



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 743**

51 Int. Cl.:  
**G02B 26/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08835670 .4**

96 Fecha de presentación : **02.10.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2201421**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2010**

54 Título: **Microespejo de escaneo MEMS con deformación dinámica reducida.**

30 Prioridad: **05.10.2007 US 977713 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**13.09.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**13.09.2011**

73 Titular/es: **INNOLUCE B.V.**  
**Torenallee 20**  
**5617 BC Eindhoven, NL**

72 Inventor/es: **Krastev, Krassimir, T.;**  
**Van Lierop, Hendrikus, W.,L.,A.,M.;**  
**Soemers, Hermanus, M.,J.,R. y**  
**Sanders, Renatus, H.,M.**

74 Agente: **Molinero Zofío, Félix**

**ES 2 364 743 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 de escaneo MEMS con deformación dinámica reducida.

**[0001]** El campo técnico de esta exposición se refiere a los *Sistemas Micro Electro Mecánicos* (MEMS, por las siglas de su expresión inglesa, *Micro Electro Mechanical Systems*), particularmente, microespejos MEMS de escaneo.

5 **[0002]** Los microespejos de escaneo MEMS se han desarrollado para la presentación de información visual. El microespejo MEMS de escaneo oscila en una o dos dimensiones y un rayo láser u otro rayo de luz se refleja desde la superficie del espejo. La variación del ángulo y el cronometraje del rayo incidente en la superficie del espejo genera una imagen visual en una pantalla u otra superficie, tal como una matriz de monitor de dos dimensiones. Se utilizan diferentes números de microespejos de escaneo MEMS y láseres para producir imágenes de diferente detalle y colores.  
10 Los usos a manera de ejemplo de los microespejos de escaneo MEMS son los monitores en primer plano para aplicaciones automotoras, monitores utilitarios, monitores para proyecciones, teléfonos móviles y monitores manuales y escáneres de código de barras.

15 **[0003]** La generación actual de microespejos de escaneo MEMS incluye una placa del espejo sujeta a un marco mediante dos barras colineales de torsión lo cual crea un eje de escaneo alrededor del cual rota la placa del espejo. Las barras de torsión sostienen ambas la placa del espejo y proporcionan la rigidez de torsión requerida durante la rotación. Las barras de torsión son el único punto de sujeción entre la placa del espejo y el marco, y determinan la frecuencia resonante del microespejo de escaneo MEMS. El microespejo de escaneo MEMS también incluye un conductor para aplicar magnética o eléctricamente una fuerza de torsión a la placa del espejo alrededor del eje de escaneo sin contacto físico con la placa del espejo. El conductor típicamente conduce a la placa del espejo a la frecuencia resonante. Los microespejos de escaneo MEMS están contruidos a partir de material monocristalino de silicio o polisilicio utilizando fotolitografía.  
20

25 **[0004]** Los problemas con la calidad de la imagen en la generación actual de microespejos de escaneo MEMS ocurren debido a la deformación dinámica del espejo. La alta resolución de la imagen es deseable para una mejor calidad de imagen y mayores presentaciones. La deformación no debe ser mayor de  $\pm \lambda/10$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda más corta de láser utilizada en la aplicación de escaneo. La resolución de la imagen es proporcional al producto del ángulo de escaneo y el diámetro del microespejo. La mayor resolución de la imagen requiere de mayores ángulos de escaneo, lo cual incrementa el estrés en la barra de torsión, o mayor diámetro del espejo, lo cual incrementa la deformación dinámica del espejo. En ambos casos se requieren mayores frecuencias de escaneo, lo cual incrementa la deformación dinámica del microespejo. Debido a que las barras de torsión son el único punto de sujeción del microespejo, cuando oscilan a la frecuencia de resonancia la placa del espejo y el espejo se deforman bajo las fuerzas de aceleración, balanceadas por las fuerzas de restauración en la suspensión de la barra de torsión.  
30

35 **[0005]** La combinación de estas fuerzas induce un patrón típico de deformación en la superficie del microespejo con forma de S en las secciones transversales perpendiculares al eje de inclinación del microespejo y deformación en forma de arco o de montura paralela al eje de inclinación con dirección opuesta en las secciones transversales en ambos lados del eje. En las secciones transversales paralelas al eje de inclinación, la mayor desviación de la linealidad debida a la deformación aparece entre sus puntos de los extremos y puntos medios y es mayor en los lados del microespejo paralelos al eje.

40 **[0006]** Un enfoque para reducir la deformación dinámica del microespejo consiste en hacer la placa del espejo más gruesa para que resista mejor los momentos de doblaje. Desafortunadamente, la mayor masa del microespejo y el momento de masa inercial requiere de mayor rigidez de suspensión para mantener cierta frecuencia de resonancia, lo cual conduce a estrés incrementado en el material de suspensión. El estrés en la suspensión del microespejo es un factor limitante con vistas a la obtención de mayores frecuencias de oscilación y mejor resolución de escaneo. La masa extra en el sistema de entrada reduce las frecuencias de modo de resonancia fuera de plano del microespejo y hace al oscilador más vulnerable a oscilaciones parásitas debido a imperfecciones y disturbios externos, lo cual reduce igualmente el desempeño y calidad de la imagen. Por lo tanto, el espesor incrementado y el momento de masa inercial limitan aún más la calidad de la imagen a obtener. Añadiendo masa **27** a ambos lados de las barras de torsión para balancear la deformación debido a las fuerzas inerciales tal como se ilustra en la **Figura 1**, tiene igualmente un efecto similar sobre la calidad de la imagen.  
45

50 **[0007]** Otro enfoque para reducir la deformación dinámica del microespejo ha sido el incremento en espesor, pero retira el material de la parte trasera de la placa del espejo debajo de la superficie del microespejo para reducir la masa. La **Figura 1** es una vista en perspectiva de la parte inferior de una placa del espejo con un patrón de marco de diamante. La placa del espejo **20** con un eje de rotación **22** forma contrafuertes en forma de diamante **26** perpendiculares al eje de rotación **22** mediante el retiro de recortes triangulares **28**. Los contrafuertes en forma de diamante **26** actúan como una barra directa transversal al eje de rotación **22**, con la mayor masa cercana al eje de rotación **22** para impartir resistencia y la menor masa alejada del eje de rotación **22** para reducir el momento de inercia. El ancho del último contrafuerte en forma de diamante **26** es grande cerca del eje de rotación **22** definido por la barra de torsión **29** ya que el estrés operante es elevado en esta área. Otro sistema de retiro de material forma un patrón  
55

5 uniforme en forma de avispero a lo largo de la parte posterior de la placa del espejo. Aunque los patrones en forma de diamante y de avispero reducen la inercia de la masa y por lo tanto las fuerzas actuantes sobre la placa del espejo, ellos también reducen la rigidez de torsión de la placa del espejo **20** a lo largo del eje de rotación **22**, lo cual conduce a una reducción insuficiente de la deformación dinámica del microespejo. Ellos no logran acoplar de manera óptima los puntos del microespejo sujeto a la mayor deformación en dirección paralela al eje de rotación, los cuales son las esquinas y los puntos medios de los lados del microespejo.

**[0008]** Un marco de refuerzo para un apoyo de espejo que tiene una baja deformación dinámica es expuesto por Shu-Ting Hsu et al. en *"Ultra flat high resolution microscanners"*, *Optical MEMS and Nanophotonics*, 2007, IEEE, p. 197-198.

10 **[0009]** Sería deseable tener un microespejo de escaneo MEMS con deformación dinámica reducida que superara las desventajas anteriores.

**[0010]** Un aspecto de la presente invención proporciona un apoyo de espejo según la reivindicación 1.

**[0011]** Otro aspecto de la presente invención proporciona un método para la fabricación de un apoyo de espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la reivindicación 12.

15 **[0012]** Las características y ventajas anteriores y otras de la presente invención se harán aún más obvias a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferentes al presente, leídas de conjunto con los dibujos acompañantes. La descripción detallada y los dibujos son simplemente ilustrativos de la presente invención y no limitantes del alcance de la presente invención que se define por medio de las reivindicaciones adjuntas y equivalentes de éstas.

20 **La Figura 1** es una vista en perspectiva de la parte inferior de una placa del espejo con un patrón de marco de diamante;

**Las Figuras 2A-2B** son una vista de la parte superior y sección transversal respectivamente, de un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

25 **La Figura 3** es una vista detallada en perspectiva de estructuras dentadas para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

**Las Figuras 4A-4B** son vistas de la parte superior de otras realizaciones de un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

**Las Figuras 5A-5C** son vistas detalladas de sección transversal de hojas de muelle para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

30 **La Figura 6** es una vista de la parte inferior de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

**La Figura 7** es una vista de la parte inferior de otra realización de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

35 **Las Figuras 8A-8B** son vistas en perspectiva de las partes superior e inferior respectivamente de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención; y

**Las Figuras 9A-9B** son gráficos del módulo de Young para silicio con orientaciones de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención; y

**La Figura 10** es una vista del extremo de otra realización de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención;

40 **Las Figura 11A-11E** son vistas detalladas de la parte superior de articulaciones flexibles de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención; y

**La Figura 12** es una vista detallada en perspectiva que ilustra las dimensiones de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención.

#### **Apéndice I: Conexiones Eléctricas del Mecanismo de Accionamiento**

45 **Las Figuras 2A-2B** en las cuales los elementos similares comparten iguales números de referencia, son una vista de la parte superior y lateral, respectivamente, de un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. **La Figura 2B** es una sección transversal a lo largo de la sección A-A de la **Figura 2A** con el cuerpo del espejo inclinado alrededor del eje de rotación. El microespejo de escaneo MEMS utiliza un par de montajes de barras de contrapeso acopladas a un cuerpo del espejo en sus esquinas exteriores para fijar la rigidez de

torsión alrededor del eje de rotación. Un par de barras de apoyo vertical sostienen el cuerpo del espejo verticalmente en el eje de rotación, pero tienen un efecto despreciable sobre la rigidez de torsión, de manera que la frecuencia natural del cuerpo del espejo está determinada sustancialmente por los montajes de barras de contrapeso. La frecuencia natural es sustancialmente independiente de las barras de apoyo vertical. La frecuencia natural tal como se define aquí es la frecuencia no amortiguada del cuerpo del espejo alrededor de su eje de rotación. Las barras de apoyo vertical definen el balanceo fuera de plano y rigidez de modo vertical para las frecuencias de modo resonantes correspondiente. La rigidez de torsión puede ser desacoplada del balanceo fuera de plano y rigidez de modo vertical de manera que las frecuencias de balanceo fuera de plano y frecuencias de modo vertical puedan fijarse en valores deseados, tales como valores superiores, sin influir en la rigidez de modo de torsión y frecuencia resonante. Como se define aquí, el eje Y corre a lo largo del eje de rotación, el eje X es perpendicular al eje Y sobre el plano del espejo cuando el espejo descansa, y el eje Z es perpendicular a y fuera del plano del espejo cuando el espejo descansa.

**[0013]** El espejo de escaneo MEMS **30** incluye un cuerpo del espejo **50**, un marco **60**, montajes de barras de contrapeso **70**, y barras de apoyo vertical **40**. El cuerpo del espejo **50** tiene un espejo **52** sobre un apoyo del espejo **54**, y brazos de extensión **56**. En una realización, el espejo **52** está formado sobre el apoyo del espejo **54**. En otra realización, el espejo **52** está sujeto al apoyo del espejo **54**. El cuerpo del espejo **50** puede ser cuadrado, rectangular, circular, elíptico, o cualquier otra configuración plana deseada para una aplicación particular. La cara del espejo define un plano de espejo del apoyo del espejo **54**. Los expertos en la técnica apreciarán que la configuración del espejo **52** y el apoyo del espejo **54** son independientes y pueden ser de cualquier configuración deseada para una aplicación en particular, e. g., un círculo, elipse, cuadrado, rectángulo, u otra configuración deseada. Los brazos de extensión **56** son paralelos al eje de rotación **58** del cuerpo del espejo **50**, el cual es el eje de rotación para el microespejo de escaneo MEMS **30**. El cuerpo del espejo **50** está colocado dentro de un receso del espejo **62** del marco **60**.

**[0014]** El marco **60** forma el receso del espejo **62** con una periferia del receso **64**. Los brazos opuestos del marco **66** están situados sobre la periferia del receso **64** a lo largo del eje de rotación **58** y proporcionan los puntos de conexión para los montajes de barras de contrapeso **70** y las barras de apoyo vertical **40**.

**[0015]** Los montajes de barras de contrapeso **70** incluyen barras de contrapeso **72** sujetas a los brazos opuestos del marco **66** perpendiculares al eje de rotación **58**. Los montajes de barras de contrapeso **70** proporcionan rigidez de torsión al cuerpo del microespejo **50** alrededor del eje de rotación **58**. Las barras de contrapeso **72** están también acopladas de manera flexible o acomodadas al extremo de los brazos de extensión **56** del cuerpo del espejo **50** con articulaciones flexibles **74**. Las articulaciones flexibles **74** tiene baja rigidez de torsión alrededor de sus ejes paralelos al eje de rotación **58** (alrededor del eje Y) y rigidez reducida perpendicular al eje de rotación **58** (el eje X), lo cual le permite al cuerpo del espejo **50** rotar alrededor de las barras de apoyo vertical **40** con respecto al eje de rotación **58**. La sujeción del cuerpo del espejo **50** a los cuatro puntos fuera del eje de rotación **58** reduce la deformación dinámica en el cuerpo del espejo **50**. La rigidez de torsión para la rotación del espejo alrededor del eje Y se define por el largo, ancho y más importante el espesor de las barras de contrapeso **72** y la distancia entre las articulaciones flexibles **74** para el par de barras de contrapeso **72** en un montaje de barra de contrapeso **70**. La rigidez combinada en la dirección X de las barras de apoyo vertical **40** y las articulaciones flexibles **74** evitan el movimiento del cuerpo del espejo **50** perpendicular al eje de rotación **58** (en la dirección X) durante la operación. En la **Figura 11** más adelante se proporciona más detalle sobre las articulaciones flexibles **74**.

**[0016]** Las barras de apoyo vertical **40** están conectadas entre los brazos opuestos del marco **66** y el cuerpo del espejo **50** a lo largo del eje de rotación **58** para sostener al cuerpo del espejo **50** en el marco **60**. En una realización, las barras de apoyo vertical **40** tienen secciones transversales estrechas rectangulares perpendiculares al eje de rotación **58**, con el eje largo del rectángulo perpendicular a la cara del espejo **52** y al cuerpo del espejo **50**, y el eje corto del rectángulo paralelo a la cara del espejo **52**. La rigidez de torsión del microespejo de escaneo MEMS **30** es proporcionada por los montajes de las barras de contrapeso **70**, de manera que las barras de apoyo vertical **40** solo se requieren para sostener al cuerpo del espejo **50** y tienen un efecto despreciable sobre la rigidez de torsión. La rigidez de torsión de las barras de apoyo vertical **40** es tan baja como sea posible de manera que la rigidez de torsión del movimiento de balanceo del cuerpo del microespejo alrededor de las barras de apoyo vertical **40** con relación al eje de rotación **58** es dominada por la rigidez de las barras de contrapeso **72**. Las barras de apoyo vertical **40** están dimensionadas de manera que la rigidez contra el desplazamiento vertical del cuerpo del espejo **50** y contra su movimiento de balanceo perpendicular al eje de rotación **58** (alrededor del eje X) sea lo más elevada posible.

**[0017]** El microespejo de escaneo MEMS **30** puede incluir también el mecanismo de accionamiento **80** para proporcionar una fuerza de torsión que conduzca al cuerpo del espejo **50** alrededor del eje de rotación **58**. En una realización, el mecanismo de accionamiento **80** incluye peinetas del espejo **82** sujetas a los brazos de extensión **56** interfoliadas con peinetas del marco **84** sujetas al marco **60**. Al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre una peineta interfoliada del espejo **82** y una peineta del marco **84** se crea una fuerza de conducción entre las peinetas del espejo **82** y las peinetas del marco **84**, lo cual crea una fuerza de torsión sobre el cuerpo del espejo **50** alrededor del eje de rotación **58**. Un potencial oscilatorio eléctrico puede aplicarse para conducir al microespejo **30** de escaneo MEMS a su frecuencia natural. Otros métodos a manera de ejemplo de accionamiento incluyen accionamiento electromagnético y mecanismos de accionamiento piezoeléctricos. En el accionamiento electromagnético, el microespejo está "inmerso"

en un campo magnético y una corriente eléctrica alterna entre los circuitos conductivos crea la fuerza de torsión oscilatoria requerida alrededor del eje de rotación **58**. Los mecanismos de accionamiento piezoeléctricos pueden integrarse a las barras de contrapeso o las barras de contrapeso pueden estar construidas de material piezoeléctrico para producir fuerzas alternas para doblar las barras en respuesta a una señal eléctrica y generar la fuerza de torsión oscilatoria requerida.

**[0018]** El microespejo de escaneo MEMS puede fabricarse a partir de silicio monocristalino o material de polisilicio utilizando fotolitografía. La **Figura 3** en la cual elementos similares comparten números de referencia iguales a los de la **Figura 2**, es una vista detallada en perspectiva de estructuras dentadas para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. Las estructuras dentadas **100** de las peinetas del espejo **82** están interfoliadas con las estructuras dentadas **110** de las peinetas del marco **84**. En una realización, el microespejo de escaneo puede fabricarse a partir de una oblea de silicio con aislante incorporado (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 la peinetas del espejo **82** y la peinetas del marco **84** pueden fabricarse de manera que la capa aislante divida las peinetas en paralelo al espejo, produciendo porciones eléctricas superiores e inferiores eléctricamente aisladas en cada una de las estructuras dentadas. Las estructuras dentadas **100** de la peinetas del espejo **82** incluye primeras porciones eléctricas **102** y segundas porciones eléctricas **104** separadas mediante capa aislante **106**. Las estructuras dentadas **110** de la peinetas del marco **84** incluyen primeras porciones eléctricas **112** y segundas porciones eléctricas **114** separadas mediante capa aislante **116**. La aplicación de una diferencia en potencial eléctrico entre las porciones eléctricas superiores en la peinetas del espejo **82** y las porciones eléctricas inferiores en la peinetas del marco **84**, o viceversa, puede utilizarse para generar una fuerza conductora inicial entre las peinetas del espejo **82** y las peinetas del marco **84** cuando las peinetas del espejo **82** y las peinetas del marco **84** están alineadas y el cuerpo del espejo **50** descansa. En una realización, los montajes de barras de contrapeso pueden fabricarse en la capa superior de silicio de la oblea de silicio con aislante incorporado y pueden llevar el potencial eléctrico a las primeras porciones eléctricas de la parte superior **102** de las peinetas del espejo **82**. En otra realización, las barras de apoyo vertical pueden fabricarse en la capa inferior de silicio de la oblea de silicio con aislante incorporado y pueden llevar el potencial eléctrico a las segundas porciones eléctricas de la parte inferior **104** de las peinetas **82**.

**[0019]** Las **Figuras 3B-3E** ilustran la acción de las peinetas del espejo **82**. Con referencia a la **Figura 3B**, el espejo está oscilando, con los dientes de las peinetas del espejo lejos de los dientes del marco y moviéndose hacia ellos. **102** y **104** están conectados al potencial de tierra. El potencial conductor se aplica a **112** y **114** desde la amplitud máxima a la posición alineada de las estructuras dentadas.

**[0020]** Con referencia a la **Figura 3C**, el espejo está oscilando en la dirección a favor de las agujas del reloj, cuando las estructuras dentadas están en posición alineada. El ciclo conductor para las estructuras dentadas tradicionales de monolito se detiene aquí. El potencial conductor debe apagarse en la posición de las estructuras dentadas alineadas si no hay separación de las estructuras dentadas en las partes eléctricas superior e inferior. Para estructuras dentadas con separación de la presente invención: el potencial se aplica entre **102** (aterrado) y **114** hasta que **102** se alinee con **114**, para que las estructuras dentadas con separación inyecten más energía por ciclo de oscilación para igualar otras condiciones.

**[0021]** Con referencia a la **Figura 3D**, el espejo está oscilando. Cuando las capas en oposición **102** y **114** de las estructuras dentadas con separación están en posición alineada (no se crea fuerza de torsión); el potencial de conducción entre ellas debe apagarse.

**[0022]** Con referencia a la **Figura 3D**, el espejo está oscilando en la posición del extremo (**Figura 3B**). Para la rotación en la dirección opuesta los potenciales de conducción se accionan en "orden reflejada por el espejo" a la dada en las **Figuras 4B-4D**:

1. **102**, **104** aterrado y **112**, **114** al potencial de conducción;
2. potencial de conducción entre **104** (aterrado) y **112**;
3. potenciales de conducción apagados.

**[0023]** Las **Figuras 4A-4B**, en las cuales los elementos similares comparten iguales números de referencia entre sí y con la **Figura 2**, son vistas de la parte superior de otras realizaciones de un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En estas realizaciones, los muelles de hoja acoplados de manera flexible entre las barras de contrapeso de los montajes de barras de contrapeso y el cuerpo del espejo pueden utilizarse para darle rigidez al cuerpo del espejo del microespejo de escaneo MEMS contra anomalías en el plano e incremento de deslizamiento en el plano y rigidez de rotación de la suspensión del espejo. Los muelles de hoja acoplan mediante amortiguamiento el cuerpo del microespejo a los montajes de barras de contrapeso.

**[0024]** Los muelles de hoja pueden colocarse a lo largo de las barras de contrapeso tal como se desee para una aplicación en particular. Con referencia a la **Figura 4A**, los muelles de hoja **90** están acoplados de manera flexible entre las barras de contrapeso **72** de los montajes de barras de contrapeso **70** y el cuerpo del espejo **50**. En este ejemplo, las

hojas de muelle **90** están cerca de las barras de apoyo vertical **40** y las barras opuestas del marco **66**. Con referencia a las **Figura 4B**, las hojas de muelle **90** están acopladas de manera flexible entre las barras de contrapeso **72** de los montajes de barras de contrapeso **70** y el cuerpo del espejo **50**. En este ejemplo, las hojas de muelle **90** están cerca de las articulaciones flexibles **74**.

5 **[0025]** Las **Figuras 5A-5C** en las cuales los elementos similares comparten iguales números de referencia entre sí y con la **Figura 4**, son vistas detalladas de sección transversal a lo largo de la sección B-B de la **Figura 4A** de hojas de muelle para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. Las hojas de muelle **90** tienen diferentes configuraciones para proporcionar diferente rigidez. Con referencia a las **Figuras 5A, 5B, 5C**, las hojas de muelle **90** tienen forma de L, V y planas, respectivamente. Las hojas de muelle **90** pueden colocarse en alrededor de la misma altura con respecto al espejo (en la dirección Z) al igual que las barras de apoyo vertical **40**. En una realización, la pata inferior de la línea L en la hoja de muelle 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 la hoja de muelle en forma de V está a la misma altura que el eje de rotación **58**. En una realización, la hoja de muelle plana, está a la misma altura que el eje de rotación **58**.

15 **[0026]** La **Figura 6**, en la cual los elementos similares comparten iguales números de referencia con la **Figura 2**, es una vista de la parte inferior de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En este ejemplo, las traviesas de las barras X tienen una sección transversal uniforme. El cuerpo del espejo **50** incluye un espejo **52** y un apoyo del espejo **54**. El apoyo del espejo **54** incluye una barra del eje de rotación **120** que tiene un eje de rotación **58**, brazos de extensión **56** paralelos al eje de rotación **58**, y barras X **130**. Cada uno de los brazos de extensión **56** tiene un primer extremo **140**, un punto medio **142**, y un segundo extremo **144**. Cada una de las barras X **130** tiene traviesas **132** conectadas en un punto medio transversal **134**. Los extremos **136, 137** de una de las barras X **130** están conectados al primer extremo **140** y al punto medio **142** de los brazos de extensión **56**. Los extremos **138, 139** de la otra de las barras X **130** están conectados al punto medio **142** y al segundo extremo **144** de los brazos de extensión **56**. La barra del eje de rotación **120** está conectada a los puntos medios transversales **142** de las barras X **130**. Para ambos brazos de extensión **56**, las traviesas **132** conectan al primer extremo de uno de los brazos de extensión **56** al punto medio de los otros brazos de extensión **56**. Esto le aporta rigidez al apoyo del espejo **54** para reducir la deformación dinámica. En una realización, el apoyo del espejo **54** puede incluir brazos laterales opcionales **150** conectados entre los primeros extremos **140** de los brazos de extensión **56** y conectados entre los segundos extremos **144** de los brazos de extensión **56**, con los brazos laterales **150** perpendiculares al eje de rotación **58**. Los brazos laterales opcionales **150** son muy útiles para diseños de microespejo suspendidos mediante barra de torsión. En otra realización, los brazos laterales opcionales **150** pueden omitirse.

25 **[0027]** Los expertos en la técnica apreciarán que el apoyo del espejo con barras X puede utilizarse con montajes de barras de contrapeso o con barras de torsión tal como se desee para una aplicación en particular. Con los montajes de barras de contrapeso, los extremos de los montajes de barras de contrapeso están acoplados a los extremos de los brazos de extensión y los extremos de la barra del eje de rotación están conectados a brazos opuestos del marco a través de barras de apoyo vertical. Con las barras de torsión, los extremos de la barra del eje de rotación pueden conectarse a la periferia del receso, del receso del espejo del marco.

35 **[0028]** La **Figura 7** en la cual los elementos similares comparten iguales números de referencia con las **Figuras 2 y 6**, es una vista de la parte inferior de otra realización de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En este ejemplo, las traviesas de las barras X tienen una sección transversal más pequeña en el brazo de extensión que en la barra del eje de rotación, y las traviesas en forma de arco como paralelogramos. La configuración de paralelogramo, la cual en este ejemplo es un rombo, paralelo al plano del espejo puede observarse extendiendo los bordes de las traviesas dentro de la barra del eje de rotación, como indican las líneas discontinuas.

45 **[0029]** En esta realización, el montaje de barras de contrapeso **70** está sujeto a uno de los brazos opuestos del marco **66** y acoplado al primer extremo **140** de los brazos de extensión **56** a través de las articulaciones flexibles **74**. El otro montaje de barras de contrapeso **70** está sujeto al otro de los brazos opuestos del marco **66** y está acoplado al segundo extremo **144** de los brazos de extensión **56** a través de articulaciones flexibles **74**. Las barras de apoyo vertical **40** están conectadas entre cada uno del par de brazos opuestos del marco **66** a los extremos **124** de la barra del eje de rotación a lo largo del eje de rotación **58**. Peinetas del espejo **82** están sujetas a los brazos de extensión **56**. La barra del eje de rotación **120** tiene una sección transversal mayor entre los puntos medios transversales **134** en el punto medio de la barra del eje de rotación **122** que entre el punto medio transversal **134** y el extremo **124** de la barra del eje de rotación **120** más cercano al punto medio transversal **134**.

55 **[0030]** Las **Figuras 8A-8B** en las cuales los elementos similares comparten iguales números de referencia con las **Figuras 2 y 6**, son vista en perspectiva de la parte superior y vista en perspectiva de la parte inferior, respectivamente, de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. El marco **60** tiene un receso del espejo **62** con una periferia del receso **64**. Un primer brazo opuesto del marco **66** y un segundo brazo opuesto del marco **66** están situados sobre la periferia del receso **64** a lo largo del eje de rotación **58**. Los brazos opuestos del marco **66** están sujetos a los montajes de las barras de contrapeso **70** y acoplados a la barra del eje de rotación a través de las barras de apoyo vertical **40**.

5 **[0031]** Las **Figuras 9A-9B** son gráficos del módulo de Young para silicio con orientaciones de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. Cuando se utiliza silicio monocristalino para fabricar el cuerpo del espejo, para máxima rigidez de doblaje las traviesas colocadas en la configuración en forma de X pueden orientarse a lo largo de la dirección del módulo superior de Young en la oblea de silicio, i. e., a lo largo de dirección de mayor rigidez del material, para reducir la deformación dinámica. Las **Figuras 9A-9B** son gráficos para obleas de silicio monocristalino, (100) y (110) respectivamente.

10 **[0032]** Con referencia a la **Figura 9A**, los ejes de rotación **58** del cuerpo rectangular del espejo **50a** y el cuerpo cuadrado del espejo **50b** están orientados a lo largo de la dirección <100> o <010>, orientando las traviesas **132** a lo largo de la dirección que tenga el máximo módulo de Young (alrededor de 170 GPa). Los expertos en la técnica apreciarán que el eje de rotación **58** del cuerpo del espejo **50** puede orientarse también a lo largo de la dirección <100> o la dirección <010> debido a la simetría del módulo de Young para obleas (100).

15 **[0033]** Con referencia a la **Figura 9B**, para una máxima rigidez de doblaje de la traviesa el eje de rotación **58** del cuerpo del espejo **50a** puede orientarse a lo largo de la dirección <001> para configuraciones rectangulares o elípticas del microespejo con el eje mayor a lo largo del eje de rotación **58**. Para máxima rigidez de doblaje de la traviesa, el eje de rotación **58** del cuerpo del espejo **50b** puede orientarse a lo largo de la dirección <001> para microespejos de configuración circular y cuadradas. Cuando en diseños particulares de espejos pueda existir una diferencia muy pequeña en el módulo E a lo largo de la longitud de las traviesas **132** con las orientaciones tanto <001> y <110> del eje de rotación sobre las obleas (110), los expertos en la técnica apreciarán que la orientación del espejo puede seleccionarse para la rigidez de doblaje de las barras de contrapeso **72** y las barras de apoyo vertical **40**, o la rigidez deseada de la barra de torsión para un microespejo suspendido mediante barra de torsión.

20 **[0034]** Para obleas (110) como se ve en la **Figura 9B**, los microespejos de configuración circular y cuadrada tienen mayores módulos de Young a lo largo de las traviesas cuando el eje de inclinación del microespejo se orienta hacia la dirección <001>. Para dispositivos con configuraciones rectangulares o elípticas de microespejos con el lado más largo a lo largo del eje de rotación, la rigidez a lo largo de las traviesas es también mayor cuando el eje de rotación se orienta a lo largo de la dirección <001>.

25 **[0035]** El método de fabricación de un apoyo de espejo para un microespejo de escaneo MEMS pueden incluir la provisión de una oblea de silicio monocristalino que tenga una dirección de mayor rigidez del material; y formando el apoyo del espejo a partir de una oblea de silicio monocristalino. El apoyo del espejo incluye una barra del eje de rotación **120** que tiene un eje de rotación **58**, un par de brazos de extensión **56** paralelos al eje de rotación **58**, un par de barras en X **130** que tienen un par de traviesas **132** conectadas a cada uno de los pares de brazos de extensión **56** y conectadas a la barra del eje de rotación **120** en un punto medio transversal **134**. Las traviesas **132** están orientadas a lo largo de la dirección de mayor rigidez del material. La formación del apoyo del espejo a partir de la oblea de silicio monocristalino puede llevarse a cabo mediante fotolitografía con cualquiera de las técnicas de grabado al agua fuerte o seco como se desee para una aplicación en particular.

30 **[0036]** El eje de rotación **58** puede orientarse a lo largo de diferentes direcciones para diferentes obleas de silicio monocristalino. Cuando la oblea de silicio monocristalino es una oblea (100) de silicio monocristalino, el eje de rotación **58** puede orientarse a lo largo de una dirección <100>. Cuando la oblea de silicio monocristalino (100) es una oblea de silicio monocristalino, el eje de rotación **58** puede orientarse a lo largo de la dirección <010>. Cuando la oblea de silicio monocristalino (110) es una oblea de silicio monocristalino, el eje de rotación **58** puede orientarse a lo largo de una dirección <-110>. Cuando la oblea de silicio monocristalino (110) es una oblea de silicio monocristalino, el eje de rotación **58**, puede orientarse a lo largo de una dirección <001>.

35 **[0037]** La **Figura 10**, en la cual los elementos similares comparten iguales números de referencia con las **Figuras 2 y 6**, es una vista del extremo de otra realización de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En esta realización, la sección transversal de los brazos de extensión **56** perpendicular al eje de rotación es un rectángulo con un eje largo **160** perpendicular a un plano del espejo **162** un eje corto **164** paralelo al plano del espejo **162**. La relación de fase elevada (alto/ancho) de los brazos de extensión **56** reduce la deformación dinámica. En una realización, la relación de fase puede estar entre 4:1 y 6:1, tal como 5:1.

40 **[0038]** Las **Figuras 11A-11E** son vistas detalladas de la parte superior de articulaciones flexibles de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En la **Figura 11A**, la articulación flexible **74** es una flexión de relación de fase elevada conectada a la barra de contrapeso en ambos extremos y en el medio a los brazos de extensión. Las dimensiones típicas para un dispositivo de microespejo de 1 mm son: ancho 2,5-4µm, largo 60-80µm, la altura es la misma que el espesor de las barras de contrapeso. El ancho en los puntos de conexión es de alrededor de 10µm. En la **Figura 11B** la articulación flexible **74** incluye elementos adicionales de flexión que permiten pequeñas traslaciones del eje X. En la **Figura 11C-11D**, la articulación flexible **74** permite una mayor deformación en la dirección X a la vez que mantiene una elevada rigidez de doblaje en la dirección vertical y una elevada rigidez contra la rotación en el plano del microespejo. El largo de las articulaciones flexibles se eleva para reducir el estrés causado por la traslación en la dirección X. En la **Figura 11C**, la articulación flexible está hecha en la misma capa que las barras de contrapeso, de manera que la rigidez de la flexión queda limitada por el espesor de los contrapesos. En la **Figura 11D**,

la articulación flexible **74** ha incrementado la rigidez en la dirección vertical y contra doblaje en el plano Y-Z alcanzado mediante la fabricación de las mismas con altura incrementada en el cuerpo del material de silicio monocristalino bajo la capa aislante. En este caso, se necesita la estructura adicional tal como una conexión eléctrica para proporcionar el potencial a la parte superior de las estructuras dentadas móviles. En la **Figura 11E**, la articulación flexible **74**, las articulaciones flexibles en forma de L (rotadas en 45 grados) que conectan el brazo de extensión y la barra de contrapeso.

**[0039]** La **Figura 12** es una vista detallada en perspectiva que ilustra las dimensiones de un cuerpo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS según la presente invención. En una realización a manera de ejemplo, las dimensiones de las barras de contrapeso son:

- largo de la barra de contrapeso  $l_b = 420\mu\text{m}$
- ancho de la barra de contrapeso  $w_b = 100\mu\text{m}$
- espesor de la barra de contrapeso  $t_b = 17,5\mu\text{m}$
- distancia entre puntos opuestos de suspensión  $a = 950\mu\text{m}$

En una realización a manera de ejemplo, las dimensiones de las barras de apoyo vertical son:

- ancho de la barra de apoyo vertical  $w_{v5} = 6,2\mu\text{m}$
- alto de la barra de apoyo vertical  $h_{v5} = 36\mu\text{m}$
- largo de la barra de apoyo vertical  $l_{v5} = 62\mu\text{m}$

En otra realización a manera de ejemplo, las dimensiones de las barras de apoyo vertical que proporcionan una rigidez combinada de las articulaciones en la dirección de X es  $1,25 \times 10^3 \text{ n/M}$  son:

- ancho de la barra de apoyo vertical  $w_{v5} = 6,2\mu\text{m}$
- alto de la barra de apoyo vertical  $h_{v5} = 36\mu\text{m}$
- largo de la barra de apoyo vertical  $l_{v5} = 62\mu\text{m}$

**[0040]** La rigidez combinada de las barras verticales en la dirección de X es  $1,0 \times 10^4 \text{ N/m}$ . La rigidez de la barra domina la frecuencia natural de deslizamiento horizontal. Las articulaciones y la rigidez de las barras de contrapeso en la dirección de Y definen la frecuencia de modo de resonancia de rotación en el plano.

**[0041]** La frecuencia de oscilación de los escáneres de microespejo depende de la rigidez de la torsión de la suspensión y su momento de masa inercial alrededor del eje de inclinación. La rigidez de torsión contribuida por la rigidez de doblaje de las barras de contrapeso domina la frecuencia de modo resonante fundamental del microespejo. Para pequeños ángulos de oscilación, esta rigidez puede calcularse a partir de la fórmula siguiente:

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

**[0042]** Para un microespejo de 1 mm, la rigidez de torsión contribuida por las barras de contrapeso es de  $2,3 \times 10^{-4} \text{ Nm/rad}$ .

**[0043]** La rigidez de torsión a partir de las barras de apoyo vertical con las dimensiones antes mencionadas es de  $4,6 \times 10^{-6} \text{ Nm/rad}$ , la cual es 50 veces menor que la aportada por la rigidez de torsión de las barras de contrapeso. Las barras de apoyo vertical influyen con menos del 1% en la frecuencia fundamental de modo resonante de 18,7 kHz de nuestro diseño del microespejo de 1 mm. El momento de la masa inercial es de alrededor de  $1,7 \times 10^{-14} \text{ kgm}^2$ .

**[0044]** Las articulaciones flexibles **74** con rigidez de torsión combinada alrededor de  $1 \times 10^{-6} \text{ Nm/rad}$  contribuyen aún menos al incremento de la frecuencia fundamental de modo del microespejo.

**[0045]** En el mismo diseño, las barras de contrapeso contribuyen con alrededor de  $1,1 \times 10^3 \text{ N/m}$  de rigidez de doblaje al modo de oscilación fuera del plano, mientras la rigidez de las barras de apoyo vertical es de  $6,1 \times 10^2 \text{ N/m}$ .

**[0046]** Las barras de contrapeso dominan la rigidez de torsión del microespejo. Las barras de apoyo vertical dominan la rigidez para los modos de oscilación fuera del plano, la cual tiene gran impacto en la calidad de la imagen. La posibilidad de definir el modo fundamental y las frecuencias de resonancia de orden superior con una mayor flexibilidad facilita el diseño de sistemas de escaneo de mayor calidad. Las simulaciones FEM muestran que la suspensión



combinada tiene ventajas en la evitación de oscilaciones de modo parásitas, tales como balanceo vertical y fuera del plano, incrementando sus frecuencias de resonancia a mayores valores en comparación a los microespejos de suspensión mediante barras de torsión.

5 **[0047]** La tabla a continuación muestra los resultados de la simulación para geometrías optimizadas de dos microespejos de suspensión mediante barra de torsión y un microespejo con suspensión combinada (que tiene el mismo tamaño de microespejo; similar rigidez de inclinación, momentos de masa inercial, estrés en los elementos de suspensión y deformación de superficie):

Frecuencia kHz	Microespejo con config. rectangular suspendido mediante barra de torsión	Barra de torsión suspendida con configuración 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

10 **[0048]** Aunque las realizaciones de la invención expuestas en la presente solicitud se consideran actualmente como preferentes, se pueden hacer diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la presente invención. El alcance de la invención se indica en las reivindicaciones adjuntas y todos los cambios que se puedan incluir dentro del significado y extensión de equivalentes se consideran abarcados por la presente solicitud.

## REIVINDICACIONES

1. Un apoyo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS comprendiendo dicho apoyo del espejo:
- una barra del eje de rotación (120) a lo largo del eje de rotación (58) del microespejo de escaneo MEMS;
- un primer brazo de extensión (56) paralelo al eje de rotación (58);
- 5 un segundo brazo de extensión (56) paralelo al eje de rotación (58);
- donde cada brazo de extensión tiene un primer extremo (140), un punto medio (142) y un segundo extremo (144);
- una primera barra en forma de X (130) que tiene un par de traviesas (132) conectadas entre el primer y el segundo brazo de extensión (56); y
- 10 una segunda barra en forma de X (130) que tiene un par de traviesas (132) conectadas entre el primer y el segundo brazo de extensión (56);
- estando conectada la primera barra en forma de X (130) al primer extremo (140) y al punto medio (142) de cada uno del primer y segundo brazo de extensión (56) y a la segunda barra en forma de X (130) conectada al segundo extremo (144) y al punto medio (142) de cada uno del primer y segundo brazo de extensión (56);
- 15 y estando conectada la barra del eje de rotación (120) a un punto medio transversal (134) de la primera barra en forma de X (130) y a un punto medio transversal (134) de la segunda barra en forma de X (130).
2. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 donde la primera barra en forma de X (130) comprende una primera traviesa (132) que tiene una sección transversal uniforme entre el primer brazo de extensión (56) y la barra del eje de rotación (120) y una segunda traviesa (132) que tiene una sección transversal uniforme entre el primer brazo de extensión (56) y la barra del eje de rotación (120).
- 20 3. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 donde la primera barra en forma de X (130) comprende una primera traviesa (132) que tiene una sección transversal más pequeña en el primer brazo de extensión (56) que en la barra del eje de rotación (120) y una segunda traviesa (132) que tiene una sección transversal más pequeña en el primer brazo de extensión (56) que en la barra del eje de rotación (120).
- 25 4. El apoyo del espejo de la reivindicación 3 donde la primera traviesa (132) y la segunda traviesa (132) tienen forma de paralelogramo.
5. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 donde la barra del eje de rotación (120) tiene una sección transversal mayor entre el punto medio transversal (134) de la primera barra en forma de X (130) y el punto medio transversal (134) de la segunda barra en forma de X (130) que en un extremo (124) de la barra del eje de rotación (120).
- 30 6. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 que comprende además un primer brazo lateral (150) conectado entre primeros extremos (140) del primer brazo de extensión (56) y del segundo brazo de extensión (56) y un segundo brazo lateral (150) conectado entre segundos extremos (144) del primer brazo de extensión (56) y del segundo brazo de extensión (56), siendo el primer brazo lateral (150) y el segundo brazo lateral (150) perpendiculares al eje de rotación (58).
- 35 7. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 donde la sección transversal perpendicular al eje de rotación (58) de cada uno del primer brazo de extensión (56) y segundo brazo de extensión (56) es un rectángulo, teniendo el rectángulo un eje largo perpendicular a un plano del espejo.
8. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 que comprende además:
- un marco (60) que forma un receso del espejo (62) con una periferia del receso (64), teniendo el marco (60) un par de brazos opuestos del marco (66) sobre la periferia del receso (64) a lo largo del eje de rotación (58);
- 40 un par de montajes de barras de contrapeso (70), estando uno del par de montajes de barras de contrapeso (70) sujeto a uno del par de brazos opuestos del marco (66) y acoplado a un primer extremo del primer brazo de extensión (56) y al segundo brazo de extensión (56), estando el otro del par de montajes de barras de contrapeso (70) sujeto al otro del par de brazos opuestos del marco (66) y acoplado a un segundo extremo del primer brazo de extensión (56) y al segundo brazo de extensión (56); y
- 45 un par de barras de apoyo vertical (40) conectadas entre cada uno del par de brazos opuestos del marco (66) a los extremos de la barra del eje de rotación (120) a lo largo del eje de rotación (58).
9. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 que comprende además un marco (60) que forma un receso del espejo (62) con una periferia del receso (64), donde los extremos (124) de la barra del eje de rotación (120) están conectados a la periferia del receso (64).

10. El apoyo del espejo de la reivindicación 1 donde la primera barra en forma de X (130) comprende una primera travesía (132) y una segunda travesía (132) conectadas en el punto medio transversal (134), formado el apoyo del espejo a partir de silicio monocristalino que tiene una dirección de mayor rigidez del material, y la primera travesía (132) está orientada a lo largo de la dirección de mayor rigidez del material.
- 5 11. El apoyo del espejo de la reivindicación 10 donde la segunda travesía (132) está orientada a lo largo de la dirección de mayor rigidez del material.
12. Un método de fabricación de un apoyo del espejo para un microespejo de escaneo MEMS que comprende:
- proporcionar una oblea de silicio monocristalino que tiene una dirección de mayor rigidez del material; y
- 10 conformar el apoyo del espejo a partir de la oblea de silicio monocristalino, comprendiendo el apoyo del espejo una barra del eje de rotación (120) que tiene un eje de rotación (58);
- un primer brazo de extensión (56) paralelo al eje de rotación(58);
- un segundo brazo de extensión (56) paralelo al eje de rotación (58);
- donde cada brazo de extensión tiene un primer extremo (140), un punto medio (142) y un segundo extremo (144);
- 15 una primera barra en forma de X (130) que tiene un par de travesías (132) conectadas entre el primer y segundo brazo de extensión (56); y
- una segunda barra en forma de X (130) que tiene un par de travesías (132) conectadas entre el primer y segundo brazo de extensión (56);
- conectada la primera barra en forma de X (130) al primer extremo (140) y
- 20 conectados el punto medio (142) de cada uno del primer y segundo brazo de extensión (56) y la segunda barra en forma de X (130) al segundo extremo (144) y al punto medio (142) de cada uno del primer y segundo brazo de extensión (56);
- y conectada la barra del eje de rotación (120) a un punto medio transversal (134) de la primera barra en forma de X (130) y a un punto medio transversal (134) de la segunda barra en forma de X (130);
- donde las travesías (132) están orientadas a lo largo de la dirección de mayor rigidez del material.
- 25 13. El método de la reivindicación 12 donde la oblea de silicio monocristalino es una oblea de silicio monocristalino (100) y el eje de rotación (58) está orientado a lo largo de una dirección  $\langle 100 \rangle$ .
14. El método de la reivindicación 12 donde la oblea de silicio monocristalino es una oblea de silicio monocristalino (100) y el eje de rotación (58) está orientado a lo largo de una dirección  $\langle 010 \rangle$ .
- 30 15. El método de la reivindicación 12 donde la oblea de silicio monocristalino es una oblea de silicio monocristalino (110) y el eje de rotación (58) está orientado a lo largo de una dirección  $\langle 001 \rangle$ .

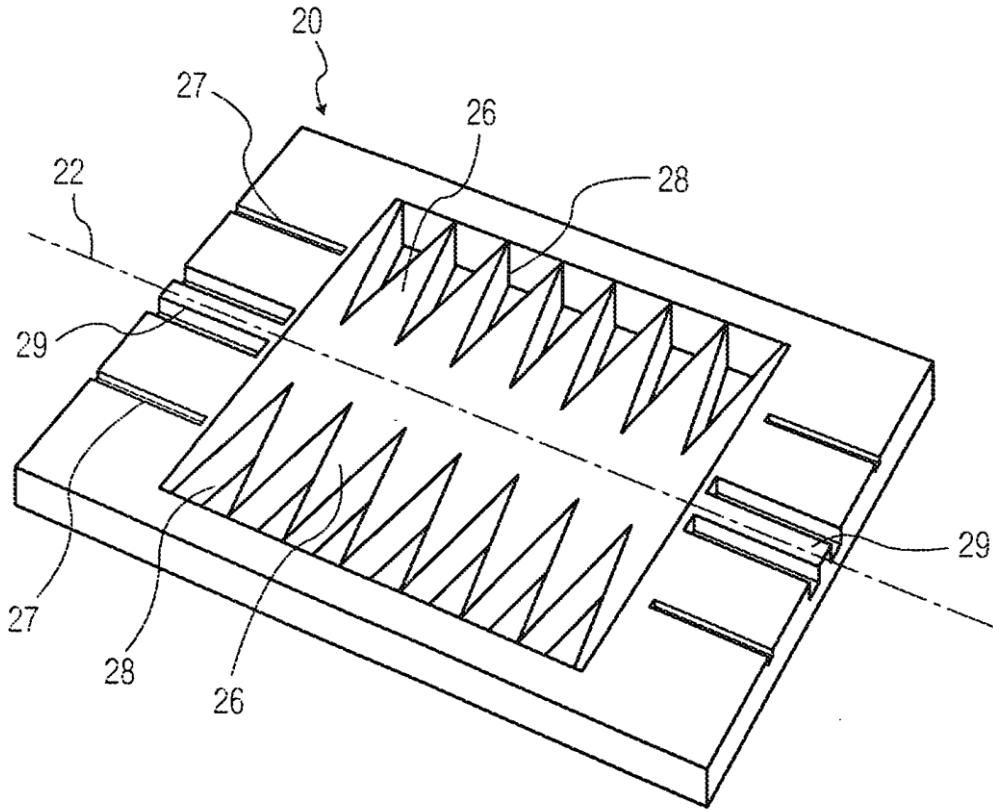


FIG. 1

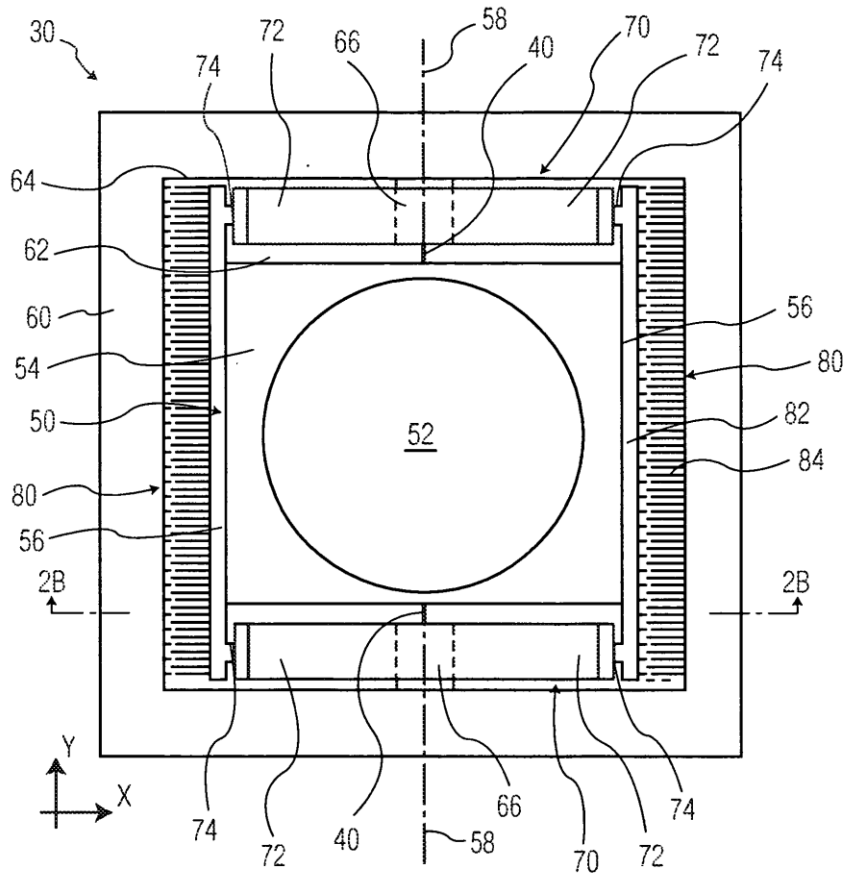


FIG. 2A

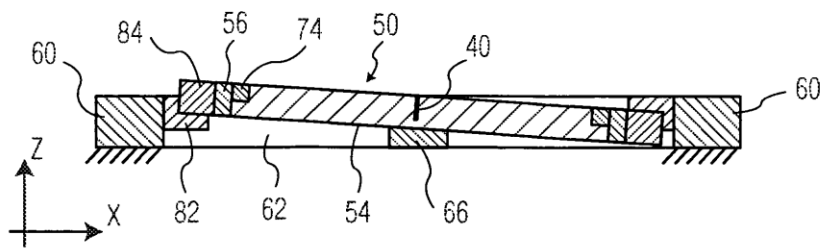


FIG. 2B

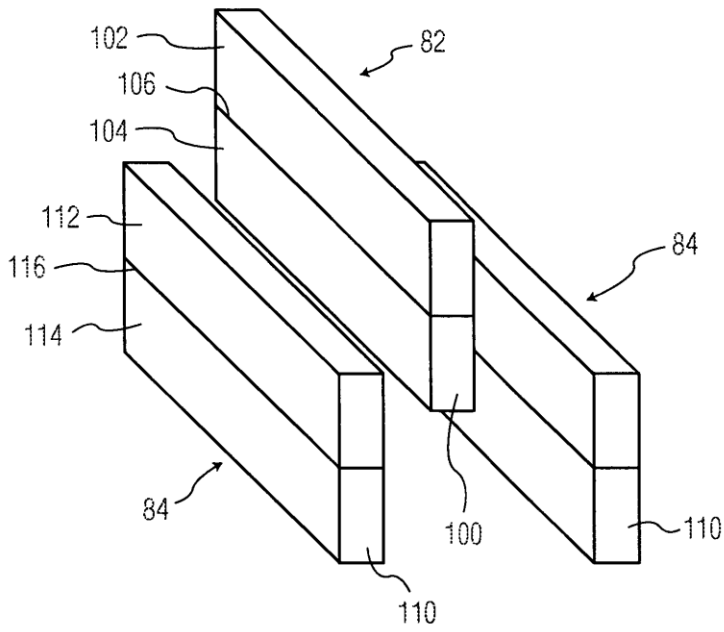


FIG. 3A

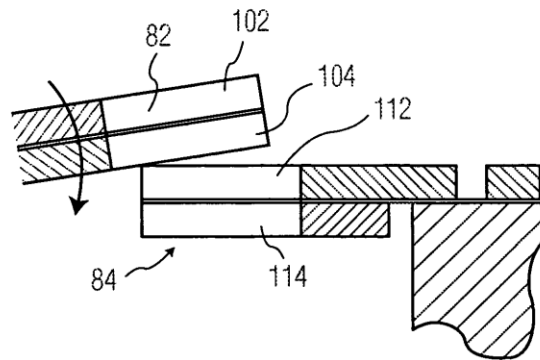


FIG. 3B

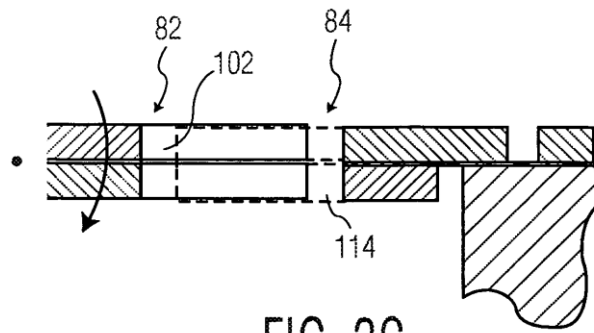


FIG. 3C

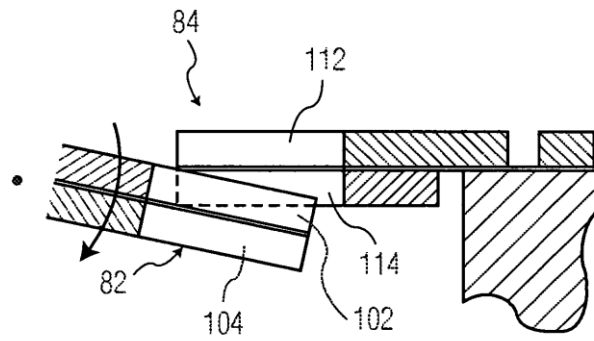


FIG. 3D

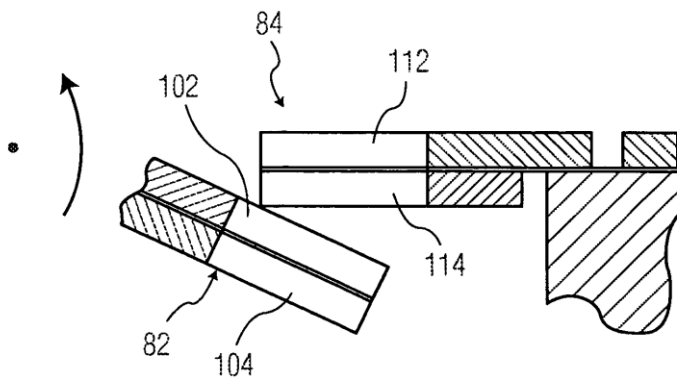


FIG. 3E

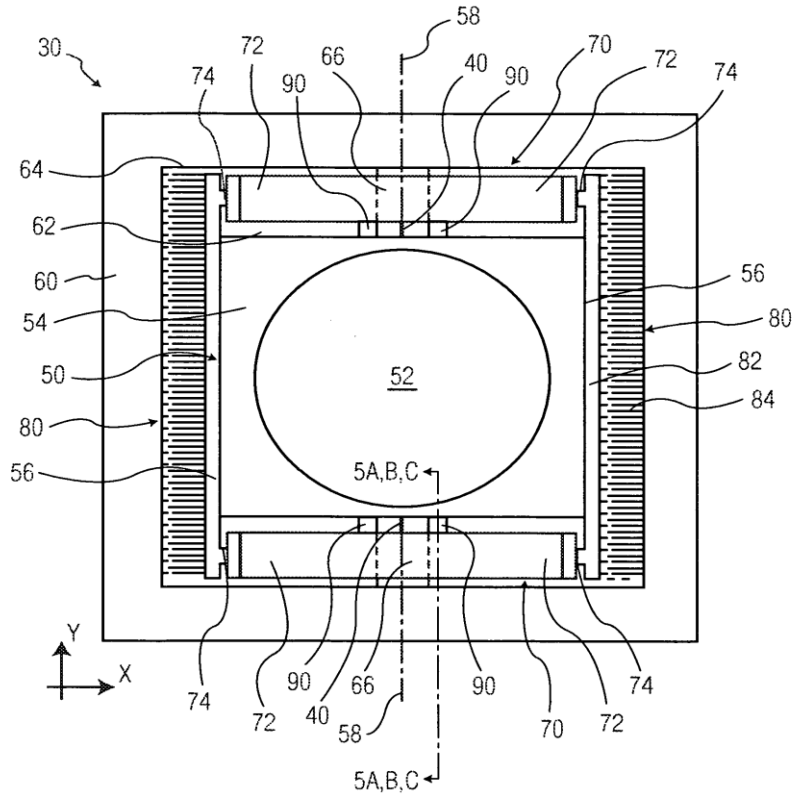


FIG. 4A

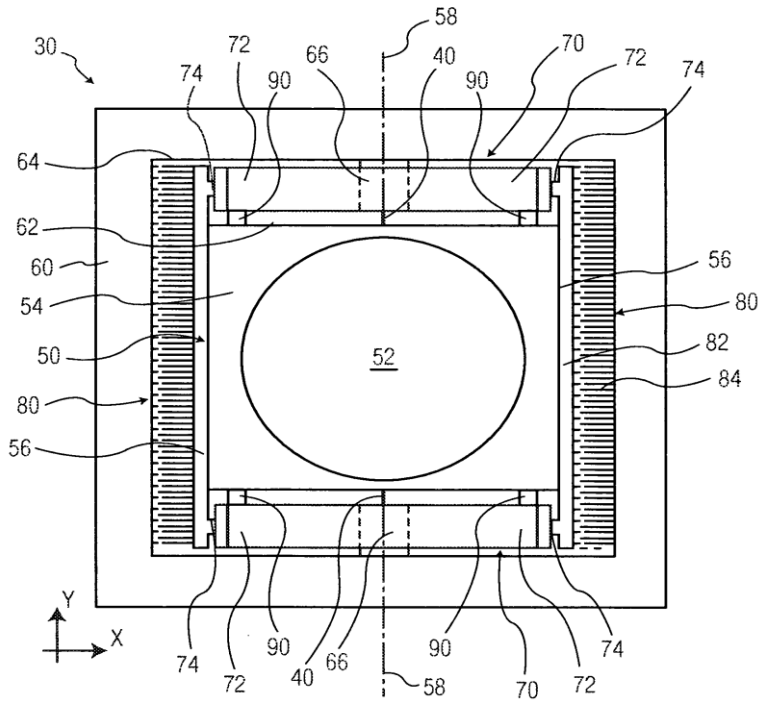


FIG. 4B



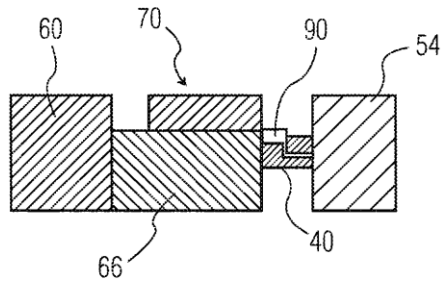


FIG. 5A

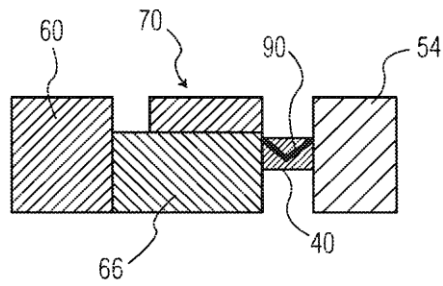


FIG. 5B

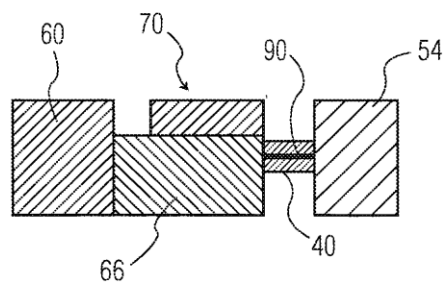


FIG. 5C

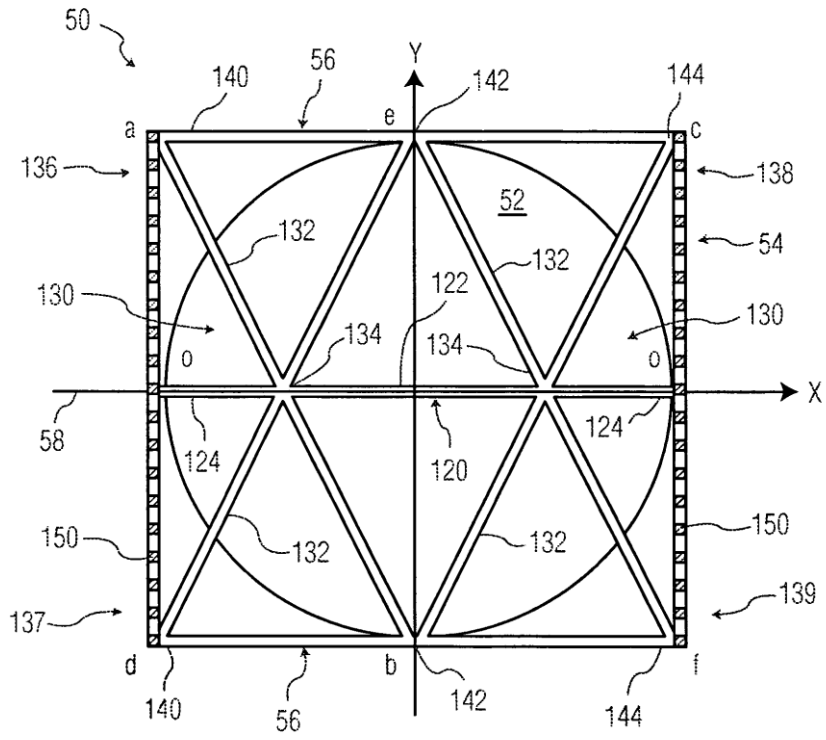


FIG. 6

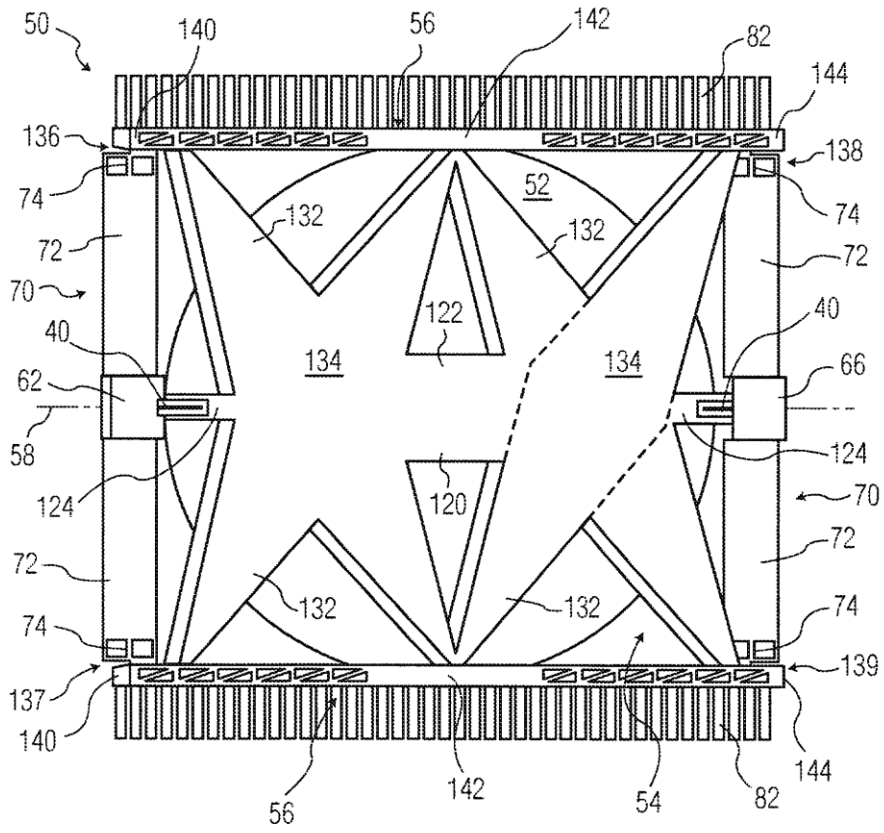


FIG. 7

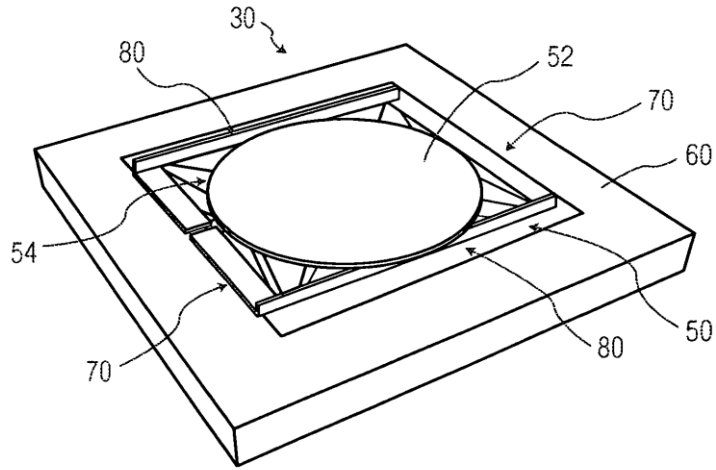


FIG. 8A

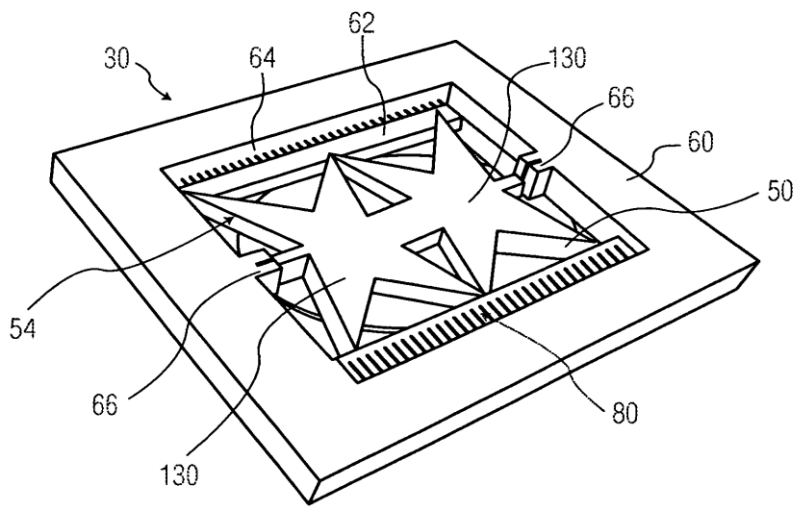


FIG. 8B

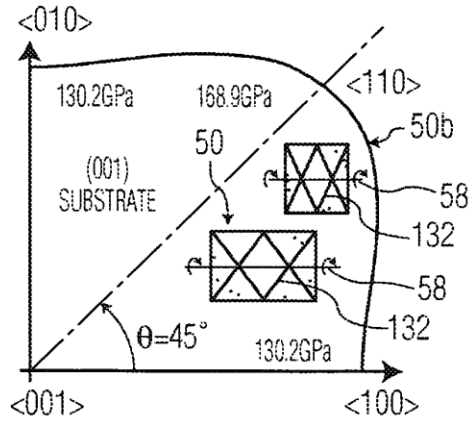


FIG. 9A

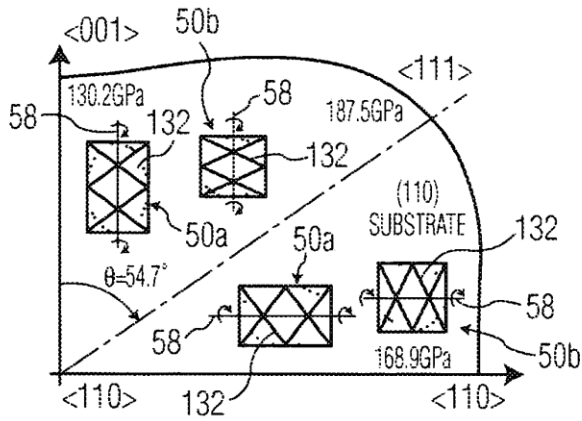


FIG. 9B

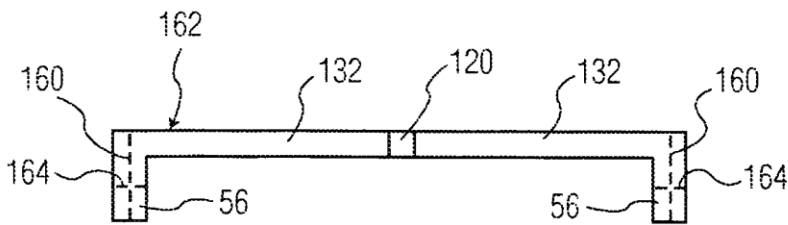
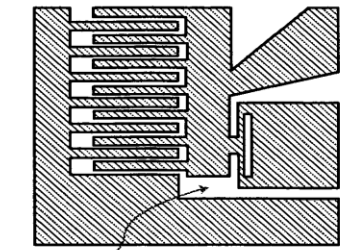
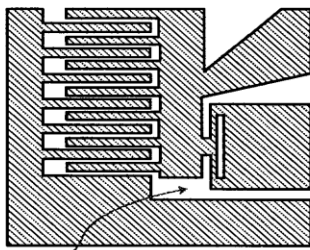


FIG. 10



74 FIG. 11A



74 FIG. 11B

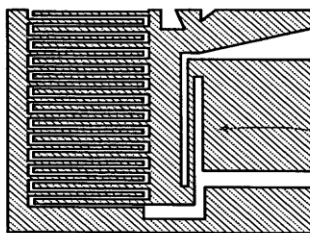


FIG. 11C

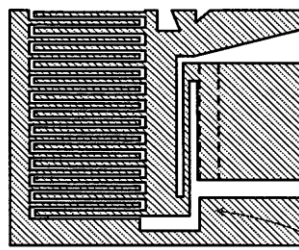


FIG. 11D

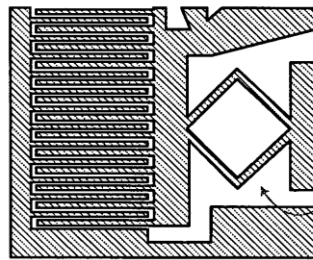


FIG. 11E

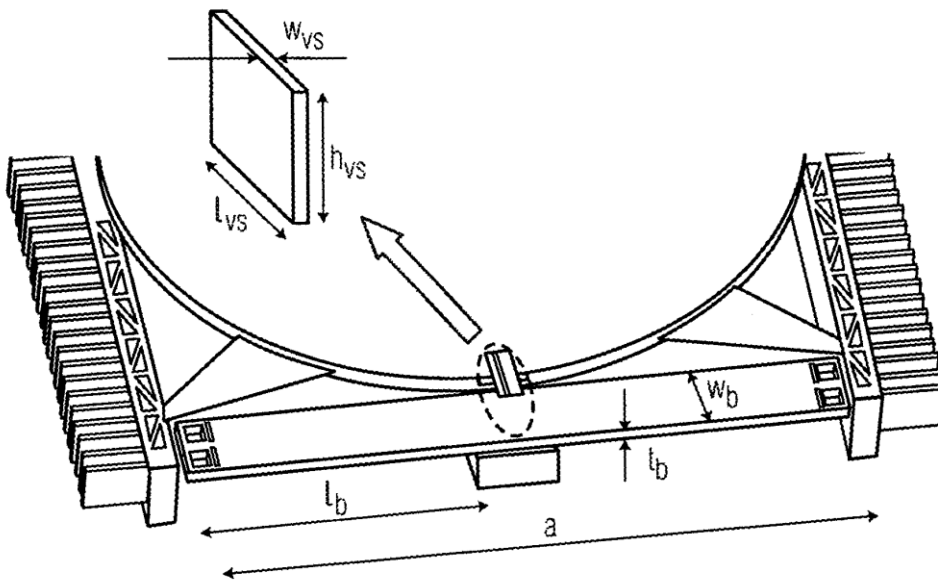


FIG. 12