo y a deformación del espejo. Es deseable una alta resolución de imagen para una mejor calidad de imagen y para visualizaciones mayores. Debido a que las barras de torsión son el único punto de acoplamiento entre la placa del espejo y el armazón, las barras de torsión definen la rigidez de la suspensión en todas las direcciones, no solo la rigidez a la rotación alrededor del eje de escaneado. La forma geométrica de la barra de torsión, con la masa del espejo y el momento de inercia de la masa para la rotación correspondiente, influyen en las frecuencias de resonancia de orden elevado del sistema. Los modos de resonancia de orden elevado más importantes son el modo de balanceo fuera de plano, el modo de traslación vertical, el modo de rotación en el plano y el modo de traslación horizontal. Los modos de resonancia de balanceo fuera de plano y de traslación vertical de la generación presente de microespejos MEMS de escaneado reducen en una gran proporción la calidad de la imagen del visualizador de escaneado.

30 La deformación dinámica del microespejo reduce asimismo la calidad de la imagen de la pantalla del escáner. La deformación no debería ser mayor de $\pm \lambda/10$, en donde λ es la longitud de onda más corta del láser utilizado en la aplicación de escaneado. La resolución de la imagen es proporcional al producto del ángulo de escaneado por el diámetro del microespejo. Una resolución de imagen más elevada requiere unos ángulos de escaneado mayores, los cuales incrementan la tensión en la barra de torsión, y mayores frecuencias de escaneado que incrementan la deformación dinámica del microespejo. Debido a que las barras de torsión son el único punto de acoplamiento entre la placa del espejo y el armazón, las barras de torsión deforman la placa del espejo y el microespejo.

35 Se debe tener en cuenta que los documentos U.S.A. 2005036196 y WO 2006/131916 dan a conocer un aparato MEMS para el escaneado con un haz óptico que comprende un espejo que funciona para llevar a cabo un movimiento de rotación a un ángulo de rotación máximo alrededor del eje de rotación del espejo, y un mecanismo de rebote que funciona para producir un efecto de rebote e invertir el movimiento de rotación. El fenómeno de rebote proporciona al espejo una respuesta lineal por tramos a la actuación por medio de fuerzas electrostáticas intrínsecamente no lineales. El mecanismo de rebote incluye un elemento escogido para impartir al sistema una rigidez global no lineal, y ha sido seleccionado entre un grupo de elementos consistentes en un dispositivo de rebote y un elemento de rigidez no lineal precurvado. En una realización, el espejo tiene un conjunto de barras desplazadas situadas en la parte inferior del espejo, desplazadas de la superficie superior. En la misma, los mecanismos de rebote están formados por medio de barras elásticas curvadas que conectan las barras desplazadas para peinar los elementos de accionamiento del rotor. Las barras elásticas tienen una rigidez no lineal diseñada para transformar el movimiento inducido por los dispositivos de accionamiento del peine en un movimiento lineal del espejo.

65

5 Se debe tener en cuenta además que el documento U.S.A.20050046504 da a conocer un elemento de microoscilación que incluye una sección de oscilación y un armazón. La sección de oscilación está dotada con una superficie de espejo y está conectada al armazón a través de un primer y un segundo resortes trapezoidales. La sección de oscilación está situada entre el primer resorte y el segundo resorte. Cada uno del primer resorte y del segundo resortes se pueden deformar a lo largo con la oscilación de la sección de oscilación.

10 Se debe tener en cuenta además que el documento U.S.A.20050088715 da a conocer un dispositivo de accionamiento del tipo que utiliza un sistema de vibración con dos grados de libertad que incluye una primera parte de masa, una segunda parte de masa, un par de partes de soporte, por lo menos, un par de primeras partes elásticas de conexión que conectan la primera parte de masa a la parte de soporte, de tal modo que la primera parte de masa puede girar con respecto a la parte de soporte y, por lo menos, un par de segundas partes elásticas de conexión que conectan la segunda parte de masa a la primera parte de masa, de tal modo que la segunda parte de masa puede girar con respecto a la primera parte de masa. La primera parte de masa es accionada por medio de la aplicación de una tensión alterna que hace que la segunda parte de masa gire, y la frecuencia de la tensión alterna se establece de tal manera que sea sustancialmente la misma que una frecuencia inferior de resonancia, de las frecuencias de resonancia del sistema de vibración de dos grados de libertad al que resuenan la primera parte de masa y la segunda parte de masa. Esto hace posible proporcionar un dispositivo de accionamiento capaz de funcionar a gran velocidad y a una baja tensión, y alcanzar un gran ángulo de rotación.

20 Se debe tener en cuenta además que el documento U.S.A.5661591 da a conocer un modulador espacial de la luz que puede funcionar en el modo analógico para la dirección de haces luminosos o para aplicaciones de escaneado. El modulador de la luz comprende una serie de espejos que pueden ser desviados, soportado cada uno de ellos por medio de una articulación de torsión que termina a lo largo de un eje de torsión. Además está dispuesta una serie de pliegues articulados para soportar los extremos del espejo y proporcionar una fuerza de recuperación. La combinación de las articulaciones de torsión y los pliegues articulados consigue un píxel desviable que puede funcionar dentro de la gama lineal para una amplia gama de tensiones de dirección. Asimismo, los pliegues articulados mantienen un estado plano, sin desviaciones, cuando no se aplica ninguna tensión de dirección, e impiden que el píxel se colapse. El píxel se puede reforzar, por ejemplo alrededor de su perímetro, para garantizar la planitud del espejo e impedir su deformación, incluso durante desviaciones extremas del espejo.

30 CARACTERÍSTICAS DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es dar a conocer un microespejo MEMS de escaneado mejorado. Un aspecto de la presente invención da a conocer un microespejo MEMS de escaneado según la reivindicación 1.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

40 Las características y ventajas anteriores de la invención y otras más, serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones actualmente preferentes leídas conjuntamente con los dibujos adjuntos. La descripción detallada y los dibujos son meramente ilustrativos de la invención, más que limitativos del ámbito de la invención que está definida por medio de las reivindicaciones adjuntas y de los equivalentes de las mismas.

45 Las figuras 1A y 1B son una vista superior y una vista en sección transversal, respectivamente, de un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención;

la figura 2A es una vista detallada en perspectiva de las púas de un peine para un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención;

50 las figuras 2B a 2E muestran la acción de los peines del espejo para un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención;

las figuras 3A y 3B son vistas superiores de otras realizaciones de un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención;

55 las figuras 4A a 4C son vistas detalladas, en sección transversal, de resortes de lámina para un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención.

60 Las figuras 5A a 5E son vistas superiores detalladas de conexiones flexibles del cuerpo de un espejo para un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención; y

la figura 6 es una vista detallada, en perspectiva, que muestra las dimensiones del cuerpo de un espejo para un microespejo MEMS de escaneado, según la presente invención.

65 La figura 7 es una vista en planta de un microespejo para pico-haces en una realización de la presente invención, que muestra las conexiones eléctricas para la actuación del dispositivo.

La figura 8 es una vista detallada, en sección transversal, de las capas de láminas y de los puntos de aplicación de los potenciales de accionamiento, en una realización de la presente invención.

5 La figura 9 es una vista, en perspectiva, de las conexiones flexibles de un cuerpo de espejo de un microespejo para pico-haces, según una realización de la presente invención.

Las figuras 1A y 1B, en las que los elementos iguales comparten números de referencia iguales, son una vista superior y una vista lateral, respectivamente, de un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. La figura 1B es una sección transversal a lo largo de la sección A-A de la figura 1A, con el cuerpo del espejo inclinado alrededor del eje de rotación. El microespejo MEMS de escaneado utiliza un par de conjuntos de barras en voladizo acopladas al cuerpo de un espejo por sus esquinas exteriores para establecer la rigidez a la torsión alrededor del eje de rotación. Un par de barras verticales de soporte, sostienen el cuerpo del espejo verticalmente en el eje de rotación, pero tienen un efecto despreciable en la rigidez a la torsión, de tal modo que la frecuencia natural del cuerpo del espejo está determinada sustancialmente por los conjuntos de las barras en voladizo. La frecuencia natural es sustancialmente independiente de las barras verticales de soporte. La frecuencia natural, tal como se define en esta memoria, es la frecuencia no amortiguada del cuerpo del espejo alrededor de su eje de rotación. Las barras verticales de soporte definen el balanceo fuera de plano y la rigidez en el modo vertical para las frecuencias correspondientes del modo de resonancia. La rigidez a la torsión puede ser desacoplada del balanceo fuera de plano y de la rigidez en el modo vertical, de tal manera que las frecuencias de balanceo fuera de plano y en el modo vertical pueden ser establecidas a los valores deseados, tales como valores más elevados, sin influir en la rigidez en el modo de torsión ni en la frecuencia de resonancia. Tal como se define en esta memoria, el eje Y es a lo largo del eje de rotación, el eje X es perpendicular al eje Y en el plano del espejo cuando el espejo está en reposo, y el eje Z es perpendicular y está fuera del plano del espejo cuando el espejo está en reposo.

25 El microespejo MEMS de escaneado -30- incluye un cuerpo -50- de espejo, un armazón -60-, unos conjuntos -70- de barras en voladizo y barras verticales de soporte -40-. El cuerpo -50- del espejo tiene un espejo -52- sobre un soporte -54- del espejo y barras de prolongación -56-. En una realización, el espejo -52- está formado sobre el soporte -54- del espejo. En otra realización, el espejo -52- está acoplado al soporte -54- del espejo. El cuerpo -50- del espejo puede ser cuadrado, rectangular, circular, elíptico o tener cualquier otra forma plana deseada para una aplicación particular. La cara del espejo define un plano del espejo del soporte -54- del espejo. Los expertos en la materia comprenderán que la forma del espejo -52- y el soporte -54- del espejo son independientes, y pueden tener cualquier forma deseada para una aplicación particular, por ejemplo, círculo, elipse, cuadrado, rectángulo u otra forma, según se desee. Las barras de prolongación -56- son paralelas al eje de rotación -58- del cuerpo -50- del espejo, que es el eje de rotación del microespejo MEMS de escaneado -30-. El cuerpo -50- del espejo está dispuesto en el interior de un rebaje para el espejo -62- del armazón -60-.

El armazón -60- forma el rebaje -62- del espejo con una periferia -64- en el rebaje. En la periferia -64- del rebaje están situadas unas barras -66- opuestas al armazón, a lo largo del eje de rotación -58- y proporcionan los puntos de conexión para los conjuntos -70- de la barra en voladizo y para las barras -40- verticales de soporte.

40 Los conjuntos -70- de las barras en voladizo incluyen barras -72- en voladizo fijadas a las barras -66- opuestas al armazón, perpendiculares al eje de rotación -58-. Los conjuntos -70- de barras en voladizo proporcionan rigidez a la torsión al cuerpo -50- del microespejo alrededor del eje de rotación -58-. Las barras en voladizo -72- están asimismo acopladas de manera flexible o amoldable al extremo de las barras de prolongación -56- del cuerpo -50- del espejo con las conexiones flexibles -74-. Las conexiones flexibles -74- tienen una baja rigidez a la torsión alrededor de sus ejes paralelos al eje de rotación -58- (alrededor del eje Y) y una rigidez reducida perpendicular al eje de rotación -58- (el eje X), lo que permite que el cuerpo -50- del espejo gire alrededor de las barras verticales de soporte -40- con respecto al eje de rotación -58-. El acoplamiento del cuerpo -50- del espejo a los cuatro puntos alejados del eje de rotación -58- reduce la deformación dinámica en el cuerpo -50- del espejo. La rigidez a la torsión en el caso de rotación del espejo alrededor del eje Y está definida mediante la longitud, la anchura y, lo más importante, el grosor de las barras en voladizo -72- y la distancia entre las conexiones flexibles -74- para el par de barras en voladizo -72- en un conjunto -70- de barras en voladizo. La rigidez combinada de las barras verticales de soporte -40- en la dirección X y las conexiones flexibles -74- impiden el movimiento del cuerpo -50- del espejo perpendicularmente al eje de rotación -58- (en la dirección X) durante el funcionamiento. A continuación, en la figura 5, se facilitan más detalles sobre las conexiones flexibles -74-.

Las barras verticales de soporte -40- están conectadas entre las barras -66- opuestas al armazón y el cuerpo -50- del espejo a lo largo del eje de rotación -58- para soportar el cuerpo -50- del microespejo en el armazón -60-. En una realización, las barras verticales de soporte -40- tienen las secciones transversales rectangulares estrechas, perpendiculares al eje de rotación -58-, con el eje largo del rectángulo perpendicular a la cara del espejo -52- y del cuerpo -50- del espejo, y el eje corto del rectángulo paralelo a la cara del espejo -52-. La rigidez a la torsión del microespejo MEMS de escaneado -30- la proporcionan los conjuntos -70- de barras en voladizo, de tal manera que las barras verticales de soporte -40- solamente se requieren para soportar el cuerpo -50- del espejo y tienen un efecto despreciable en la rigidez a la torsión. La rigidez a la torsión de las barras verticales de soporte -40- es tan reducida como es posible, de tal modo que la que la rigidez a la torsión del movimiento de balanceo del cuerpo del microespejo alrededor de las barras verticales de soporte -40- con respecto al eje de rotación -58- está predominada

por la rigidez de las barras en voladizo -72-. Las barras verticales de soporte -40- están dimensionadas de tal manera que la rigidez frente al desplazamiento vertical del cuerpo -50- del espejo y frente a su movimiento de balanceo perpendicular al eje de rotación -58- (alrededor del eje X) es tan elevada como es posible.

5 El microespejo MEMS de escaneado -30- puede incluir asimismo un dispositivo de accionamiento -80- para proporcionar un par para accionar el cuerpo -50- del espejo alrededor del eje de rotación -58-. En una realización, el dispositivo de accionamiento -80- incluye peines -82- del espejo acoplados a las barras de prolongación -56- intercaladas con los peines -84- del armazón acoplados al armazón -60-. Aplicando una diferencia de potencial eléctrico entre un peine intercalado -82- del espejo y el peine -84- del armazón se crea una fuerza de accionamiento
10 entre los peines -82- del espejo y los peines -84- del armazón, la cual crea un par en el cuerpo -50- del espejo alrededor del eje de rotación -58-. Se puede aplicar un potencial eléctrico oscilatorio para accionar el microespejo MEMS de escaneado -30- a su frecuencia natural. Otros métodos de actuación a modo de ejemplo incluyen accionamiento electromagnético y dispositivos de accionamiento piezoeléctricos. En el accionamiento electromagnético, el microespejo está "sumergido" en un campo magnético y una corriente alterna que pasa a través
15 de las trayectorias de conducción crea el par oscilatorio requerido alrededor del eje de rotación -58-. Los dispositivos de accionamiento piezoeléctricos pueden estar integrados en las barras en voladizo, o las barras en voladizo pueden estar fabricadas de un material piezoeléctrico para producir fuerzas alternativas de curvado como respuesta a una señal eléctrica y para generar el par de oscilación requerido.

20 El microespejo MEMS de escaneado -30- puede estar fabricado a partir de silicio de cristal único, de material de silicio policristalino utilizando fotolitografía y técnicas DRIE. La figura 3, en la que los elementos iguales comparten números de referencia iguales con la figura 1, es una vista detallada, en perspectiva, de las púas de un peine para un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. Las púas -100- del peine, del peine -82- del espejo están intercaladas entre las púas -110- del peine, del peine -84- del armazón. En una realización, el microespejo MEMS de escaneado puede estar fabricado de una lámina de silicio sobre un aislante (SOI) que tiene una capa superior de silicio y una capa inferior de silicio, con una capa aislante entre la capa superior de silicio y la capa inferior de silicio. En una realización, el peine -82- del espejo y el peine -84- del armazón pueden estar fabricados de tal modo que la capa aislante divide los peines paralelamente al espejo, produciendo partes eléctricas superiores aisladas eléctricamente y partes eléctricas inferiores en cada una de las púas del peine. Las púas -100- del peine, del peine -82- del espejo, incluyen primeras partes eléctricas -102- y segundas partes eléctricas -104- separadas por la capa aislante -106-. Las púas -110- del peine, del peine -84- del armazón incluyen primeras partes eléctricas -112- y segundas partes eléctricas -114- separadas por la capa aislante -116-. Aplicando una diferencia de potencial eléctrico entre las partes eléctricas superiores en el peine -82- del espejo y las partes eléctricas inferiores en el armazón -84- del espejo, o viceversa, esta diferencia de potencial puede ser utilizada para generar una fuerza de accionamiento inicial entre los peines -82- del espejo y los peines -84- del armazón cuando los peines -82- del espejo y los peines -84- del armazón están alineados y el cuerpo -50- del espejo está en reposo. La separación de las púas del peine en dos partes (superior e inferior) permite, mediante la conmutación entre capas opuestas, aplicar el potencial de accionamiento (y posiblemente el par, dependiendo de la forma geométrica de las púas del peine) con una duración superior a medio periodo de oscilación por ciclo de oscilación. En una realización, los conjuntos de barras en voladizo pueden estar dispuestos en la capa superior de silicio de la lámina de silicio sobre el aislamiento, y pueden llevar el potencial eléctrico a las primeras partes eléctricas superiores -102- de los peines -82- del espejo. En otra realización, las barras verticales de soporte pueden estar dispuestas en la capa inferior de silicio, de dicha lámina de silicio sobre el aislamiento, y pueden llevar el potencial eléctrico a las segundas partes eléctricas inferiores -104- de los peines -82- del espejo.

45 Las figuras 2B a 2E muestran la acción de los peines -82- del espejo en el caso de un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. Haciendo referencia a la figura 2B, el espejo está oscilando con las púas del peine del espejo alejadas de las púas del armazón y desplazándose hacia ellas. Las partes -102- y -104- están conectadas al potencial de tierra. El potencial de accionamiento está aplicado a las partes -112- y -114- desde la amplitud máxima hasta la posición alineada de las púas del peine.
50

Haciendo referencia a la figura 2C, el espejo está oscilando en la dirección de las agujas del reloj cuando las púas del peine están en posición alineada. El ciclo de accionamiento en el caso de las púas de peine monolíticas tradicionales se detiene aquí. El potencial de accionamiento debe ser desconectado en la posición de las púas del peine alineadas si no existe división de las púas del peine en partes eléctricas superior e inferior. En el caso de púas del peine divididas de la presente invención: el potencial se aplica entre -102- (conectado a tierra) y -114-, hasta que -102- queda alineado con -114-, de tal modo que las púas del peine divididas inyectan más energía en cada ciclo de oscilación en igualdad de las demás condiciones.
55

Haciendo referencia a la figura 2D, el espejo está oscilando. Cuando las capas opuestas -102- y -114- de las púas del peine divididas están en posición alineada (no se crea ningún par), el potencial de accionamiento entre ellas debe ser desconectado.

Haciendo referencia a la figura 2D, el espejo está oscilando en la posición extrema (figura 2B). En el caso de rotación en la dirección opuesta, los potenciales de accionamiento son conectados en "orden simétrico" al que aparece en las figuras 2B a 2D:
65

1. -102-, -104- conectados a tierra y -112-, -114- al potencial de accionamiento;
2. Potencial de accionamiento entre -104- (conectado a tierra) y -112-;
3. Potenciales de accionamiento desconectados.

5 Las figuras 3A y 3B, en las que los elementos iguales comparten números de referencia iguales entre sí y con la figura 1, son vistas superiores de otras realizaciones de un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. En estas realizaciones, se pueden utilizar resortes de lámina acoplados de forma flexible entre las barras en voladizo de los conjuntos de barras en voladizo y el cuerpo del espejo para rigidizar el cuerpo del espejo del microespejo MEMS de escaneado contra perturbaciones en el plano y para un incremento del deslizamiento en el plano y de la rigidez de rotación de la suspensión del espejo. Los resortes de lámina acoplan elásticamente el cuerpo del microespejo a los conjuntos de barras en voladizo.

15 Los resortes de lámina pueden estar situados a lo largo de las barras en voladizo, según se desee para una aplicación particular. Haciendo referencia a la figura 3A, los resortes de lámina -90- están acoplados de forma flexible entre las barras en voladizo -72- de los conjuntos -70- de barras en voladizo y el cuerpo -50- del espejo. En este ejemplo, los resortes de lámina -90- están cerca de las barras verticales de soporte -40- y de las barras opuestas -66- del armazón. Haciendo referencia a la figura 3B, los resortes de lámina -90- están acoplados de forma flexible entre las barras en voladizo -72- de los conjuntos -70- de barras en voladizo y el cuerpo -50- del espejo. En este ejemplo, los resortes de lámina -90- están cerca de las conexiones flexibles -74-.

25 Las figuras 4A a 4C, en las que en las que los elementos iguales comparten números de referencia iguales entre sí y con los de las figuras 3A y 3B, son vistas detalladas en sección transversal a lo largo de la sección B-B de la figura 3A de los resortes de lámina de un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. Los resortes de lámina -90- tienen formas diferentes para proporcionar distintas rigideces. Haciendo referencia a las figuras 4A, 4B y 4C, los resortes de lámina -90- tienen forma de L, de V y plana, respectivamente. Los resortes de lámina -90- pueden estar colocados aproximadamente a la misma altura con respecto al espejo (en la dirección Z) como las barras verticales de soporte -40-. En una realización, la pata inferior de la L en el resorte de lámina en forma de L está a la misma altura que el eje de rotación -58-. En una realización, la punta inferior de la V en el resorte en forma de V está a la misma altura que el eje de rotación -58-. En una realización, el resorte de lámina plano está a la misma altura que el eje de rotación -58-.

35 Las figuras 5A a 5E son vistas superiores detalladas de conexiones flexibles de un cuerpo de espejo para un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. En la figura 5A, la conexión flexible -74- es un pliegue con una elevada relación entre dimensiones, conectado a la barra en voladizo en ambos extremos y en el centro de las barras de prolongación. Las dimensiones típicas para un dispositivo de un microespejo de 1 mm son: anchura 2,5 a 4 μm , longitud 60 a 80 μm , siendo la altura la misma que el grosor de las barras en voladizo. La anchura en los puntos de conexión es de unos 10 μm . En la figura 5B, la conexión flexible -74- incluye elementos adicionales de pliegues que permiten pequeñas traslaciones en el eje X. En las figuras 5C y 5D, la conexión flexible -74- permite una mayor deformación en la dirección X, manteniendo una elevada rigidez a la curvatura en dirección vertical y una elevada rigidez contra la rotación en el plano de rotación del microespejo. La longitud de las conexiones flexibles se incrementa para reducir la tensión producida por la traslación en la dirección X. En la figura 5C, la conexión flexible se lleva a cabo en la misma capa que las barras en voladizo, de tal modo que la rigidez del pliegue está limitada por el grosor de los voladizos. En la figura 5D, la conexión flexible -74- tiene una rigidez incrementada en la dirección vertical y contra el doblado en el plano Y-Z, conseguida por fabricación con una altura incrementada en un único cristal de gran tamaño de material de silicio bajo la capa aislante. En este caso, se necesita una estructura adicional tal como una conexión eléctrica para proporcionar el potencial a la parte superior de las púas del peine móvil. En la figura 5E, la conexión flexible -74- y las conexiones flexibles en forma de L (giradas de 45 grados) conectan la barra de prolongación y la barra en voladizo.

50 La figura 6 es una vista detallada, en perspectiva, que muestra las dimensiones del cuerpo de un espejo para un microespejo MEMS de escaneado según la presente invención. En una realización a modo de ejemplo, las dimensiones de las barras en voladizo son:

- 55 • Longitud de la barra en voladizo, $l_b = 420 \mu\text{m}$
- Anchura de la barra en voladizo, $w_b = 100 \mu\text{m}$
- Grosor de la barra en voladizo, $t_b = 17,5 \mu\text{m}$
- Distancia entre puntos de suspensión opuestos, $a = 950 \mu\text{m}$

60 En una realización a modo de ejemplo, las dimensiones de las barras verticales de soporte son:

- Anchura de la barra vertical de soporte, $w_{vs} = 6,2 \mu\text{m}$
- Altura de la barra vertical de soporte, $h_{ws} = 36 \mu\text{m}$
- Longitud de la barra vertical de soporte, $l_{vs} = 62 \mu\text{m}$

65

ES 2 410 629 T3

En otra realización a modo de ejemplo, las dimensiones de las barras verticales de soporte que proporcionan una rigidez combinada de las conexiones en la dirección X, rigidez que es de $1,25 \times 10^3$ N/m, son:

- Anchura de la barra vertical de soporte, $w_{vs} = 6,2 \mu\text{m}$
- Altura de la barra vertical de soporte, $h_{vs} = 36 \mu\text{m}$
- Longitud de la barra vertical de soporte, $l_{vs} = 62 \mu\text{m}$

La rigidez combinada de las barras verticales en la dirección X es de $1,0 \times 10^4$ N/m. La rigidez de la barra predomina la frecuencia natural de deslizamiento horizontal. Las conexiones y la rigidez de la barra en voladizo en la dirección Y definen la frecuencia de resonancia en el modo de rotación en el plano.

La frecuencia de oscilación de los microespejos de escaneado depende de la rigidez a la torsión de la suspensión y del momento de inercia de su masa alrededor del eje de inclinación. La rigidez a la torsión proporcionada por la rigidez de la curvatura de las barras en voladizo predomina sobre el modo fundamental de la frecuencia de resonancia del microespejo. En el caso de ángulos de oscilación pequeños, esta rigidez se puede hallar a partir de la fórmula siguiente:

$$S_t = E \frac{a^2 \cdot w_b t_b^3}{4l_b^3}$$

En el caso de un microespejo de 1 mm, la rigidez a la torsión proporcionada por las barras en voladizo es de $2,3 \times 10^{-4}$ Nm/rad.

La rigidez a la torsión de las barras verticales de soporte con las dimensiones indicadas anteriormente es de $4,6 \times 10^{-6}$ Nm/rad, que es 50 veces menor que la proporcionada por la rigidez a la torsión de las barras en voladizo. Las barras verticales de soporte influyen en menos del 1% en los 18,7 kHz del modo fundamental de la frecuencia de resonancia del presente diseño del microespejo de 1 mm. El momento de inercia de la masa es de $1,7 \times 10^{-14}$ kgm² aproximadamente.

Las conexiones flexibles -74- con la rigidez a la torsión combinada de alrededor de 1×10^{-6} Nm/rad contribuyen todavía menos al incremento del modo de la frecuencia fundamental del microespejo.

En el mismo diseño, las barras en voladizo contribuyen con una rigidez a la curvatura de aproximadamente $1,1 \times 10^3$ N/m al modo de oscilación fuera de plano, mientras que la rigidez de las barras verticales de soporte es de $6,1 \times 10^5$ N/m.

Las barras en voladizo dominan en la rigidez a la torsión del microespejo. Las barras verticales de soporte dominan en la rigidez en el caso de los modos de oscilación fuera de plano, que tienen un gran impacto en la calidad de la imagen. La posibilidad de definir las frecuencias de resonancia del modo fundamental y las de orden superior con una mayor flexibilidad hace que sea más fácil diseñar sistemas de escaneado de una calidad mejor. Las simulaciones FEM mostraron que la suspensión combinada tiene ventajas para impedir modos de oscilación parásitos como el balanceo vertical y fuera de plano al incrementar sus frecuencias de resonancia a valores más elevados si se compara con los microespejos suspendidos de barras de torsión.

La tabla siguiente muestra los resultados de la simulación en el caso de formas geométricas optimizadas de dos microespejos suspendidos de barras de torsión y de un microespejo con suspensión combinada (teniendo el mismo tamaño del microespejo; una rigidez a la inclinación, unos momentos de inercia de la masa, una tensión en los elementos de suspensión y de deformación de la superficie, similares):

Frecuencia en kHz	Microespejo suspendido de una barra de torsión de forma rectangular	Microespejo suspendido de una barra de torsión de forma circular	Microespejo con suspensión combinada
Modo fundamental	18,6	18,7	18,7
Modo vertical	93	84	144
Balanceo fuera de plano	230	245	255

La figura 7 es una vista en planta de un microespejo para pico-haces en una realización de la presente invención. Las conexiones eléctricas para el accionamiento del dispositivo están en una capa de manejo de la lámina y en la parte inferior de un microespejo -30-, la mitad superior de las púas -117- del peine móvil, la mitad superior de las púas -118- del peine estático y la mitad inferior de las púas -119- del peine estático. Se deja una zona del microespejo -30- como una "propiedad libre" -121-. Los potenciales V0 en la capa de manejo de la lámina y en la parte inferior del microespejo -30-, los V1 en la mitad superior de las púas -117- del peine móvil, los V2 en la mitad superior de las púas -118- del peine estático y los V3 en la mitad inferior de las púas -119- del peine estático,

pueden ser aplicados durante el funcionamiento de una presentación. Los potenciales de accionamiento pueden ser utilizados posiblemente, por ejemplo: durante el lanzamiento de la oscilación V0 conectada a tierra, la V2 accionada con impulsos cuadráticos. Durante un estado de oscilación constante $V0 = V1 =$ conectado a tierra y $V2 = V3$. La capa del dispositivo alrededor del microespejo permite la integración de la electrónica de control.

5 La figura 8 es una vista detallada en sección transversal de las capas de láminas y de los puntos de aplicación de los potenciales de accionamiento en una realización de la presente invención. Un microespejo para pico-haces tiene una parte superior de silicio/capa del dispositivo -231-, y una parte inferior de silicio/capa de manejo -232-. La parte superior de silicio/capa del dispositivo -231- tiene placas de unión de aluminio y uniones de alambre -233- y vías -234-, -235- que se extienden hasta la parte inferior de silicio/capa de manejo -232- a través de una capa oculta de óxido -236- (BOX). El microespejo para pico-haces tiene púas de peine móviles -237- y estacionarias -238- y una barra vertical de soporte -239-. V0, V1, V2 y V3 están aplicados tal como se muestra. Los potenciales de accionamiento utilizados pueden ser, por ejemplo: durante el lanzamiento de la oscilación V0 conectado a tierra; V2 accionado con impulsos cuadráticos. Durante el estado de oscilación constante $V0 = V1 =$ conectado a tierra y $V2 =$ V3.

10 La figura 9 es una vista, en perspectiva, de las conexiones flexibles de un cuerpo de espejo de un microespejo para pico-haces según una realización de la presente invención. La conexión flexible -74- está dispuesta en la segunda capa -206- de silicio. Están dispuestas conexiones eléctricas adicionales -240- en la conexión -74- y en la parte eléctrica -102-.

15 Aunque las realizaciones de la invención dadas a conocer en esta memoria están consideradas actualmente como preferentes, pueden realizarse diversos cambios y modificaciones sin apartarse del ámbito de la invención. El ámbito de la invención está indicado en las reivindicaciones adjuntas, y se pretende que todos los cambios que entran dentro del significado y de la gama de equivalentes estén abarcados por la misma.

REIVINDICACIONES

1. Microespejo MEMS de escaneado que comprende

- 5 un cuerpo (50) del microespejo que tiene un eje de rotación y un par de barras de prolongación (56) paralelas al eje de rotación (58), teniendo un eje X perpendicular al eje de rotación en el plano del espejo cuando el espejo está en reposo, estando definido el plano del espejo por medio de una cara del microespejo;
- 10 un armazón (60) que forma un rebaje (62) del espejo con una periferia (64) del rebaje, teniendo el armazón (60) un par de barras opuestas (66) del armazón en la periferia (64) del rebaje a lo largo del eje de rotación (58);
- medios para proporcionar rigidez a la torsión al cuerpo (50) del microespejo alrededor del eje de rotación (58) y
- 15 medios para soportar el cuerpo del microespejo en el armazón que comprenden un par de barras verticales de soporte (40) conectadas, entre cada una de las barras del par de barras opuestas (66) del armazón, al cuerpo (50) del espejo a lo largo del eje de rotación (58),

caracterizado porque los medios para proporcionar la rigidez a la torsión al cuerpo del microespejo alrededor del eje de rotación comprenden un par de conjuntos (70) de barras en voladizo, estando fijado cada par de conjuntos (70) de barras en voladizo a una barra del par de barras opuestas (66) del armazón y acoplados a una barra del par de barras de prolongación (56) a través de una conexión flexible (74) que permite una deformación en la dirección del eje X.

25 2. Sistema de microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, que comprende además medios (90) para acoplar elásticamente el cuerpo (50) del microespejo a los medios (70) que proporcionan rigidez a la torsión.

30 3. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, que comprende además un dispositivo de accionamiento (40) conectado de forma operativa al cuerpo (50) del espejo para proporcionar un par alrededor del eje de rotación (58).

4. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 3, en el que el dispositivo de accionamiento (40) comprende:

- 35 un primer peine (82) del espejo acoplado a una barra del par de barras de prolongación (56);
- un segundo peine (82) del espejo acoplado a la otra barra del par de barras de prolongación (56);
- 40 un primer peine (84) del armazón y un segundo peine (84) del armazón acoplados al armazón (60); en el que las púas (100) del peine del primer peine (82) del espejo están intercaladas con púas (110) del peine del primer peine (84) del armazón, y púas (100) del peine del segundo peine (82) del espejo están intercaladas con púas (110) del peine del segundo peine (84) del armazón.

45 5. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 4, en el que el primer peine (82) del espejo tiene una primera parte eléctrica (102) y una segunda parte eléctrica (104), estando separadas la primera parte eléctrica (102) y la segunda parte eléctrica (104) por una capa aislante (106).

6. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, en el que la frecuencia natural del cuerpo (50) del espejo está sustancialmente determinada por medio del par de conjuntos (70) de barras en voladizo.

50 7. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, en el que la frecuencia natural del cuerpo (50) del espejo es sustancialmente independiente del par de barras verticales de soporte (40).

8. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, en el que cada una de las barras del par de barras verticales de soporte (40) tiene una sección transversal rectangular con el eje largo de la sección transversal rectangular perpendicular al cuerpo (50) del espejo.

9. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 1, que comprende además resortes de lámina (90) acoplados entre cada uno del par de conjuntos (70) de barras en voladizo y el cuerpo (50) del espejo.

60 10. Microespejo MEMS de escaneado, según la reivindicación 9, en el que la forma de los resortes de lámina (90) está seleccionada entre el grupo consistente en resortes de lámina en forma de L, en forma de V y planos.

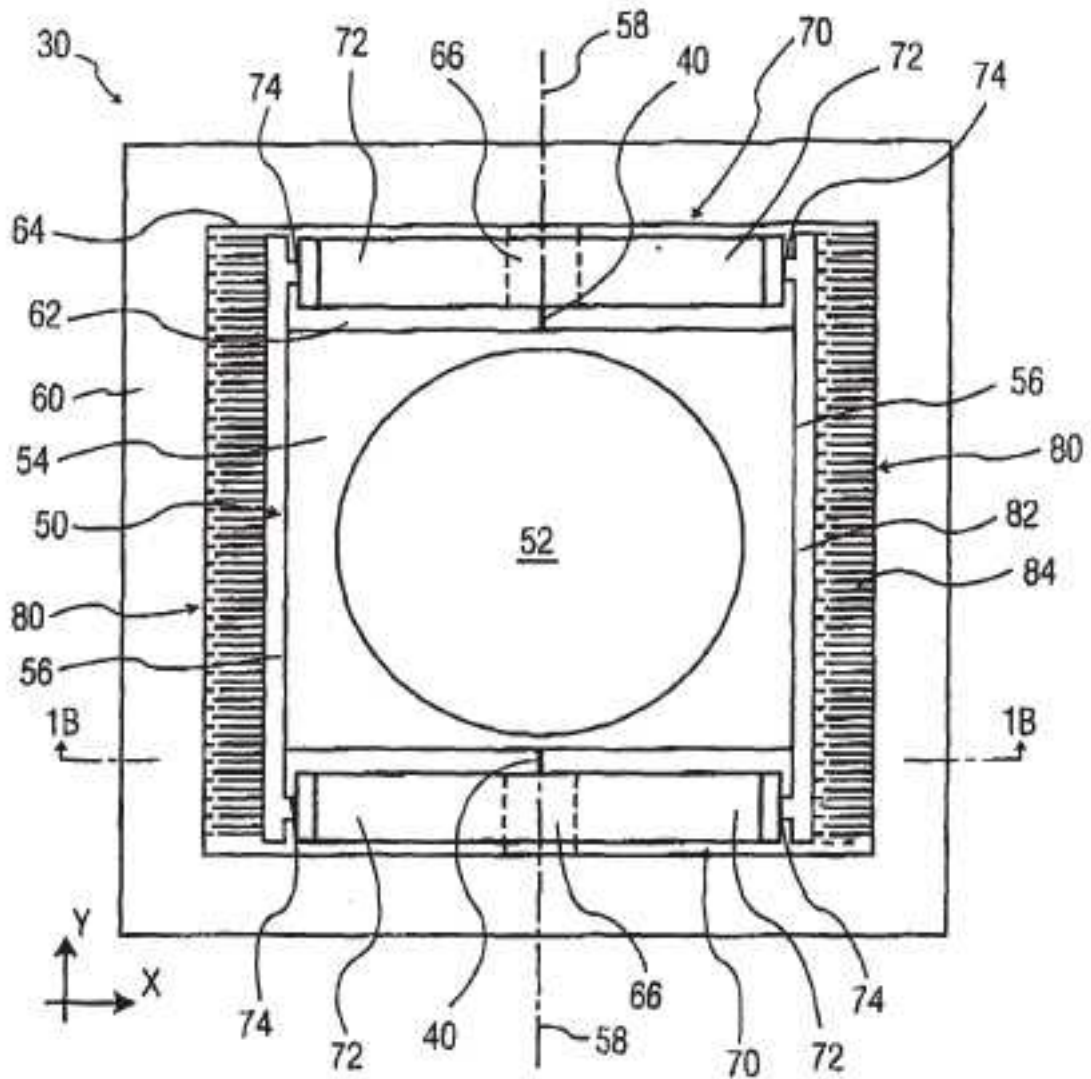


FIG. 1A

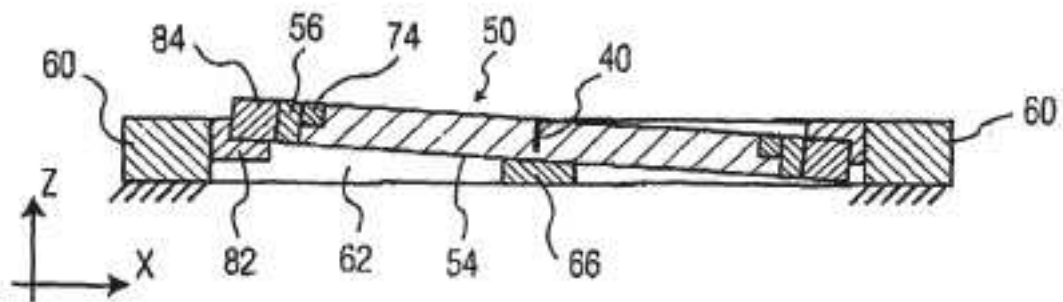


FIG. 1B

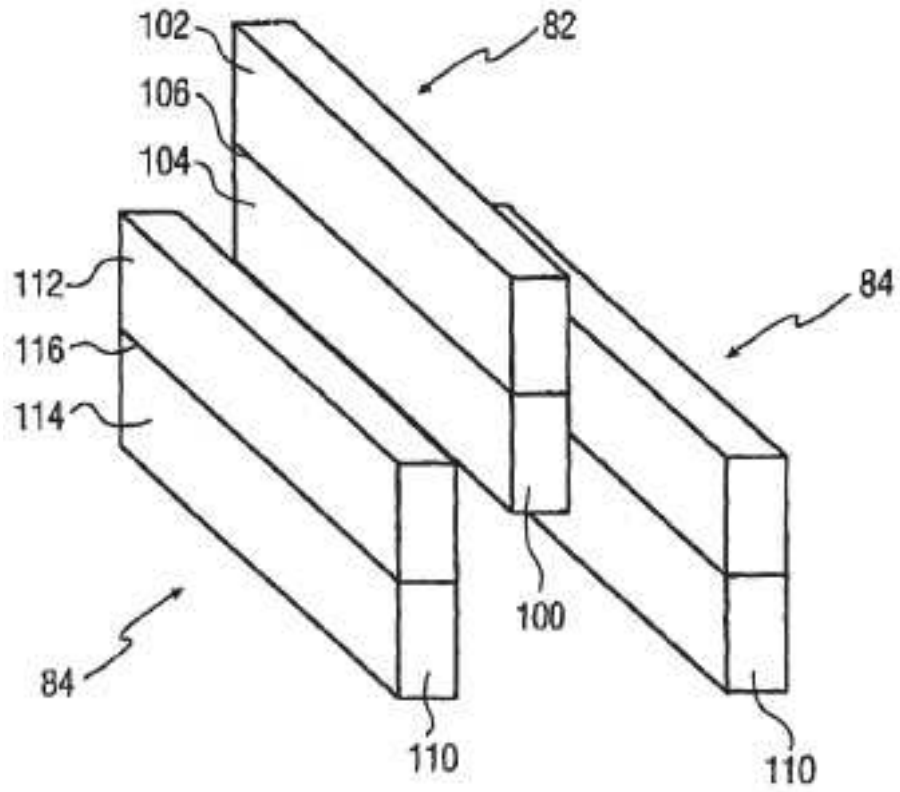


FIG. 2A

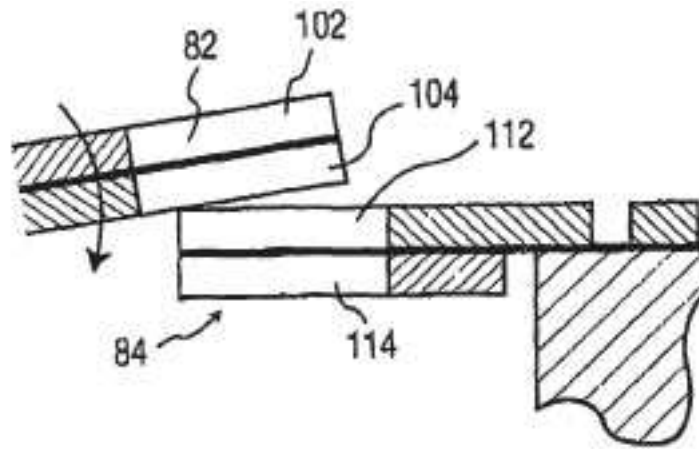


FIG. 2B

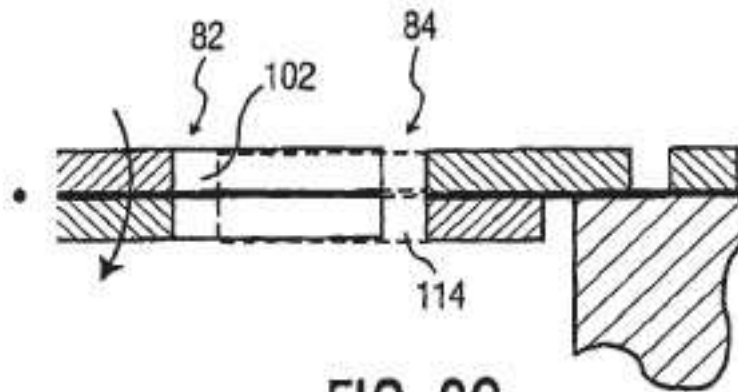


FIG. 2C

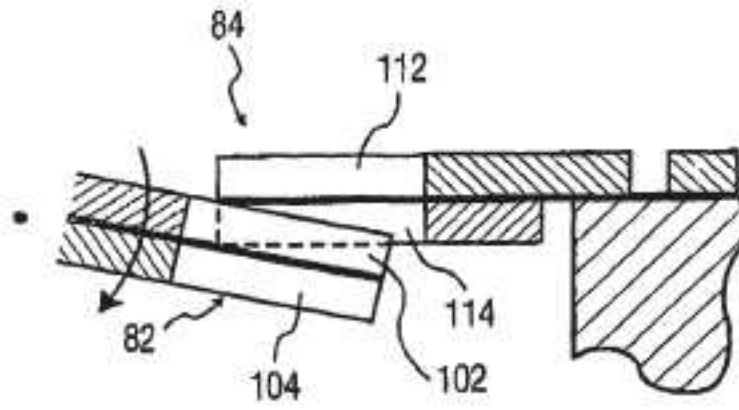


FIG. 2D

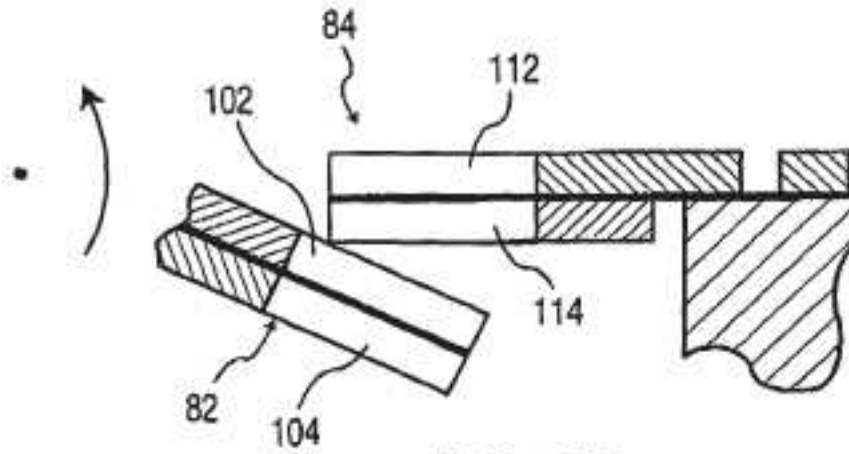


FIG. 2E

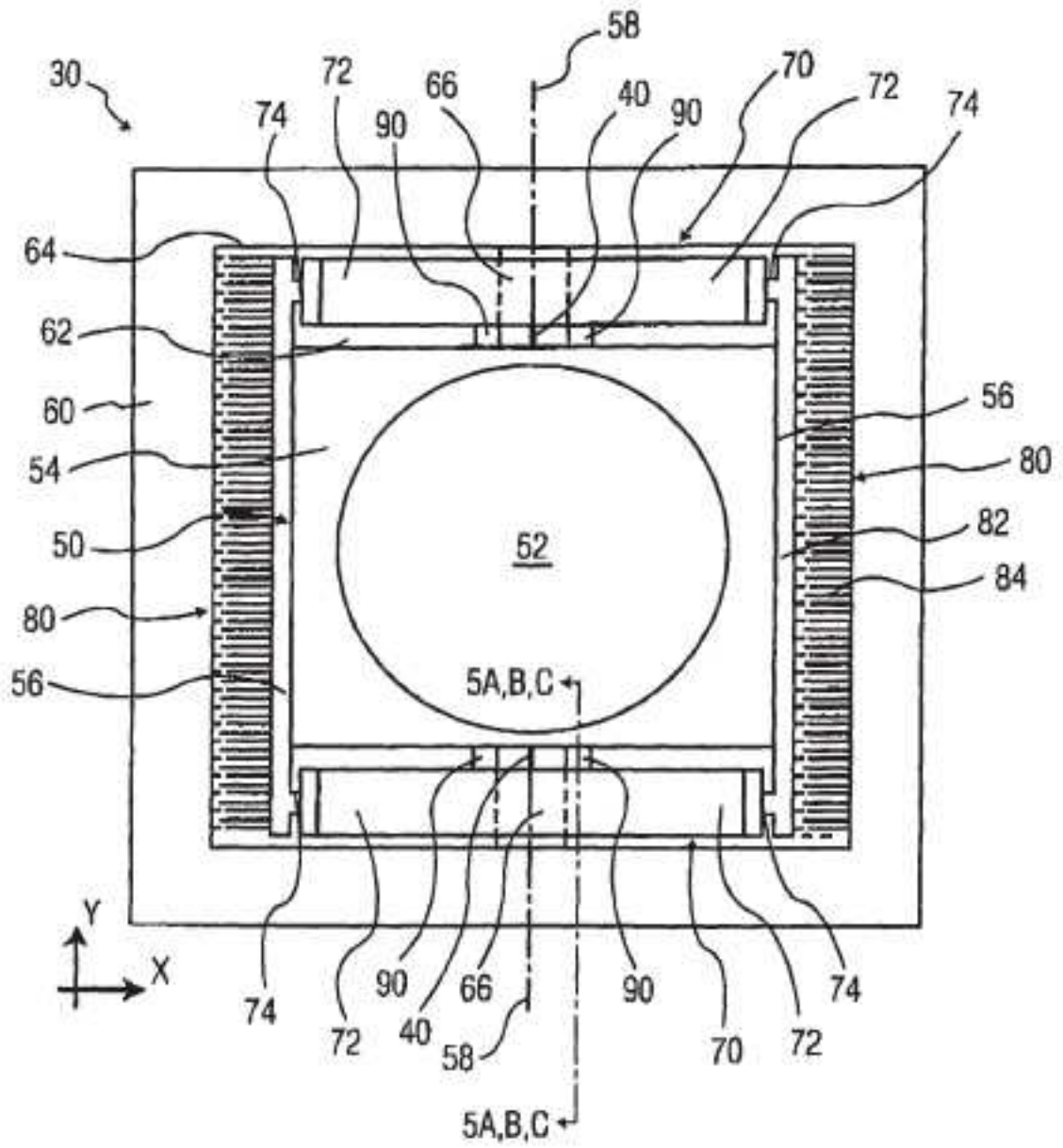


FIG. 3A

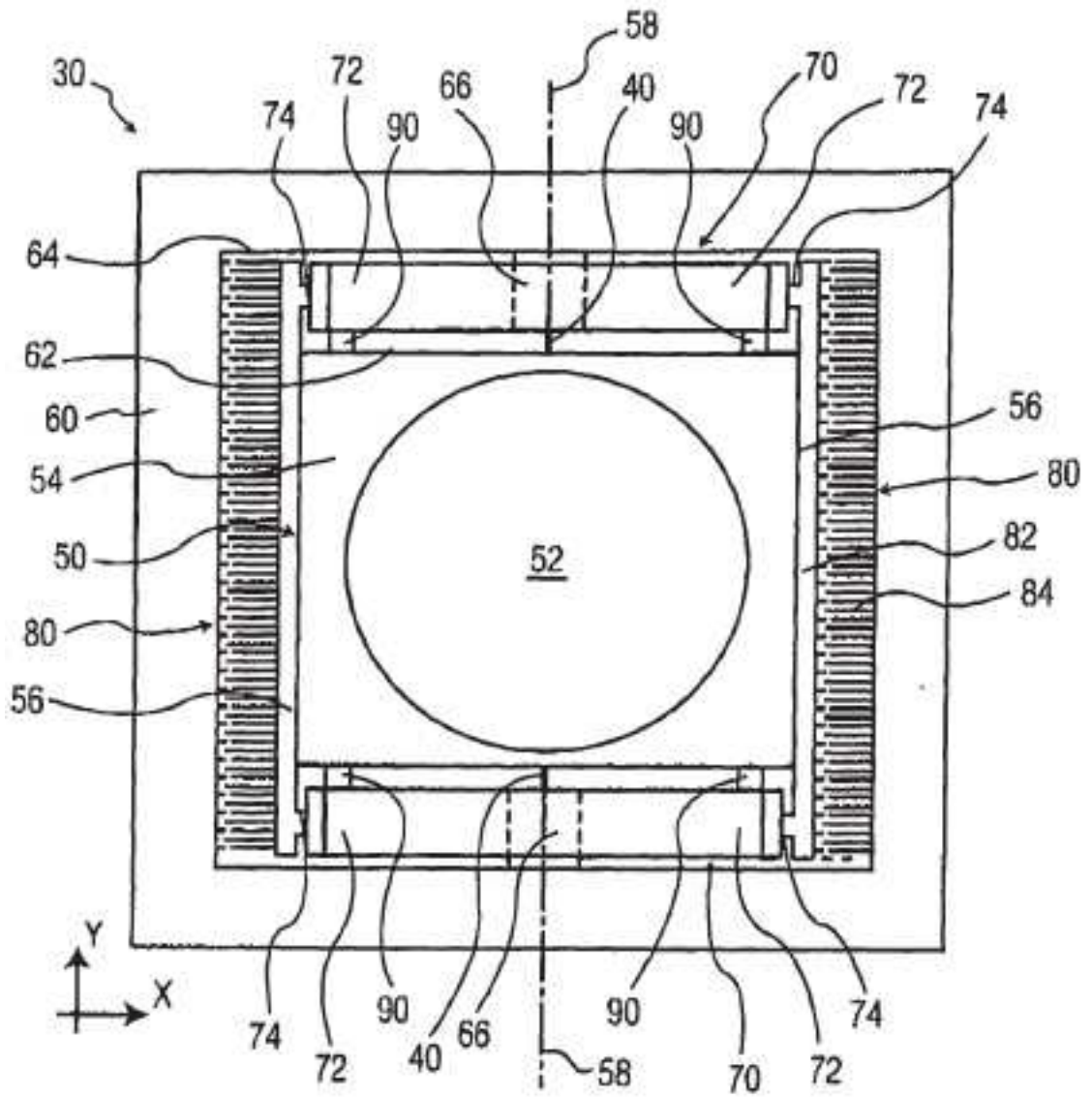


FIG. 3B

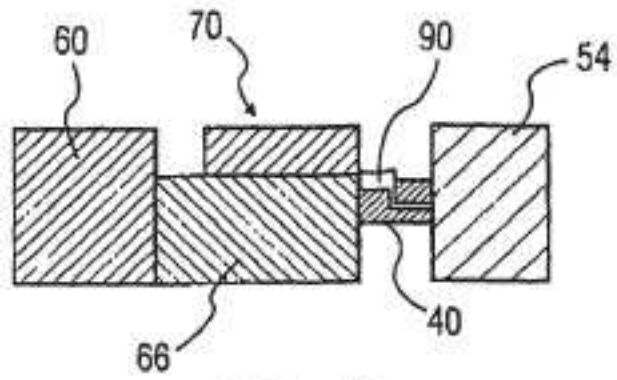


FIG. 4A

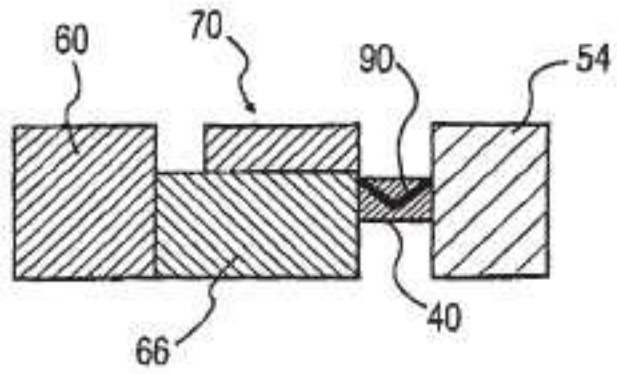


FIG. 4B

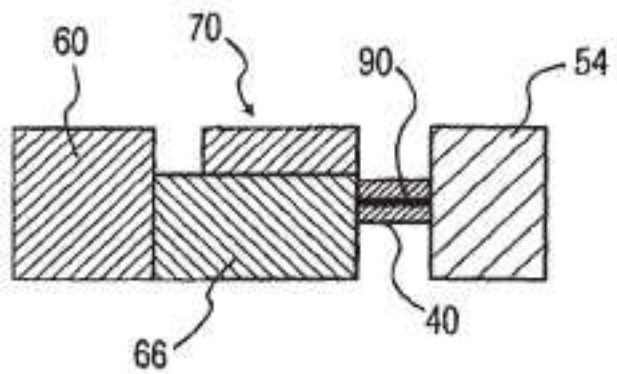


FIG. 4C

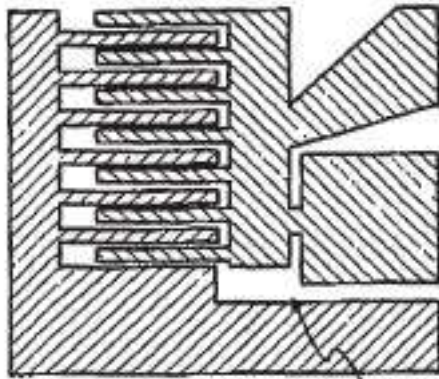


FIG. 5A

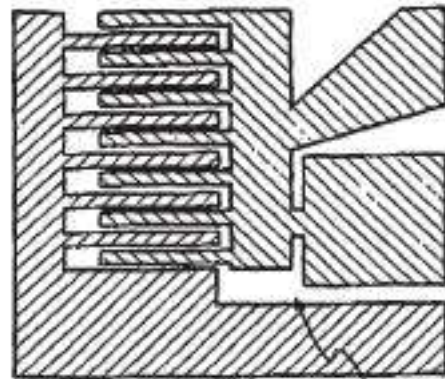


FIG. 5B

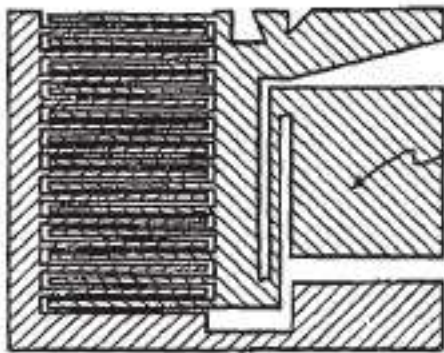


FIG. 5C

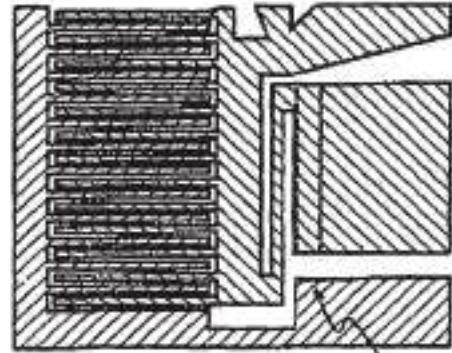


FIG. 5D

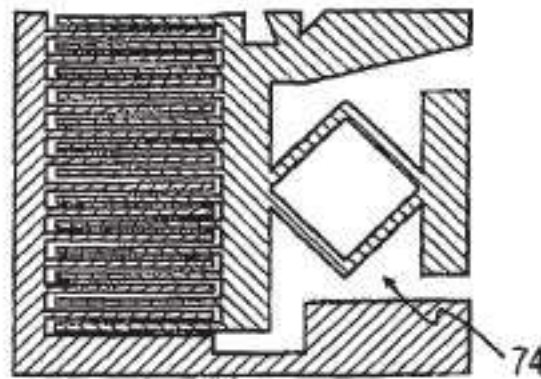


FIG. 5E

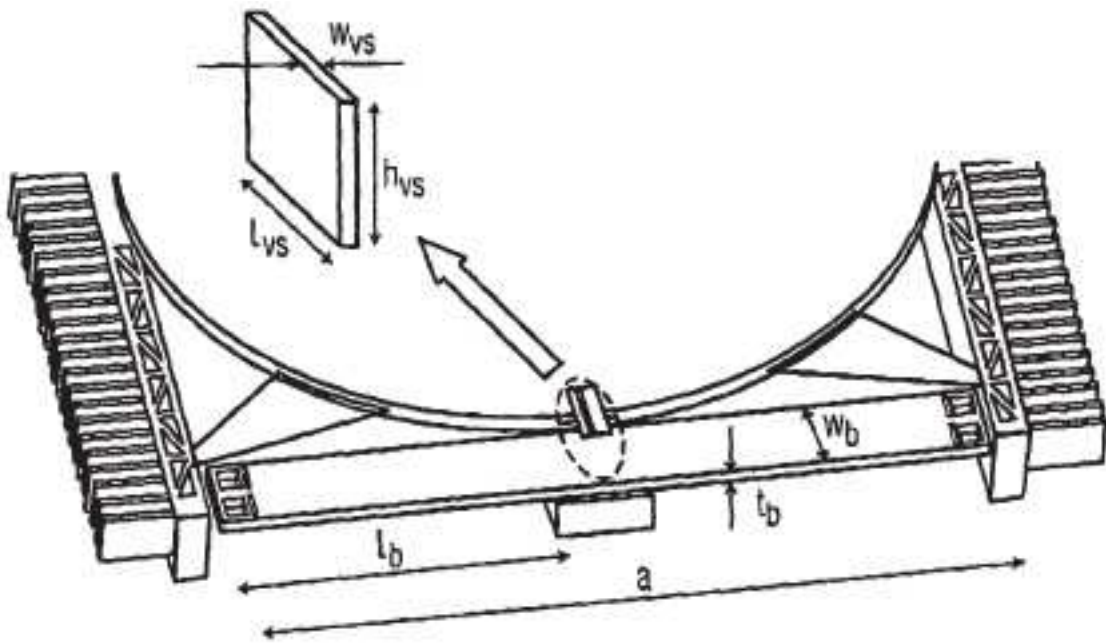


FIG. 6

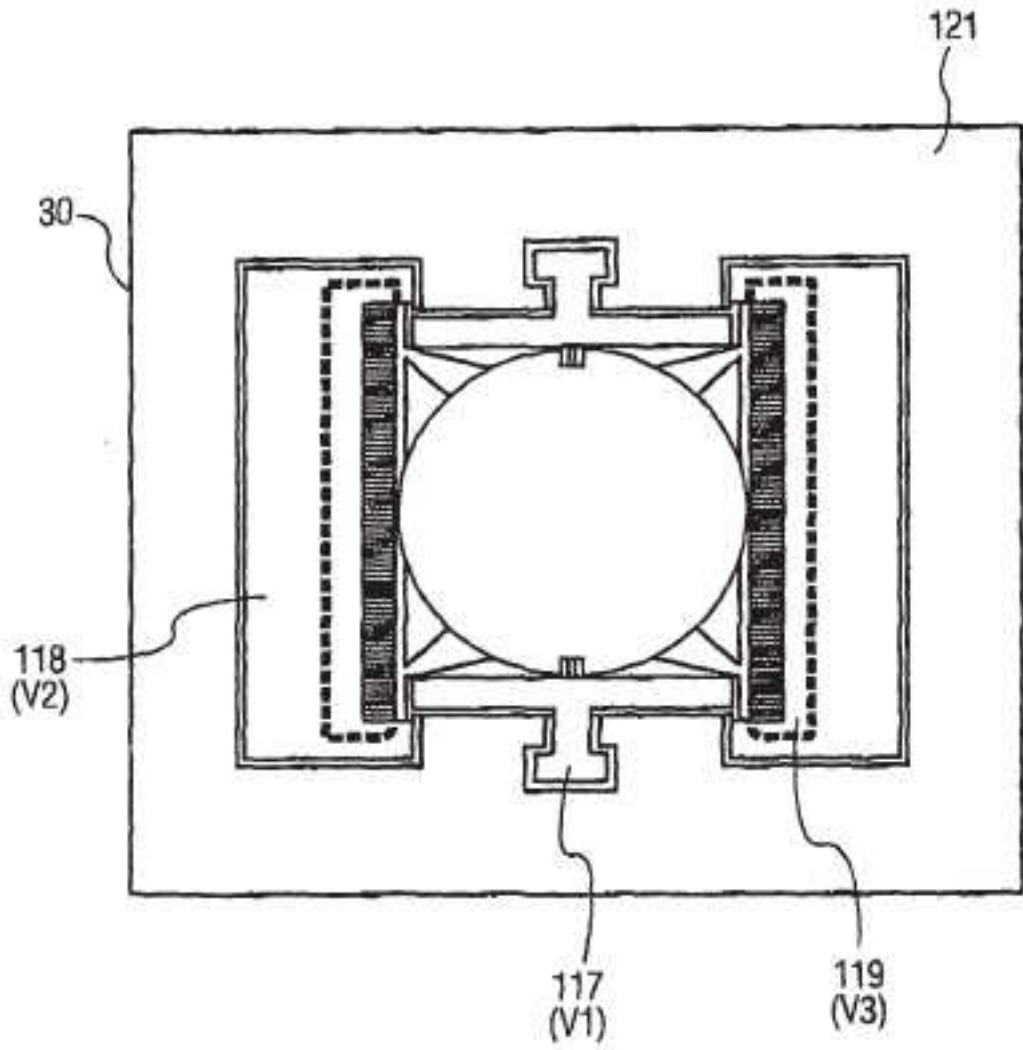


FIG. 7

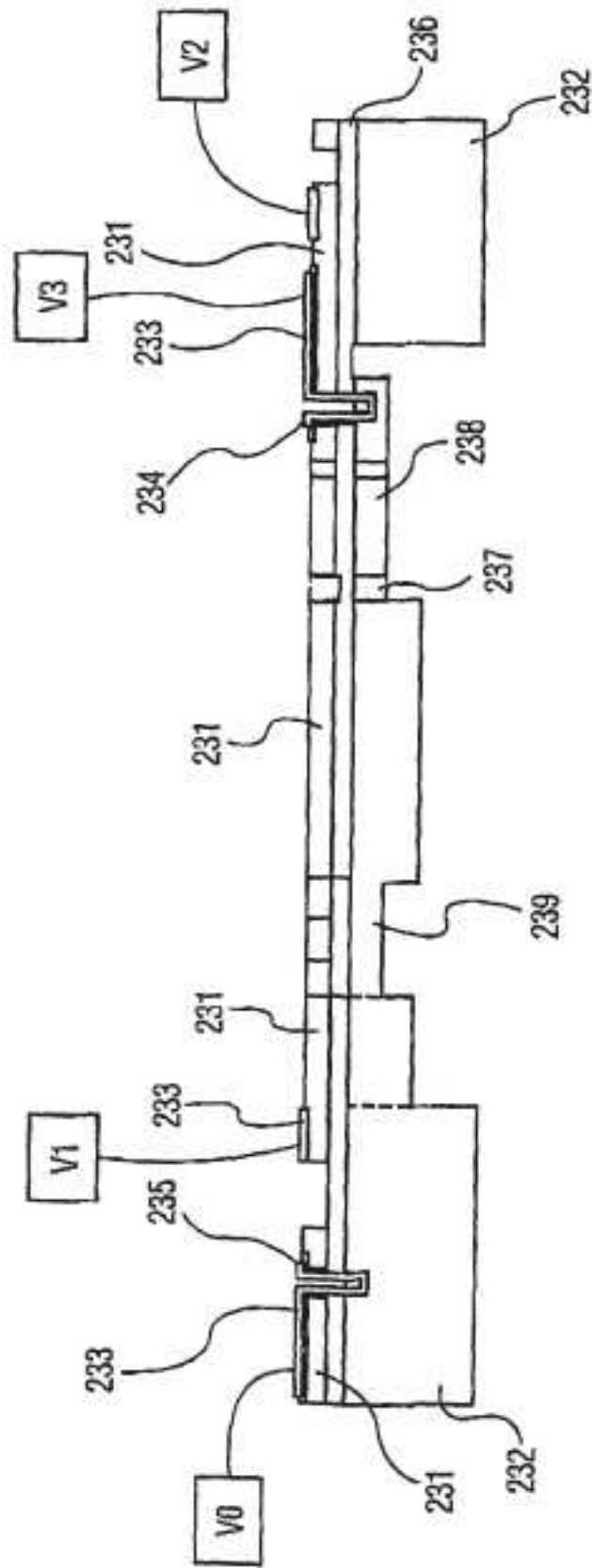


FIG. 8

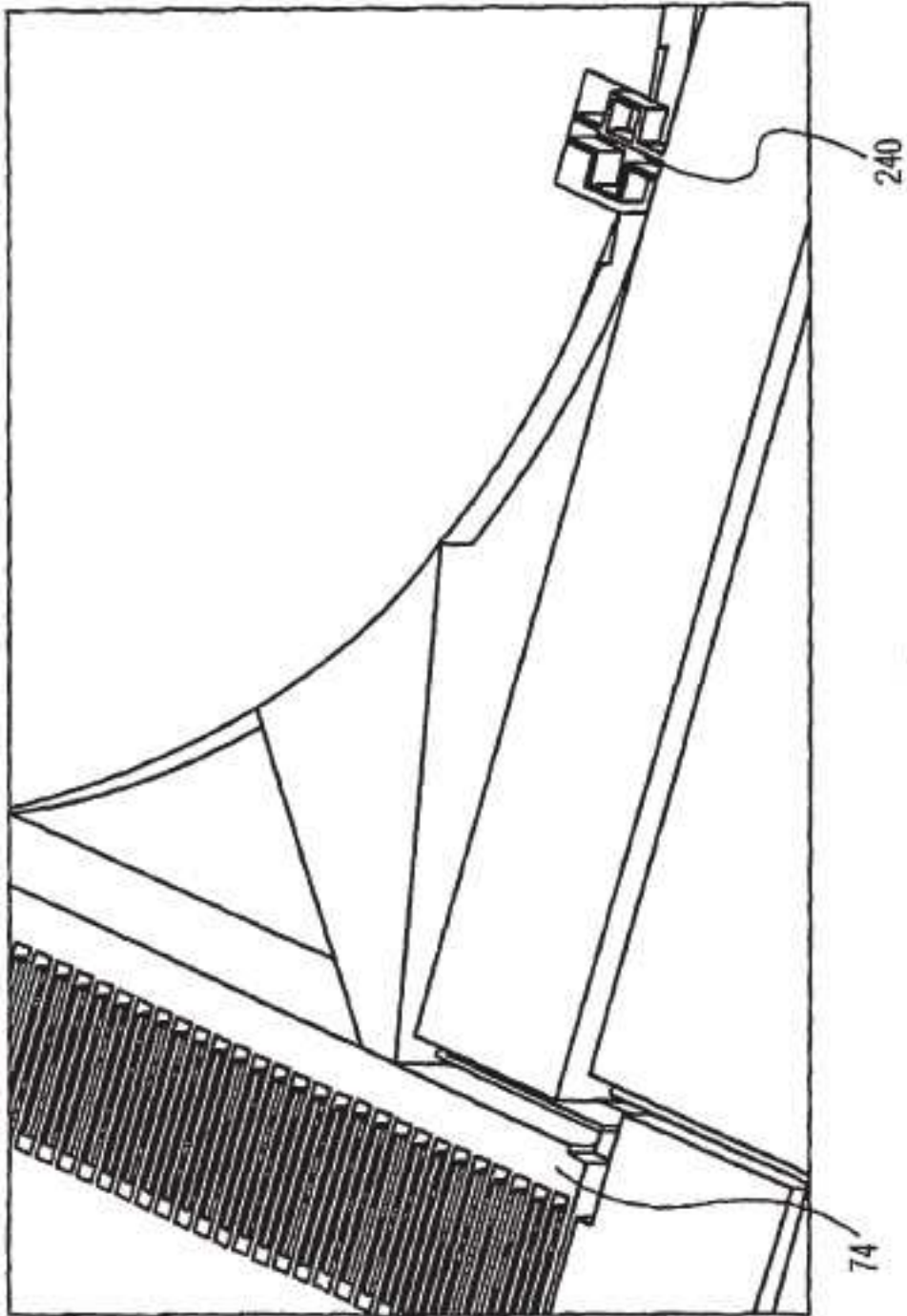


FIG. 9