



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 272 579**

51 Int. Cl.:  
**G02B 26/02** (2006.01)  
**G02B 26/08** (2006.01)  
**H01L 41/09** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01999855 .8**  
86 Fecha de presentación : **04.12.2001**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1342123**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **10.09.2003**

54 Título: **Dispositivos de orientación de un haz y conmutadores ópticos.**

30 Prioridad: **04.12.2000 GB 0029439**  
**05.01.2001 WO PCT/GB01/00062**  
**20.06.2001 GB 0115068**  
**20.06.2001 GB 0115067**  
**05.07.2001 GB 0116245**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.05.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.05.2007**

73 Titular/es: **Polatis Limited**  
**25 Cambridge Science Park**  
**Milton Road, Cambridge CB4 0FW, GB**

72 Inventor/es: **Dames, Andrew, Nicholas**

74 Agente: **Durán Moya, Carlos**

ES 2 272 579 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**

Dispositivos de orientación de un haz y conmutadores ópticos.

5 La presente invención se refiere a dispositivos de orientación de un haz y, particularmente, se refiere a conmutadores ópticos.

Es un objetivo, en los sistemas de comunicaciones actuales, el transportar el tráfico de comunicaciones substancialmente en forma de radiación óptica modulada. Además, estos sistemas de comunicaciones se requiere de modo creciente que sean ágiles, es decir, capaces de reconfigurarse a sí mismos.

10 Así, por ejemplo, los sistemas de comunicación óptica requieren conjuntos de conmutación óptica que puedan dirigir la radiación óptica entre entrada y salida de acuerdo con información de dirección proporcionada externamente.

15 Se han propuesto varias configuraciones distintas para conjuntos de conmutación óptica incluyendo conjuntos que forman la radiación de entrada en haces dirigidos espacialmente a puertos de salida seleccionados. La necesidad de conseguir, de modo creciente, capacidad de conmutación en forma de grandes números de puertos de entrada y salida ha conducido a aumentos de dimensiones, complejidad y consumo de potencia y coste de dichos conjuntos.

20 Es objetivo de la presente invención eliminar o mejorar algunas o la totalidad de estas dificultades, especialmente dando a conocer un dispositivo de orientación del haz mejorado, para su utilización en dichos conjuntos.

25 Se han propuesto diferentes formas de dirigir un haz. Los métodos típicos incluyen el movimiento de escaneado de una fibra óptica de entrada sobre un conjunto de fibras de salida; el desplazamiento de una fibra óptica con respecto a lentes de colimación, a efectos de variar el ángulo del haz colimado y la utilización de microespejos para reflejar haces en ángulos seleccionados.

30 Los presentes inventores han observado que un factor crítico en la determinación de si se puede adaptar, dentro de un volumen de conmutación determinado un gran número de puertas es la dimensión espacial de los dispositivos de orientación del haz individual en direcciones ortogonales, con respecto a la dirección del haz. Una geometría de conmutación conveniente tiene dos dispositivos dimensionales en oposición de puertas de entradas y salidas separadas en la dirección (Z) por una zona de desviación del haz. La densidad con la que dichas puertas pueden ser reunidos es determinada por las dimensiones (X) e (Y) del dispositivo de orientación del haz de cada puerto. Desafortunadamente, es una característica de muchas construcciones de la técnica anterior que un incremento en el número de puertas y, por lo tanto, un incremento en la gama de la desviación del haz conduce a un incremento substancial en las distancias (X) e (Y) necesarias para el funcionamiento de cada puerto.

35 En una serie de aplicaciones de telecomunicaciones hay límites fijos del volumen disponible para instalación de conmutadores. En otras aplicaciones, las desventajas de un diseño compacto residen en las economías de utilización y de fabricación.

La presente invención está destinada a superar este problema con un nuevo enfoque para la orientación del haz.

45 De acuerdo con ello, la presente invención, tal como se define en la reivindicación 1, consiste en un dispositivo de orientación del haz que comprende una estructura de soporte, un colimador, una fibra óptica que une el colimador a lo largo del eje (Z), estando el colimador obligado con respecto a la estructura de soporte a un movimiento de basculación solamente alrededor de uno o varios ejes ortogonales al eje (Z), y un accionador para la basculación del colimador a efectos de orientar un haz.

50 De manera ventajosa, el colimador está montado sobre la estructura de soporte con intermedio de una suspensión de cardán.

55 Se comprenderá que, al bascular un colimador montado en un cardán, se pueden conseguir grandes ángulos de desviación del haz dentro de un dispositivo que es extremadamente compacto en las dimensiones (X) e (Y).

Una complicación que se presenta en los conmutadores más grandes es que resulta necesaria, en general, una cierta forma de realimentación dinámica para asegurar que cada haz es desviado con suficiente precisión para llegar al puerto objetivo deseado. En una técnica de realimentación común, el haz modulado es muestreado para comprobar que se está desplazando entre los puertos correctos de entrada y salida. Existe el riesgo de que, en dichas disposiciones, se produzca cruzamiento entre los flujos de datos y señales de control de dirección y de mayores pérdidas de transmisión dentro de la conmutación. En un intento de superar esos problemas, se ha propuesto con anterioridad el posicionar haces subsidiarios a lo largo del haz modulado por datos o alrededor del mismo, y detectar estos haces subsidiarios en detectores dispuestos a lo largo de cada puerto de salida o alrededor del mismo para proporcionar realimentación en la posición del haz principal. Dado que estos haces subsidiarios siguen siendo ópticos en su naturaleza, existe todavía un cierto riesgo de cruzamiento o riesgo de pérdidas de transmisión en el filtrado para proporcionar separación de frecuencia entre haces principales y subsidiarios. También se observará que el posicionado de los haces subsidiarios, a lo largo de cada haz principal o alrededor del mismo, incrementará, considerablemente, las dimensiones (X) e (Y) del

## ES 2 272 579 T3

conmutador (o reducirá considerablemente la capacidad del conmutador que puede ser dispuesta dentro de cualquier volumen determinado).

5 Es un objetivo de la presente invención, tal como se ha definido en la reivindicación 1, el superar o reducir estas dificultades.

De acuerdo con lo anterior, un aspecto consiste en un dispositivo de direccionado del haz que comprende una estructura de soporte, un colimador, una fibra óptica que se une al colimador a lo largo del eje (Z), estando montado el colimador para desplazamiento relativo con la estructura de soporte, por lo menos de forma pivotante alrededor de un eje (X) ortogonal al eje (Z), un accionador para desplazar el colimador, a efectos de dirigir un haz, y un sensor de posición angular que proporciona una señal indicativa de la orientación del colimador alrededor del eje (X) para su utilización en la realimentación por el accionador en el direccionado del haz.

15 La detección directa de la posición angular de un colimador proporciona una ingeniosa solución al problema de proporcionar realimentación con respecto a la posición del haz. No hay riesgo de cruzamiento óptico, y son posibles estructuras de detección que se acoplan dentro de una envolvente (X Y), altamente compacta.

20 El detector de posición angular puede tener partes o piezas en interacción, fijadas con respecto al colimador y a la estructura de soporte, respectivamente. Estas partes del detector de posición pueden interaccionar eléctricamente y/o magnéticamente, de manera que una de las partes que interacciona sirven para generar un campo eléctrico o magnético que es detectado por la otra de las partes que interaccionan.

Otro aspecto consiste en un dispositivo de direccionado del haz que comprende una estructura de soporte, un colimador, una fibra óptica que une el colimador a lo largo del eje (Z), estando montado el colimador para su desplazamiento relativo con respecto a la estructura del soporte, como mínimo, alrededor de un eje (X) ortogonal al eje (Z), y un accionador para desplazar el colimador a efectos de dirigir el haz, de manera que el dispositivo accionador comprende un transductor alargado, tal como un cuerpo cilíndrico de material piezoeléctrico, dispuesto a lo largo de dicho eje (Z).

30 De forma conveniente, la fibra se extiende por un orificio axial del transductor y la disposición es, en general, simétrica alrededor de la fibra.

35 Al extender el transductor a lo largo de la dirección (Z) y prever el dispositivo simétricamente alrededor de la fibra, este aspecto de la presente invención avanza adicionalmente en la reducción de las dimensiones (X Y) y en el incremento de la densidad con la que los dispositivos de direccionado del haz pueden ser dispuestos para conseguir conmutadores compactos y de alta capacidad.

40 En formas preferentes de la presente invención, el dispositivo accionador comprende un transductor de estado sólido, tal como un cuerpo de material piezoeléctrico. El transductor es preferentemente alargado y se extiende en la dirección del eje (Z), estando fijado un extremo del transductor alejado del colimador en la estructura de soporte, siendo desplazable un extremo del transductor adyacente al colimador en las direcciones de los ejes (X) e (Y) por aplicación de una señal de control del accionador al transductor. El transductor puede ser hueco y coaxial con una fibra central.

45 De manera ventajosa, el transductor actúa entre la estructura de soporte y la fibra óptica, sirviendo la acción de la fibra óptica sobre el colimador para desplazar este último. El transductor puede actuar con intermedio de una palanca, preferentemente en forma de un cilindro hueco coaxial con la fibra óptica, que se extiende a lo largo del eje (Z) y que proporciona una amplificación mecánica mínima de 2:1 y, preferentemente, como mínimo 5:1. Esta palanca de accionamiento puede estar montada, de forma pivotante, en la estructura de soporte, por ejemplo, por intermedio de una unión de cardán. En una forma de esta invención, el accionador opera sobre la fibra óptica y la acción de la fibra óptica sobre el colimador sirve para desplazar este último.

Otro aspecto adicional consiste en un componente óptico del conmutador que comprende una serie de dispositivos de dirección del haz, cada uno de ellos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, teniendo los dispositivos de direccionado del haz una estructura de soporte común y adaptando, en general y de manera preferente, la forma de una placa que se extiende en un plano que contiene el eje (Z) y que tiene un par de superficies de apilamiento paralelas y planas muy poco separadas entre sí a lo largo de un eje de apilamiento ortogonal al eje (Z). Estos componentes en forma de placas pueden ser apilados a continuación para formar un conjunto óptico de conmutación. La construcción de un conmutador a partir de una serie de subconjuntos similares, cada uno de los cuales puede ser comprobado antes de montaje final, simplifica el proceso de fabricación y posibilita la reparación rápida y directa de unidades que presentan defectos después de su utilización.

65 Otro aspecto es un conmutador óptico (P) por (Q), comprendiendo (P) puertas de entrada ópticas; (P) dispositivos de dirección de haz de entrada en cualquiera de las formas definidas anteriormente y poseyendo cada uno de ellos su fibra óptica asociada con uno de las puertas de entrada correspondientes; (Q) puertas ópticas de salida; (Q) dispositivos de dirección de haz de salida, nuevamente en cualquiera de las formas definidas anteriormente y poseyendo cada uno de ellos su fibra óptica asociada con el correspondiente puerta de salida; una trayectoria óptica de desplazamiento de los haces, entre cualquiera de los colimadores de los dispositivos de direccionado del haz de entrada y cualquiera

## ES 2 272 579 T3

de los colimadores de los dispositivos de direccionado del haz de salida; un terminal de entrada de direccionado y un controlador de direccionado adaptado como respuesta a las señales de información de direccionado recibidas en el terminal de entrada de direccionado para suministrar señales de accionamiento a los accionadores de dispositivos seleccionados de direccionado del haz, de manera que se efectúe el direccionado de los haces respectivos, a efectos de interconectar ópticamente cualquier puerto de entrada seleccionado con cualquier puerto de salida seleccionado.

Preferentemente, los dispositivos de direccionado del haz están dispuestos en una formación radial, de manera que, como mínimo, algunos de los haces correspondientes se encuentran en un punto central en condiciones de reposo.

La invención se describe a continuación, solamente a título de ejemplo, haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

figura 1 es un diagrama esquemático de secciones principales de un conjunto de conmutación óptica, de acuerdo con la invención;

figura 2 es un diagrama esquemático de una unidad de conmutación óptica, incluida dentro del conjunto de la figura 1;

figura 3 es una ilustración de construcción de un conjunto de entrada de la unidad de conmutación de las figuras 2 y 3, utilizando un apilamiento de placas de accionamiento similares;

figura 4 es una ilustración de un montaje cardán para un colimador;

figura 5 es un diagrama esquemático de una de las placas de la figura 3;

figura 6 es un diagrama similar a la figura 5, mostrando una placa modificada con un conjunto radial de accionadores;

figura 7 es un diagrama ilustrativo de la orientación en los conjuntos de entrada y salida de la placa modificada de la figura 6;

figura 8 es un diagrama esquemático de una unión de cardán junto con su colimador y fibra óptica asociados con cada elemento accionador de la estructura de la figura 3;

figura 9 es una ilustración de un sensor de posición angular capacitivo de ocho placas, configurado alrededor del colimador mostrado en la figura 8;

figura 10 es un diagrama del circuito detector de posición angular, que utiliza cuatro de las placas capacitivas mostradas en la figura 9;

figura 11 es una ilustración de un conjunto de cardanes micro fabricados;

figura 12 es una ilustración esquemática de localizaciones de galgas de deformación en cada uno de los cardanes de la figura 11;

figura 13 es una ilustración de un colimador micro fabricado para su utilización con los cardanes de la figura 11;

figura 14 muestra esquemáticamente una configuración de electrodo para el accionador;

figura 15 es una vista en sección de la configuración del electrodo en la figura 14;

figura 16 es una vista, en perspectiva, de un componente conmutador óptico, de acuerdo con otra realización de la invención;

figura 17 es una vista parcial que muestra una modificación de la realización de la figura 16;

figura 18 muestra una realización alternativa de una unión de cardán que utiliza cojinetes;

figura 19 muestra una realización alternativa de una palanca de accionamiento; y

figura 20 es una vista esquemática de otra realización adicional de la presente invención.

Haciendo referencia inicialmente a la figura 1, se ha mostrado un diagrama esquemático de secciones principales de un conjunto de conmutación óptico, indicado de manera general con el numeral (10). El conjunto (10) comprende un sistema de control (20) conectado con intermedio de un interfaz interno (30) a un sistema de conmutación (40). El sistema de conmutación (40) comprende 1024 puertas de entrada ópticas de P1 a P1024 indicadas por el numeral (45) y, 1024 puertas de salida óptica Q1 a Q1024, indicadas por el numeral (50). El sistema de control (20) está conectado,

## ES 2 272 579 T3

también, con intermedio de un interfaz externo (60) a dispositivos externos, por ejemplo, dispositivos de gestión de un sistema de telecomunicaciones que incorpora el conjunto (10).

5 Las puertas de entrada y salida (P), (Q) están diseñadas para recibir fibras ópticas monomodales procedentes de dispositivos externos (no mostrados).

La construcción del sistema de conmutación (40) se describe a continuación en mayor detalle, haciendo referencia a la figura 2.

10 El sistema de conmutación (40) comprende un conjunto (100) de entrada conectado ópticamente a las puertas de entrada (P1) a (P1024), y un conjunto de salida (110) conectado ópticamente a las puertas de salida (Q1) a (Q1024). Los conjuntos de entrada y salida (100), (110) están montados dentro del sistema de conmutación (40) y están separados espacialmente por una zona de desviación (120). Los dispositivos (100), (110) están mantenidos rígidamente dentro de un cuerpo envolvente que los conserva en alineación precisa y estable entre sí. Fibras ópticas monomodales  
15 están conectadas desde las puertas de entrada (P1) a (P1024) con entradas correspondientes del conjunto de entrada (100). De manera similar, fibras ópticas monomodales están conectadas desde las puertas de salida (Q1) a (Q1024) de salidas correspondientes del conjunto de salida (110).

En su funcionamiento, la entrada de radiación óptica en las puertas de entrada (P) es transportada a lo largo de sus  
20 fibras ópticas asociadas a los correspondientes dispositivos de control de haz de entrada (no mostrados en la figura 2), en el dispositivo de entrada. Los haces colimados son dirigidos por estos dispositivos de dirección del haz hacia adentro de la zona de desviación (120). Por ejemplo, se ha mostrado el sistema (40) configurado para recibir radiación óptica en las puertas de entrada (P1), (P2), (P3) y (P1024), y transportar la radiación al conjunto de entrada (100), desde el cual se emiten respectivamente haces de radiación colimada correspondientes (130), (135), (140) y (145). Los  
25 haces (130), (135), (140) y (145) se propagan a través de la zona de desviación (120), para ser recibidos en dispositivos de direccionado de haz de salida (no mostrados en la figura 2) del dispositivo de salida (110). La radiación recibida en estos dispositivos de dirección de haz de salida es dirigida a correspondientes puertas de salida (Q1) y (Q1024). Por ejemplo, los haces (130), (135), (140) y (145) son recibidos en accionadores del dispositivo de salida (110) asociados con las puertas de salida (Q1), (Q1024), (Q4) y (Q50), respectivamente. De este modo, el sistema de conmutación (40)  
30 de la figura 2 ha sido configurado por el sistema de control (20) para establecer conexiones ópticas desde las puertas de entrada (P1), (P2), (P3) y (P1024) a las puertas de salida (Q1024), (Q4), (Q1) y (Q50), respectivamente.

Al alterar las direcciones de direccionado de los accionadores antes mencionados de entrada y salida, se pueden establecer otras rutas ópticas a través del sistema de conmutación (40). Se observará que las direcciones de direccionado de los accionadores de los dispositivos de entrada y salida (100), (110) se pueden alterar bajo control del sistema  
35 de control (20) como respuesta a la instrucción recibida en el sistema de control (20), desde dispositivos externos.

En el sistema de conmutación (40), los dispositivos de entrada y salida (100), (110) están separados del orden de 140 a 180 mm entre sí. Los haces colimados de propagación de radiación desde el conjunto de entrada al conjunto de  
40 salida, o viceversa, si el sistema (40) funciona de forma inversa, con intermedio de la zona de desviación (120) son del orden de 400 a 800  $\mu\text{m}$  de diámetro. Se observará de la figura 2 que el direccionado de la radiación óptica dentro del sistema de conmutación (40) puede ser bidireccional, y que los términos “dispositivo de entrada” y “dispositivo de salida” utilizados en lo anterior están destinados solamente para mayor claridad en la descripción de los dispositivos.  
45

En el establecimiento del direccionado óptico dentro del sistema de conmutación (40), es desde luego vital que los haces que se propagan dentro de la zona de desviación (120) sean dirigidos de manera precisa hacia aberturas receptoras del dispositivo de salida (110). Como consecuencia de que el sistema de control (20) no muestra directamente los haces de radiación que se propagan en la zona de desviación (120), el conjunto (10) se basa, efectivamente, en  
50 mantener de forma estable su calibración para proporcionar trayectorias ópticas fiables.

Se pueden incorporar sistemas ópticos en la zona (120) para el direccionado adicional de los haces controlados al  
atravesar la zona de desviación (120). Por ejemplo, en la figura 2, un haz de radiación (152) se ha mostrado saliendo del dispositivo de direccionado del haz asociado con la puerta de entrada (P1), en un ángulo ( $\theta_1$ ) y propagándose a una  
55 palanca óptica (150) que sirve para formar un haz de desviado (154) que forma un ángulo ( $\theta_2$ ), siendo el ángulo ( $\theta_2$ ) mayor que el ángulo ( $\theta_1$ ), en una proporción que corresponde al factor de apalancamiento óptico de la palanca (150). En la figura 2, el haz (154) se ha mostrado dirigido hacia un accionador asociado con el puerto de salida (Q1022).

La incorporación de la palanca (150) es ventajosa por el hecho de que los accionadores asociados con el conjunto  
60 de entrada (100), por una geometría física específica, deben desviar haces de radiación sobre una gama más reducida de ángulos, a efectos de ser capaces de dirigir radiación a cualquier puerto de salida seleccionado (Q). Por lo tanto, es una exigencia del conjunto (10), que debe ser capaz de direccionar haces de radiación con un grado de exactitud muy elevado, del orden de 0,010° sobre un ángulo de desviación del orden de +/- 5°, representando ello una pérdida adicional por eje de 0,05 dB.  
65

La construcción del conjunto de entrada (100) se describirá a continuación con referencia a la figura 3. Se observará que el conjunto de salida (110) está construido de manera substancialmente similar al conjunto de entrada (100).

## ES 2 272 579 T3

El conjunto (100) comprende treinta y dos componentes ópticos de conmutación (200,1) a (200,32), cada uno de los cuales comprende treinta y dos dispositivos de dirección del haz similares en una estructura de soporte común. Estos componentes (200) adoptan la forma general de "placas" planas con superficies de apilamiento paralelas y planas. En el conjunto de entrada (100), las treinta y dos placas (200) están apiladas en forma de un conjunto bidimensional (2-D), tal como se ha indicado con el numeral (205).

La construcción del dispositivo de entrada (100), y de manera similar del conjunto de salida (110), en forma de un apilamiento de placas es ventajosa por el hecho de que cada una de las placas puede ser construida y comprobada individualmente antes de su montaje conjunto. Además, en el caso de que falle una de las placas, el apilamiento (205) puede ser desmontado y se pueden substituir una o varias placas defectuosas de manera rápida y simple.

Cada una de las placas (200) está diseñada preferentemente de manera que está conectada a sus respectivas puertas de entrada (P) por medio de una cinta de treinta y dos fibras ópticas, por ejemplo, una cinta (208). Cada una de las cintas (208) está conectada, preferentemente, a su placa asociada (200) en un extremo posterior de la misma. De manera similar, cada placa (200) tiene, preferentemente, sus conexiones eléctricas asociadas incluidas en un cable en forma de cinta eléctrica asociada (210). Los cables en forma de cinta están conectados, preferentemente, a las placas (200) en direcciones substancialmente ortogonales a las de las cintas de fibra óptica, para ayudar al apilamiento de las placas (200). Preferentemente, los cables eléctricos de tipo cinta están dispuestos para su conexión en lados alternados para ayudar al apilamiento de las placas (200).

En su funcionamiento, las placas (200) reciben radiación óptica de sus respectivos puertos de entrada (P) y emiten la radiación en forma de haces colimados direccionados, por ejemplo, haces de radiación colimados (215), (218).

Se observará de lo anterior que las placas (200) son substancialmente similares, no solamente en el conjunto de entrada (100), sino también en el conjunto de salida (110). Esto posibilita conseguir economías en la fabricación y en el servicio.

Antes de describir en detalle la estructura y funcionamiento de cada una de las placas (200) y de los dispositivos de direccionado de haz que contienen, puede ser de interés la explicación en términos más generales de una característica básica de la presente realización. Esto se hará haciendo referencia a la figura 4.

Se ha mostrado una fibra óptica (38) unida a un colimador (40). El colimador (40) puede adoptar una amplia variedad de formas y puede estar unido a la fibra de muchas maneras distintas, todas ellas evidentes para un técnico en la materia. En realidad, las fibras ópticas con colimadores integrados existen comercialmente. El colimador puede ser constituido por conformación del extremo de la propia fibra constituyendo una lente.

Una ventaja muy importante de las combinaciones de fibra y colimador de tipo integral consiste en pérdidas ópticas muy reducidas en comparación con disposiciones separadas de fibra y colimador y, particularmente, las disposiciones que se basan para el direccionado del haz en el desplazamiento relativo de la fibra y el colimador.

La característica principal, mostrada en la figura 4, es el montaje del colimador (40) en un cardán (42). Este montaje de cardán (representado esquemáticamente en la figura) permite el movimiento de basculación de colimador alrededor de los ejes (X) e (Y) que son ortogonales al eje (Z), siendo ello el eje de formación del haz del colimador. El movimiento de traslación del colimador queda condicionado de manera efectiva.

Por el montaje del colimador (40) en un montaje (42) de tipo cardán, se posibilita que el colimador (40) pivote alrededor de su centro, tal como se ha mostrado en la figura 5, y al direccionar el haz en la oscilación angular del colimador al final de la fibra óptica, se consiguen importantes ventajas. El volumen de trabajo alrededor de cada fibra se reduce considerablemente, en comparación con dispositivos anteriores que desplazan el extremo de la fibra en traslación. La desviación física del haz que se puede conseguir se compara, favorablemente, con la que se puede lograr por las técnicas anteriormente conocidas, que desplazan el colimador con respecto a la fibra. Las pérdidas ópticas inherentes a dispositivos separados de fibra y colimador se evitan, no obstante, según este aspecto de la presente invención.

Haciendo referencia nuevamente a la descripción de las placas (200), se hará referencia a la figura 1 que muestra la placa (200.1) con mayor detalle. Ésta comprende un cuerpo envolvente (300) que proporciona la estructura de soporte para una disposición paralela de treinta y dos dispositivos de direccionado de haz, por ejemplo, el indicado con el numeral (305). El dispositivo (305) de direccionado del haz comprende un accionador alargado (310) que se extiende a lo largo del eje (Z). El accionador (310) está montado en su primer extremo rígidamente en el cuerpo envolvente (300) y es libre de desplazarse con respecto al cuerpo envolvente en su segundo extremo. Una palanca troncocónica (320) se extiende, de forma rígida, desde el segundo extremo del accionador. El elemento accionador (310) es un laminado que comprende el apilamiento de placas de material piezoeléctrico intercaladas con capas de electrodos. Las capas de material piezoeléctrico comprenden, preferentemente, una cerámica (PZT) polarizada, tal que la aplicación de señales de accionamiento apropiadas a las capas de electrodos provoca que el accionador (310) flexione en las direcciones (X) e (Y), mostradas en la figura 5. Las capas de electrodo pueden ser de plata, aluminio o, de forma ideal, platino, permitiendo una temperatura de arranque más elevada, si bien otros materiales son, desde luego, posibles. Las capas de electrodo están conectadas alternativamente en paralelo, de manera que los potenciales de polarización moderados

## ES 2 272 579 T3

(típicamente +/- 45 voltios) aplicados con intermedio de los electrodos a las capas piezoeléctricas (con intermedio del sistema de control (20) mostrado en la figura 1) son suficientes para crear los campos eléctricos requeridos. El diseño de estos laminados piezoeléctricos es bien conocido por una serie de otros campos distintos.

5 El segundo extremo del elemento accionador (310), que queda substancialmente sin limitación alguna, es libre de desplazarse cuando se flexiona el elemento (310). El accionador (310) es, preferentemente, de sección transversal rectangular y tiene una longitud comprendida entre 20 mm a 40 mm, preferentemente entre 25 mm y 30 mm, y tiene una anchura de lado del orden de 1,8 mm. Más preferentemente, el accionador (310) es de sección transversal substancialmente cuadrada. El accionador (310) tiene un orificio axial para recibir la fibra óptica (315).

10 La palanca (320) del accionador es también hueca, igualmente para recibir la fibra óptica. La forma cónica hueca de la palanca (320) del accionador, el material del que está fabricada (por ejemplo, fibra de carbono) y el grosor del material se seleccionan de manera que tengan una elevada rigidez y masa reducida, a efectos de hacer su frecuencia resorte en modalidad de flexión lo más elevada posible, a saber, su frecuencia Eigenmode de primer orden. La palanca (320) del accionador tiene, preferentemente, una longitud comprendida entre 25 mm y 75 mm, si bien es más preferible una longitud substancialmente de 60 mm.

Cada dispositivo de direccionado de haz de la placa (200) está dotado de una fibra óptica asociada para acoplamiento de un puerto óptico del accionador al colimador asociado. Por ejemplo, el accionador (305) lleva la fibra óptica (315) que está conectada, en su primer extremo, la puerta óptica ( $P_n$ ) asociada con el accionador (305), siendo  $n$  un entero, y en su segundo extremo a un colimador (340). La fibra (315) es dirigida a lo largo del orificio axial del elemento accionador (310) y a través de la parte central hueca de la palanca (320) del accionador. La fibra (315) se prolonga más allá de la palanca (320) del accionador en una zona descubierta (350) del orden de unos 2 mm antes de terminar, finalmente, en el primer extremo de un colimador tubular (340). La fibra (315) está fijada al colimador (340), preferentemente por soldadura de fusión; como alternativa a la soldadura de fusión, un adhesivo curable por radiación ultra violeta (UV) substancialmente transparente ópticamente, puede ser utilizado para unir la fibra (315) al colimador (340).

La fibra (315) es, preferentemente, una fibra óptica monomodal (por ejemplo, SMF) 2B de Coming) que tiene un diámetro externo, incluyendo el recubrimiento acrílico primario, de  $250 \mu\text{m}$  aproximadamente (núcleo de  $10 \mu\text{m}$ , recubrimiento de vidrio de  $125 \mu\text{m}$  de diámetro). Alternativamente se puede utilizar un recubrimiento de poliamida más delgado (Lucent), proporcionando un diámetro externo de  $160 \mu\text{m}$ , lo que tiene la ventaja de que la rigidez de la fibra depende en menor grado de la temperatura, y requiriendo un orificio más reducido en el dispositivo de accionamiento en este enfoque utilizado. Incluso mejor, las fibras con recubrimiento de diamante (3M Inc) tienen un diámetro externo de  $127 \mu\text{m}$  y características mecánicas muy estables. Se apreciará, por lo tanto, que un sólo tramo ininterrumpido de fibra óptica une el puerto óptico ( $P_n$ ) asociado con el accionador (305) al colimador (340) del accionador (305), siendo la utilización de dicho tramo ininterrumpido importante para minimizar las pérdidas de inserción óptica.

Los colimadores asociados con los accionadores de la placa (200) están dispuestos en un conjunto lineal (360), estando soportado cada colimador en el cuerpo envolvente (300) por un cardán asociado (365), que adopta la forma mostrada de forma amplia en la figura 4. Por lo tanto, los colimadores están condicionados por los cardanes para su pivotamiento en los ejes ortogonales (X) e (Y), para direccionar el haz saliente, de manera que los cardanes impiden substancialmente la traslación lateral de los colimadores y permiten, asimismo, solamente un reducido movimiento (Z) necesario para recibir cambios térmicos de longitud entre la base (-300-) y el conjunto de accionador/palanca (-310-/-320-) y acortamiento de 2° orden del enlace del colimador de la palanca del accionamiento para mayores ángulos de desviación.

En su funcionamiento, la flexión del accionador (PZT) (310) provoca que su extremo libre y, por lo tanto, la palanca (320) del accionador, se desplacen en el plano (X Y). Este movimiento, amplificado por la ampliación mecánica de la palanca, es comunicado al colimador, a través de la zona corta (350) de la fibra descubierta entre el extremo estrecho de la palanca y el colimador. De esta manera, el colimador es obligado a bascular en la magnitud angular precisa requerida, alrededor de los ejes de pivotamiento (X) e (Y).

Se observará que, en el proceso de direccionado del haz, el accionador funciona sobre la fibra, funcionando la fibra sobre el colimador. Este enfoque tiene una serie de ventajas. En primer lugar, conserva la simetría axial del accionador y de la palanca del accionador, siendo ambas coaxiales y cilíndricas alrededor del eje (Z) de la fibra y el colimador. Esta simetría distribuye la estructura requerida en la forma más eficaz en cuanto a espacio para una disposición de haces 2D. La simetría es asimismo extremadamente útil en la eliminación de resonancias y armónicos que pueden ser problemáticos con piezas mecánicas densamente colocadas y excitadas a frecuencias elevadas. Otra ventaja de utilización de la fibra como "conexión de activación" con el colimador es que todas las influencias sobre el comportamiento dinámico crítico del colimador quedan eliminadas excepto el cardán que está diseñado expresamente para este objetivo, y la propia fibra.

Se observará que la fibra (315) en la zona descubierta (350) es curvada cuando el colimador (340) es direccionado en direcciones descentradas.

El funcionamiento de la placa (200.1) se resumirá brevemente a continuación.

## ES 2 272 579 T3

La radiación óptica de entrada procedente de dispositivos externos (no mostrados) es recibida en diferentes puertas de entrada (tales como -P<sub>n</sub>-) y es guiada a lo largo de la fibra asociada al colimador correspondiente (340), desde el que es emitido un haz de radiación (570) substancialmente colimado. Se aplican señales de accionamiento procedentes del sistema de control (20) al accionador (310) para provocar su flexión, proporcionando la palanca (320) del accionador una amplificación mecánica de dicha flexión de por lo menos, 2:1 y preferentemente, como mínimo, 5:1. La flexión provoca que la fibra (315) en la zona descubierta (350) adopte curvatura y por lo tanto provoque que el colimador (340) bascule dentro de su cardán (365). Por lo tanto, al flexionar el elemento de accionamiento (310) y su elemento separador asociado (320), se consiguen cambios correspondientes en la dirección del haz (370).

Tal como se describirá más adelante, partes de cada placa (200) pueden ser implementadas en forma de componentes de silicio micromecanizados, haciéndose referencia a dichos componentes, en este sector técnico de la invención, como componentes MEM. Por ejemplo, si bien la palanca (320) del accionador es descrita en lo anterior por ser fabricada en un material de fibra de carbono, de manera alternativa puede ser fabricada a partir de sílice o diamante micromecanizados. El silicio de cristal único es un material resistente ligero que muestra características elásticas casi perfectas y que no es susceptible de endurecimiento a causa de la ausencia de límites de granos en el mismo. La microfabricación de la palanca (320) del accionador se describirá más adelante.

De manera similar, las uniones cardantes del dispositivo (360) pueden ser microfabricadas, de manera similar, en un sistema de material basado en silicio, por ejemplo, nitruro de silicio o substratos de diamante. La microfabricación del cardante (165) se describirá más adelante.

Los accionadores (310) de la placa (200) pueden ser fabricados y montados en la placa (200) en forma de elementos individuales. De manera alternativa, los elementos accionadores de la placa (200) pueden ser fabricados en forma de un conjunto unitario de tipo peine.

Haciendo referencia a continuación a la figura 6, se ha mostrado una versión modificada de la placa (200), adoptando las piezas componentes los mismos numerales de referencia que en la figura 5, con primas. En la palanca modificada (300'), los dispositivos de accionamiento (310') están dispuestos de forma que no es paralela entre sí, sino según una disposición radial. Tal como se ha mostrado esquemáticamente en la figura 7, los ejes longitudinales de los dispositivos de accionamiento de cada placa (200') del conjunto de entrada están dirigidos substancialmente hacia el accionador central de la placa opuesta (200') del conjunto de salida (110').

En esta modificación, los colimadores funcionan para dirigir radiación no desviada a la fibra central de un dispositivo opuesto. Esta configuración minimiza la necesidad de desviación adicional de sistemas ópticos en la zona de desviación (120'). Una ventaja adicional de la estructura modificada es que será suficiente una gama menor de movimiento angular en el colimador para dirigir un haz desde cualquier entrada posible a cualquier salida.

En la placa modificada (200'), los accionadores pueden ser fabricados también como estructura de peine unitaria, con una serie de cortes de sierra en ángulo que, en este caso, se requieren para definir la disposición radial de los accionadores.

Una forma preferente para el cardán que soporta cada colimador (340) (ó -340'-) se describirá a continuación con referencia específica a la figura 8.

En la figura 8, se ha mostrado un colimador (340) fijado en una zona central del mismo a su cardán asociado (550). El colimador (340) es una pieza óptica con índice ajustado y con forma substancialmente cilíndrica (o un cristal de forma plana con lentes de refracción realizadas por rectificado en un extremo, que tiene un primer extremo en el que, durante el funcionamiento, emerge un haz de radiación colimado y un segundo extremo al cual está unida por fusión la fibra (315) (suministrada, por ejemplo, por Lightpath Inc., Albuquerque). En caso necesario, se puede proporcionar liberación de tensiones en la soldadura por fusión; dicha liberación de tensiones puede comprender un menisco de adhesivo aplicado al segundo extremo del colimador (340) y la fibra (315), por ejemplo, de un adhesivo de calidad óptica transparente, substancialmente curable por UV, que se puede conseguir de la firma Norland Inc., USA, o bien el segundo extremo del colimador (340) puede formar un rebaje parcial para proporcionar mayor soporte mecánico para la fibra (315).

El cardán (550) es una estructura metálica plana, formada utilizando técnicas fotolitográficas y de recubrimiento metálico. Preferentemente, el cardán (550) está fabricado a base de níquel. El cardán comprende una zona central substancialmente cuadrada y plana (560), que tiene un orificio central circular para recibir el colimador (340). En un extremo de la zona (560), dos aletas (562a) y (562b) sobresalen de esquinas opuestas, encontrándose substancialmente, dichas aletas (562a), (562b) en el mismo plano que la zona central (560). La zona central (560) y las aletas (562a, 562b) tienen dimensiones de grosor nominales de 60  $\mu\text{m}$  hasta 140  $\mu\text{m}$ , si bien, preferentemente, tienen substancialmente un grosor de 100  $\mu\text{m}$ . Fijados a las aletas (562a, 562b) se encuentran un primer y segundo elementos de flexión (570a), (570b), tal como se ha mostrado. Los elementos de flexión (570a), (570b) tienen un grosor preferentemente comprendido entre 10  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ , más preferentemente, substancialmente 20  $\mu\text{m}$ , y una anchura entre 80  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ , más preferentemente unas 200  $\mu\text{m}$ . El primer y segundo elementos de flexión (570a), (570b) son cada uno de ellos, substancialmente del orden de 1,5 mm de largo. Además, los elementos de flexión (570a), (570b) son preferentemente paralelos y se encuentran en el plano de la zona central (560). Los extremos de los elementos de flexión (570a), (570b) alejados de las aletas (562a), (562b) están conectados a un armazón rectangular hueco (58,0) que recibe los

## ES 2 272 579 T3

elementos (570), las aletas (562) y la zona central (560). El armazón (580) se encuentra nominalmente en el mismo plano que la zona central (560). El armazón (580) se encuentra preferentemente en una gama de grosores de  $60\ \mu\text{m}$  a  $140\ \mu\text{m}$ , preferentemente  $100\ \mu\text{m}$ , y la anchura de su borde se encuentra nominalmente entre  $100\ \mu\text{m}$  y  $300\ \mu\text{m}$ , más preferentemente y de forma substancial con una anchura de  $200\ \mu\text{m}$ . En un borde periférico del armazón (580), al ser el borde periférico del armazón (580) nominalmente ortogonal a dicho borde periférico de la zona central (560), están dispuestas dos aletas (582a), 582b) en esquinas opuestas del borde. Dichas aletas (582a), 582b) se encuentran nominalmente en el mismo plano que la zona central (560). Extendiéndose desde las aletas (582a), 582b) se encuentran un tercer y cuarto elementos de flexión (590a), (590b) conectados, respectivamente, en sus extremos alejados de las aletas (582a), (582b) a una zona plana (600) rectificada mecánicamente. La zona rectificada plana (600) y los elementos de flexión (590a), (590b) se encuentran nominalmente en el mismo plano que la zona central (560). Los elementos de flexión tercero y cuarto (590a), (590b) tienen ejes longitudinales asociados que se encuentran en disposición ortogonal con respecto a los primer y segundo elementos de flexión (570a), (570b). Los elementos de flexión (590a), (590b) son preferentemente iguales que los elementos (570a) y (570b).

Los elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b) son más delgados que anchos y, por lo tanto, resisten substancialmente la traslación lateral de la zona central (560) con respecto a la zona plana rectificada mecánicamente (600) cuando el colimador (340) es guiado por la traslación de la fibra (315). Los elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b) se curvan fácilmente en la dirección del eje (Z), tal como se muestra en la figura 8. Los primeros y segundos elementos de flexión (570a), (570b) flexionan en la dirección (Z) para permitir que el colimador (340) gire en dirección (X). El tercer y cuarto elementos de flexión (590a), (590b) flexionan en la dirección (Z) para permitir que el colimador (340) gire en la dirección (Y) tal como se ha mostrado. Los ejes de los elementos de flexión se encuentran de manera ideal sobre los ejes (X) e (Y) en la parte central del colimador.

Si bien el cardán (550) se ha descrito siendo fabricado a partir de un metal o una aleación metálica, en ciertas aplicaciones será más preferible su micromecanización a partir de un material monocristalino tal como silicio, o un nitruro de silicio que tienen características mecánicas superiores y mayor estabilidad en comparación con los metales. Esta estabilidad incrementada se consigue por la substancial ausencia de límites de granos en el silicio monocristalino y en el nitruro de silicio. Se pueden utilizar otros materiales para la fabricación del cardán (550), por ejemplo, carburo de silicio o incluso diamante monocristalino. Una versión microfabricada del cardán (550) se describirá de manera más detallada más adelante.

Se observará que los haces de radiación colimados dentro del sistema de conmutación (40) tienen que ser direccionados con un mayor grado de exactitud, de manera típica del orden de  $0,01^\circ$  de exactitud de direccionado o apuntamiento en un conmutador óptico compacto de 1024 por 1024. Además, esta exactitud requerirá típicamente que sea mantenida durante períodos substanciales de tiempo y variaciones significativas del medio ambiente, de manera que no se puede excluir la totalidad de los mismos por la envolvente y montaje del conmutador.

La utilización, de acuerdo con diferentes aspectos de la presente invención, de un transductor de estado sólido, un dispositivo accionador que es simétrico radialmente alrededor de la fibra, un colimador basculante y un cardán que funciona por curvatura o flexión, contribuyen en su totalidad a un substancial incremento de la exactitud, estabilidad y resistencia al desplazamiento. El recalibrado periódico de las señales de accionamiento requeridas para alinear un colimador específico en el dispositivo de entrada con un colimador específico en el dispositivo de salida puede constituir una ayuda. No obstante, en las aplicaciones más exigentes, una cierta forma de realimentación dinámica en el proceso de direccionado del haz continúa siendo probablemente necesaria.

Una indicación más fiable de la dirección de haz colimado es la orientación angular de un colimador, por ejemplo, por control de la orientación angular del colimador (340) con respecto al cuerpo envolvente (300). Ello tiene la importante ventaja de no requerir muestreo del propio haz y de no requerir haces secundarios que guíen la orientación de los haces primarios para realimentación de posicionamiento. Estos enfoques de la técnica anterior, si bien son capaces de alta exactitud, comportan el riesgo de atenuación o de contaminación de los haces primarios excepto que se incluyan en las trayectorias ópticas complejas características de diseño que consumen mucho espacio.

Por lo tanto, a efectos de mejorar la exactitud de direccionado de haces colimados dentro del sistema de conmutación (40), las realizaciones de la presente invención utiliza bucles de realimentación que toman información de las posiciones angulares instantáneas de los colimadores para derivar las señales de actuación necesarias para efectuar la desviación deseada del haz. La orientación angular de los colimadores puede ser detectada utilizando una serie de tipos de sensores. Los sensores capacitivos son especialmente preferidos dado que tienen características de detección, que son:

- (a) substancialmente invariables con la temperatura a condición de que se mantenga la estabilidad dimensional y que las señales de excitación se mantengan constantes en amplitud y frecuencia; y
- (b) capaces de multiplexado para simplificar las interconexiones eléctricas.

Un sensor capacitivo y su circuito detector asociado para determinar la posición angular del colimador (340), tal como se ha mostrado en la figura 8, se describirá a continuación con referencia a las figuras 10 y 11. En la figura 9, se ha mostrado el colimador (340) con su cardán asociado (550), cuatro placas capacitivas indicadas "a1", "b1", "c1", "d1" dispuestas substancialmente de forma equidistante simétricamente alrededor de un extremo axial del colimador

## ES 2 272 579 T3

(340) y otras cuatro placas capacitivas indicadas "a2", "b2", "c2", "d2" dispuestas substancialmente equidistantes simétricamente alrededor del otro extremo axial del colimador.

Los dos juegos "1" y "2" de placas capacitivas son idénticos y a continuación se describirá solamente uno de ellos.

Las placas "a1" y "b1" son paralelas con el colimador (340) dispuesto de forma substancialmente equidistante entre ellas, tal como se ha mostrado. De manera similar, las placas "c1", "d1" son paralelas con el colimador (340) dispuesto substancialmente equidistante entre ellas. Las placas "c1", "d1" están montadas ortogonalmente con respecto a las placas "a1", "b1". Las placas "a1", "b1" están dispuestas para detectar el movimiento del extremo correspondiente del colimador (340) en la dirección (X), tal como se ha mostrado en la figura 9. Las placas "c1", "d1" están dispuestas para detectar movimiento del extremo del colimador (340) en la dirección (y), tal como se ha mostrado.

Utilizando ambos juegos de placas capacitivas "1" y "2", se puede hacer la determinación de la posición (XY) de ambos extremos del colimador y, por lo tanto, del ángulo comprendido entre el colimador y ambos ejes (X) e (Y). La determinación de posición se puede realizar o bien independientemente para ambos extremos, con comprobación de la integridad del cardán; o de manera más simple interconectando los juegos de electrodos (1) y (2) (es decir, -c2- a -d1-, -d2- a -c1-, -b2- a -a1- y -a2- a -b1-). En una disposición alternativa, basándose en el cardán para limitar el colimador a la rotación estricta alrededor de los ejes (X) e (Y) (sin movimiento de traslación dentro de la medición de precisión requerida) y el ángulo formado por el colimador con ambos ejes (X) e (Y) se deduce de la determinación de la posición (XY) de solamente un extremo del colimador.

La capacidad C desarrollada entre el colimador (340) y cada una de las placas de capacidad se puede calcular aproximadamente de la Ecuación 1:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A_{\text{eff}}/d \quad \text{Ec. 1}$$

en la que

$\epsilon_0$  = permisividad absoluta de espacio libre ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m);

$\epsilon_r$  = permisividad relativa de medio entre la placa y el colimador (340) (a saber, aire o nitrógeno seco,  $\epsilon_r = 1,00$ );

$A_{\text{eff}}$  = áreas de interfaz efectivo presentadas (aproximadamente igual a la mitad del área de la superficie de la placa dirigida hacia el colimador -340-); y

d = intersticio entre la placa y el colimador (340).

En una realización, las placas "a1" y "b1" están conectadas con intermedio de amplificadores de carga a entradas respectivamente no inversora e inversora de un primer amplificador diferencial (no mostrado), que proporciona una señal correspondiente de salida  $V_X$ . De manera similar, las placas "c1" y "d1" están conectadas con intermedio de amplificadores de carga a entradas no inversora e inversora de un segundo amplificador diferencial para proporcionar una correspondiente señal de salida  $V_Y$ .

El colimador (340) está dotado de un recubrimiento de electrodo. Este puede ser un recubrimiento metálico que forma parte de la estructura del colimador o puede ser un dispositivo de electrodo específico. Una conexión (610) se realiza de manera conveniente a este electrodo colimador con intermedio del cardán (550) y el colimador es excitado, en una realización, con una excitación senoidal que tiene una amplitud  $V_E$ . De este modo, las señales  $V_X$  y  $V_Y$  pueden ser determinadas de la Ecuación 2 y la Ecuación 3:

$$V_X = (V_E \epsilon_0 \epsilon_r A_{\text{eff}}/C_F)[(d_a - d_b)/(d_a d_b)] \quad \text{Ec. 2}$$

$$V_Y = (V_E \epsilon_0 \epsilon_r A_{\text{eff}}/C_F)[(d_c - d_d)/(d_c d_d)] \quad \text{Ec. 3}$$

en las que

$d_a$  = distancia desde el colimador (340) a la placa "a1";

$d_b$  = distancia desde el colimador (340) a la placa "b1";

$d_c$  = distancia desde el colimador (340) a la placa "c1"; y

$d_d$  = distancia desde el colimador (340) a la placa "d1".

## ES 2 272 579 T3

Dado que la señal de excitación es una señal substancialmente senoidal, por ejemplo, una señal senoidal con una frecuencia de 20 kHz a 100 kHz, más preferentemente de 50 kHz substancialmente. Las señales de salida  $V_X$ ,  $V_Y$  son también señales senoidales, con una frecuencia similar a la señal de excitación.

- 5 Se observará de las Ecuaciones 2 y 3 que  $V_X$  y  $V_Y$  serán de una amplitud substancialmente cero cuando el colimador (340) esté posicionado de forma equidistante con respecto a las placas “a1”, “b1”, “c1”, “d1”.

10 Para pequeñas desviaciones del colimador (340) con desviación con respecto a la posición central, las Ecuaciones 2 y 3 indican que se puede conseguir una detección aproximadamente lineal de la posición del colimador (340). Para desviaciones mayores, el detector pasa a ser no lineal, pero completamente utilizable, dado que los voltajes medidos todavía se adaptan a las posiciones acopladas.

15 En su funcionamiento, el sistema de control (20) recibe instrucciones de direccionado de un dispositivo externo y se refiere a una tabla de consulta de calibración que asocia puertas ópticas a conectar con ángulos de direccionado de colimadores y, por lo tanto, con los valores deseados de  $V_X$  y de  $V_Y$  para cada uno de los accionadores del conjunto (10) asociados con los puertos a conectar. El sistema de control (20) procede a accionar su elementos accionadores (310) hasta alcanzar los valores deseados  $V_X$ ,  $V_Y$  para dichos accionadores. Este proceso iterativo puede iniciarse en las señales de accionamiento preliminares (X) e (Y) asociadas con cada ángulo de colimador deseado en el proceso de calibrado.

20 Métodos alternativos y preferentes de detección, utilizando también uno o ambos juegos de placas de capacidad mostrados en la figura 9, se describirán a continuación haciendo referencia a la figura 10.

25 En esta disposición, las placas (a), (b), (c) y (d) son excitadas y una señal de medición es tomada desde el electrodo del colimador a través del terminal (610). Se pueden utilizar, tal como se ha descrito anteriormente, o bien un juego único de electrodos o dos juegos conectados de forma cruzada a cada lado del cardán. Cuatro señales de excitación de placa de onda cuadrada son generadas tal como se muestra en la figura 10. Las señales (I) y (Q) se encuentran en cuadratura, y sus respectivas formas invertidas se encuentran también a disposición. Estas señales son aplicadas a las placas no directamente, sino a través de una disposición calibrada de conmutación (620) y un juego de basculantes (630) de tipo D. La disposición del conmutador tiene dos estados: un primer estado en el que las cuatro señales distintas de activación están conectadas a las entradas (D) de los respectivos basculantes, y un segundo estado de calibración en el que la única señal de activación (I) está conectada a los cuatro basculantes. La operación de resincronización llevada a cabo por los basculantes sirve para incrementar la exactitud de fase entre las señales (I) y (Q), preferentemente a un valor dentro  $10^{-4}$  radianes. Los basculantes son sincronizados en  $4f$ , siendo  $f$  la frecuencia de excitación.

35 La señal del colimador es tomada a través del terminal (610) y una etapa de amplificación única (630) con una precisión (preferentemente 12 bits) ADC. La salida digital es tomada a un procesador de señal digital (DSP) para análisis. Es una importante característica de este circuito que el ADC y los basculantes funcionan a partir de las mismas referencias de tierra y de voltaje. También es importante que las salidas de los basculantes tienen una impedancia muy baja y son activados de barra a barra.

40 El DSP genera una señal, cuyas componentes real e imaginaria se corresponden con la posición (X) e (Y), respectivamente:

$$45 \quad S = \text{Promedio} [(1 - 3) + i(2 - 4)] \quad \text{Ec. 4}$$

50 en la que 1, 2, 3 y 4 representan muestras consecutivas de tiempo y el promedio es tomado sobre un intervalo apropiado.

55 La señal es generada durante ambos estados de “medición” y de “calibrado”, y el dispositivo de conmutación (620) y los valores son comparados para conseguir un valor de posición:

$$\text{Posición} = S_{\text{medición}}/S_{\text{calibrado}} \quad \text{Ec. 5}$$

Esta técnica proporciona una excelente estabilidad contra variaciones en la sensibilidad del amplificador, cambios de comportamiento dieléctrico y desplazamiento del voltaje.

60 Una instalación de autocomprobación o de calibrado puede quedar dispuesta con colimadores adicionales “falsos” que tienen dispositivos de detección idénticos que los descritos, pero que están fijados de manera rígida en orientaciones angulares predefinidas dentro del cuerpo envolvente.

65 A continuación, se describirá una construcción modificada del cardán.

La figura 11 es una ilustración de una disposición lineal de cardanes (550) fabricados utilizando tecnología de micromecanización (MEM), estando indicado el conjunto de manera general por el numeral (900). Los elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b) del cardán (550) están fabricados substancialmente mediante nitruro de silicio

## ES 2 272 579 T3

mientras que las zonas conectadas a los mismos están fabricadas a partir de una combinación de nitruro de silicio y capas de silicio en bruto. El cardán (550) del conjunto (900) es preferentemente de dimensiones substancialmente similares al cardán (550) mostrado en la figura 8. La zona central (560) comprende lentes plano-convexas (910) formadas por crecimiento epitaxial para formar un colimador integrado en el conjunto (900). De manera alternativa, la parte central (560) de la figura 11 puede incluir un orificio redondo micromecanizado, en vez de las lentes (910) para recibir la forma cilíndrica de colimador que se ha descrito previamente.

La fabricación del conjunto (900) comporta las siguientes etapas:

- 10 (a) disponer un sustrato en forma de oblea de silicio;
- (b) provocar el crecimiento o depósito de una capa de nitruro de silicio sobre el sustrato por depósito en fase de vapor;
- 15 (c) eliminar de forma selectiva y por ataque químico el sustrato de silicio en las proximidades del lugar en que se tienen que formar los elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b); y
- (d) delinear las zonas huecas para hacer que el armazón (580), elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b) y la zona central (560) del cardán (550) queden definidos y libres, comportando preferentemente  
20 dicha delineación la utilización de ataque reactivo por iones utilizando plasma limitado magnéticamente que proporciona anisotropía de ataque mejorada.

Si las estructuras de las lentes del colimador se tienen que formar integralmente en el dispositivo (900), se incluye una etapa adicional de depósito entre las etapas (b) y (c) anteriormente indicadas, para formar dichas estructuras de lentes.

Asociadas con las fases de fabricación (a)-(d) se despondrán etapas fotolitográficas, etapas de depósito de capas de protección, etapas de revelado de la capa de protección, y etapas de formación de mascarillas por serigrafado que son bien conocidas en este sector técnico de la fabricación de semiconductores. La microfabricación del conjunto (900) puede ser llevada a cabo con otros sistemas de materiales, por ejemplo, con diamante monocristalino.

Cuando el cardán (550) es microfabricado, esta microfabricación permite la impulsión de galgas de esfuerzo para detectar los esfuerzos inducidos en los elementos de flexión (570a), (570b), (590a), (590b). Esta detección de las galgas de deformación puede ser de forma aditiva o en sustitución de la detección de posición capacitiva mostrada en la figura 10. Las galgas de esfuerzo están preferentemente constituidas a partir de polisilicio dopado con crecimiento epitaxial, que es capaz de proporcionar un factor de galgado del orden de 3, o bien silicio monocristalino dopado con crecimiento epitaxial que puede tener factores de galgado que se aproximan a varios cientos para ciertas orientaciones cristalográficas.

En su funcionamiento, las galgas de esfuerzo pueden ser utilizadas:

- (a) para detectar la dirección de direccionado de los colimadores asociados con los cardanes del conjunto (900); y/o
- 45 (b) para detectar los desplazamientos en el eje (z) del cardán (550) y, por lo tanto, avisar del posible fallo inminente del cardán si tiene lugar un movimiento excesivo en el eje (z); y/o
- (c) accionar con intermedio de un bucle de realimentación los elementos del accionador dotados también de accionamiento en la dirección del eje (Z) y reducir de esta manera activamente la traslación del colimador en la dirección del eje (Z) a cero.
- 50

Haciendo referencia a la figura 12, el cardán (550) de forma microfabricada se ha mostrado completo con sus galgas de esfuerzo. Los elementos de flexión tercero y cuarto (590a), (590b) incluyen, según su longitud, galgas de esfuerzo (920), (930) respectivamente. De manera similar, los primer y segundo elementos de flexión (570a), (570b) incluyen, según su longitud, galgas de esfuerzo (940), (950) respectivamente. Sobre el armazón (580) se han incluido primera y segunda galgas de compensación (960), (970) que proporcionan detección de temperatura para la compensación de las galgas de esfuerzo (920) a (950) para cambiar la resistencia con la temperatura. En caso necesario, las galgas (920) a (970) pueden estar conectadas eléctricamente a una configuración de puente de Wheatstone; alternativamente, las galgas (920) a (970) pueden estar conectadas individualmente y, por lo tanto, pueden ser interrogadas individualmente desde el sistema de control (20). Las conexiones eléctricas son guiadas desde las galgas de esfuerzo a lo largo de los elementos de flexión, en caso necesario, tal como se ha mostrado en la figura 18. Las conexiones eléctricas son eventualmente dirigidas a patillas de contacto en bordes periféricos del conjunto (900). Cuando las galgas (920) a (950) tienen substancialmente la misma longitud que sus elementos de flexión asociados, detectan principalmente en funcionamiento la curvatura de sus elementos de flexión y, por lo tanto, la dirección de guiado angular de su colimador asociado. Inversamente, si las galgas (920) a (950) se hacen considerablemente más cortas que sus correspondientes elementos de flexión, se pueden utilizar para generar una señal de medición sensible a movimiento en la dirección del eje (z) del colimador y al ángulo de guiado del colimador.

## ES 2 272 579 T3

En caso necesario, combinaciones de galgas de esfuerzo más cortas y más largas pueden ser incluidas en el cardán microfabricado (550) mostrado en la figura 11, y sus señales pueden ser mezcladas para proporcionar independientemente información de detección en el eje (z) y de ángulo de colimador.

5 La microfabricación de colimadores en el cardán microfabricado (550) de las figuras 11 y 12 se ha mostrado en un vista en sección en la figura 13. La fibra (315) de la zona descubierta (350) es soldada por fusión en (905) a una primera cara de un bloque de un cristal (1000) que es substancialmente transparente ópticamente, incluyendo también el bloque (1000) una segunda cara substancialmente paralela a la primera. Durante el montaje del conjunto (900), una segunda cara del bloque (1000) es unida, por ejemplo, utilizando un adhesivo substancialmente transparente ópticamente con curado UV, a la cara inferior de la zona central (560). En la cara superior de la zona central (560) de la figura 13, se ha formado epitaxialmente las lentes planoconvexas (910). En caso necesario, se puede aplicar fresado por láser o por iones a las lentes para completar sus características ópticas de manera que la lente (910) es capaz de formar un haz de radiación colimado preciso.

15 A continuación se describirá un ejemplo de un dispositivo accionador piezoeléctrico, que hace referencia a la figura 14.

La figura 14 muestra un accionador piezoeléctrico cilíndrico (310) de sección transversal cuadrada y que tiene un orificio axial (también de sección transversal cuadrada) que recibe la fibra óptica (315). Se muestran esquemáticamente en la figura 14 electrodos posicionados dentro del cuerpo del material piezoeléctrico. Cuatro electrodos han sido designados ARRIBA (UP), ABAJO (DOWN), IZQUIERDA (LEFT) y DERECHA (RIGHT). Si se estimula solamente UP, la parte superior del accionador tal como se aprecia en la figura 14, se contraerá y el conjunto del accionador se curvará hacia la parte que se contrae, desplazando por lo tanto la posición de la fibra hacia arriba, a lo largo del eje (X). Lo mismo es aplicable para cada uno de ABAJO, IZQUIERDA y DERECHA en sus direcciones respectivas. Los electrodos son estimulados por entradas U, L, R y D en la figura 14, que corresponden a los electrodos ARRIBA (UP), IZQUIERDA (LEFT), DERECHA (RIGHT) y ABAJO (DOWN), respectivamente. Para mayor facilidad de organización de la electrónica, las entradas de los electrodos están todas ellas posicionadas al mismo lado del accionador. En la presente realización, se disponen cuatro electrodos que estimulan el accionador piezocerámico. En este caso, los electrodos se extienden a toda la longitud del accionador y, alternativamente, los electrodos pueden estimular solamente una sección del accionador.

Un transductor de bloque piezocerámico de tipo monolítico, de tipo específico y preferente es el mostrado en la figura 15; puede ser fabricado colocando capas de material piezocerámico con electrodos integrados.

35 Se apreciará que hacia la parte superior de la estructura del accionador (tal como se aprecia en la figura), se han intercalado capas de electrodos (A) y (B), que se extienden a la anchura del bloque. Hay capas similares de electrodos (E) y (B) hacia el fondo del bloque. Con las capas (B) convenientemente dispuestas a tierra, la aplicación de voltaje a (A) o (E) provocará movimiento hacia arriba o hacia abajo, respectivamente. En esta disposición, los voltajes de activación son unipolares y la polarización está alineada en paralelo con el campo aplicado de manera tal que el material piezoeléctrico reacciona en la modalidad de contracción.

En la zona central del bloque están intercaladas las capas de electrodo (C) y (D). La capas (D) se extienden a la anchura del bloque, mientras que los electrodos (C) están divididos en izquierda y derecha. La aplicación de voltaje al conjunto apropiado de electrodos (C) producirá la desviación a la izquierda o a la derecha.

45 A continuación, se hará referencia a la figura 16, que muestra un componente de conmutador óptico según una realización preferente de la presente invención. Esta realización se basa en elementos específicos y características que ya se han descrito anteriormente.

50 La figura 16 muestra una placa de soporte (1700), en la que se han cortado cuatro ranuras convergentes radialmente (1702), cada una de las cuales recibe un dispositivo de direccionado de haz indicado, de manera general, por (1704). Las verdaderas fibras ópticas no se han mostrado en la figura 16, pero su disposición se observará de las trayectorias de haz mostradas por las correspondientes líneas de trazos (1706).

55 Accionadores piezoeléctricos alargados (1708) están dispuestos en las respectivas ranuras, fijados por un extremo a la placa de soporte con intermedio de pinzas (1710). En la zona de estas pinzas, los accionadores piezoeléctricos se aprecian que llevan terminales para conexión externa con los electrodos de accionamiento internos.

60 Desde el extremo libre de cada accionador piezoeléctrico (1708), se extiende una palanca circular hueca y cilíndrica (1712) que tiene mayor longitud que el propio accionador. El diámetro externo de la palanca está escalonado en zonas desde un diámetro relativamente grande adyacente al dispositivo accionador hasta un diámetro relativamente pequeño en su extremo libre. La palanca puede estar constituida sobre una amplia gama de metales o de compuestos combinados.

65 En los extremos de las ranuras (1702) alejados de las pinzas (1710) se han dispuesto canales en forma de "U" (1718) que proporcionan un montaje rígido para los cardanes respectivos (1720). Estos cardanes (1720) y los colimadores asociados (1722) pueden adoptar cualquiera de las formas anteriormente descritas.

## ES 2 272 579 T3

Una barra de detección (1724) está separada de la placa de soporte (1700) con intermedio de las columnas (1726) y tiene una serie de aberturas (1728) que reciben los extremos libres de los correspondientes colimadores (1722). Dispuestos sobre cada abertura (1728) se encuentran placas de detección capacitivas (a), (b), (c) y (d) de la figura 9.

5 En la figura 17 se ha mostrado esquemáticamente una modificación de la construcción de la figura 16. El objetivo de esta modificación consiste en mejorar la resistencia de la estructura al choque mecánico o vibraciones.

10 En esta variante, el accionador (1708') está fijado nuevamente de forma rígida por un extremo a la placa de soporte mostrada esquemáticamente con el numeral (1700'). La fibra óptica (1705) pasa también a través del accionador (1708') y la palanca (1712') a un colimador y el dispositivo de cardán (1720')/(1722') que no ha cambiado. No obstante, la palanca (1712') no está soportada sobre el accionador sino que está soportada, en vez de ello, sobre la placa de soporte (1700') con intermedio de un cardán (1750). Este nuevo cardán, a efectos de conveniencia, puede adoptar la misma forma que el cardán (1720) del colimador con las dimensiones del elemento de flexión ampliadas a 400  $\mu\text{m}$ , acortadas a 600  $\mu\text{m}$  y el armazón (580) reforzado de manera adecuada.

15 En su funcionamiento, el movimiento de flexión del extremo libre del accionador (1708') es comunicado por intermedio de la fibra (1705) al extremo delantero de la palanca (1712'). El tramo de fibra sin soportar de este elemento de flexión es de 0,5 a 1,5 mm, idealmente 0,6 mm. El extremo de la palanca dirigido al colimador se desplaza entonces en direcciones opuestas, amplificando el movimiento por la ventaja mecánica de la palanca, aproximadamente 4:1 en este ejemplo.

20 En el caso de un impulso externo en la dirección (X) o (Y), la palanca (1712') es considerablemente más resistente a los movimientos no deseados que la disposición en voladizo anteriormente descrita. En realidad, utilizando las dimensiones preferentes que se han indicado, el primer orden de la fuerza de inercia que tiende a desplazar el accionador por su extremo hacia abajo es equilibrado por la fuerza que tiende a desplazar el extremo del colimador de la palanca (-1712'-) hacia abajo (cuando se tiene en cuenta una ampliación del accionamiento de 4:1). Este equilibrio puede ser ajustado al ajustar la masa añadida entre el cardán (1750) y el extremo del colimador del accionador (1712').

25 La palanca (1712') (y ciertamente la palanca -1712-) puede ser realizada a base de un tubo de acero inoxidable (por ejemplo, tubo de 1,25 mm con un grosor de pared de 0,2 mm) o puede estar construido utilizando una amplia variedad de técnicas, incluyendo la micromecanización.

30 Si bien es conveniente utilizar la fibra para comunicar movimiento entre el accionador y la palanca, también es posible un elemento de flexión alternativo u otra conexión.

35 Las realizaciones anteriores utilizan, de manera general, una forma de cardán en la que el movimiento basculante deseado (XY) del colimador se consigue por curvado o flexión de elementos preferentemente formados en una estructura de placa integral. Esta forma de cardán se acepta que tiene una serie de ventajas, en especial en fiabilidad a largo plazo. No obstante, son posibles disposiciones alternativas para el montaje del colimador.

40 Un ejemplo de un montaje colimador alternativo es el mostrado en la figura 18. En este caso, un montaje indicado de manera general con el numeral (1200) comprende un cuerpo envolvente (1210) que incorpora tres cojinetes (1220) con bolas de zafiro retenidas dentro de orificios correspondientes formados en el cuerpo envolvente (1210). Los cojinetes tienen preferentemente, cada uno de ellos, un diámetro comprendido aproximadamente entre 150  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , más preferentemente substancialmente 200  $\mu\text{m}$ . Los cojinetes se encuentran equidistantes alrededor del colimador (340), tal como se ha mostrado, y son mantenidos con una reducida compresión contra una superficie externa substancialmente cilíndrica del colimador (1230). El cuerpo envolvente (1210) es ligeramente adaptable, a saber elásticamente deformable, para proporcionar esta compresión. Cuando se aplica una fuerza de accionamiento mediante la fibra (1240), el colimador (1230) puede bascular dentro del montaje (1200). Además, el colimador (340) está retenido con capacidad de deslizamiento entre los cojinetes de bolas (1220). En su funcionamiento, el colimador (1230) deslizará ligeramente según el eje (z) con respecto al cojinete para ángulos de basculación mayores, siendo fácilmente compensado dicho deslizamiento por el montaje (1220) no provocando un cambio sustancial de sus características.

45 50 En caso necesario, el cuerpo envolvente (1210) puede ser extendido para soportar las placas capacitivas de sensor para detectar la basculación angular del colimador (340); se pueden utilizar o bien dispositivos sensores capacitivos de cuatro placas o de ocho placas, tal como se ha mostrado en la figura 9.

55 Si bien la utilización de una palanca del accionador que es coaxial con la fibra óptica se acepta que tiene una serie de importantes ventajas relativas a la conservación de la simetría axial, tal como se ha explicado anteriormente, son posibles disposiciones alternativas.

Una de dichas alternativas se describirá a continuación haciendo referencia a la figura 19.

60 65 La figura 19 muestra un colimador (2000), a mayor escala y en detalle, montado en un cardán que se ha representado esquemáticamente mediante nuevos elementos de flexión (2002) y (2004). El colimador (2000) está conectado igual que en el caso anterior a la fibra óptica (2006).

## ES 2 272 579 T3

En esta disposición, la palanca de accionamiento en forma de elemento cónico (2008) está conectada directamente al colimador (2000) con intermedio de una tira de conexión de flexión (2010). La palanca del accionador puede estar conectada rígidamente al accionador o pivotante en la estructura de soporte, tal como se ha descrito con referencia a las realizaciones anteriores.

5

En la realización de la figura 19, la basculación del colimador tiene lugar como resultado directo del movimiento del accionador, en vez de tener lugar con intermedio de la fibra óptica.

La utilización de un elemento cardán u otros medios para realizar la basculación del colimador en las direcciones (X) e (Y) sin traslación en dichas direcciones (X) e (Y) y con mínima o nula traslación en la dirección (Z), se ha descrito en detalle y las ventajas se han indicado. En algunas aplicaciones, será suficiente una desviación de haz en una dimensión y el elemento de cardán necesita entonces bascular solamente alrededor del eje (X). En algunas aplicaciones menos exigentes, será apropiado tener un montaje del colimador que no tiene elemento de cardán pero que comparte todavía una serie de otras ventajas de los diferentes aspectos de esta invención.

15

Esta disposición es la mostrada en la figura 20.

La figura 20 muestra una placa de soporte (2100) que tiene aberturas, cada una de las cuales recibe un accionador piezoeléctrico cilíndrico (2102). Los accionadores son huecos y coaxiales con fibras ópticas centrales (2104). Cada fibra óptica termina en un colimador, y la figura 20 ilustra de manera conveniente formas alternativas del colimador, pudiéndose utilizar ambas con cualquiera de las realizaciones de esta invención. Un colimador (2106) adopta la forma descrita anteriormente de lente de colimación formada separadamente con respecto a la fibra y unida a la fibra de una manera que minimiza las pérdidas de transmisión. El otro colimador (2108) adopta la forma de una lente creada integralmente con la fibra con intermedio de conformación apropiada o tratamiento de la punta de la fibra.

25

Los accionadores (2100) pueden adoptar la forma previamente descrita con la aplicación de señales de accionamiento que provocan flexión del dispositivo de accionamiento y movimiento en las direcciones (XY) del extremo no soportado del accionador y, por lo tanto, del colimador (2106) o (2108). Se muestran terminales para conexión con los electrodos piezoeléctricos en (2110).

30

Se pueden utilizar dispositivos sensores de posición capacitivos o de otro tipo, tal como se ha descrito anteriormente, en la construcción de la figura 20. Por ejemplo, una barra detectora tal como la mostrada en la figura 16, puede ser dispuesta alrededor de los colimadores (2106) o (2108).

La presente invención ha sido descrita mediante ejemplos y es posible una amplia variedad de otras modificaciones sin salir del ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Una serie de características distintas han sido descritas y algunas combinaciones de estas características se han facilitado como ejemplos. Otras combinaciones de estas características serán también útiles, así como todas las combinaciones expresamente dadas a conocer.

Se encontrará información útil referente a la fabricación y utilización de ciertas realizaciones que se han dado a conocer en el documento WO 01/50176, al cual se hace referencia.

Si bien se han descrito como ejemplos diferentes formas de elementos sensores de posición angular, desde luego existen muchas otras alternativas. Así, por ejemplo, si bien se ha descrito la utilización de un electrodo colimador y placas detectoras, hay otras disposiciones de piezas que interactúan y que son fijas con respecto al colimador y a la estructura de soporte, respectivamente. Por lo tanto, la estructura del electrodo colimador puede ser delineada circunferencialmente o dotada de un elemento fijo con respecto al colimador.

Las partes respectivas del detector de posición pueden interactuar magnéticamente en vez de eléctricamente. Así, por ejemplo, una de las partes de interacción puede generar un campo magnético que es detectado por la otra de las piezas que interactúan. Preferentemente, como mínimo una bobina soportada sobre cada colimador detecta el campo magnético establecido por dos o tres pares de bobinas comunes a todo el conjunto de conmutación.

Otra modificación se refiere al impulso dinámico que se ha descrito anteriormente con respecto a la palanca de accionamiento para mejorar la resistencia a las vibraciones o a los choques mecánicos. En algunas aplicaciones, no habrá exigencias para una palanca de accionamiento y el accionador estará conectado directamente al colimador, posiblemente con intermedio de la propia fibra óptica. En esta disposición se puede conseguir un efecto de impulso dinámico similar desplazando el colimador hacia adelante con respecto al cardán, de manera que una mayor longitud del colimador se encuentra fuera del plano del colimador. De esta manera, el movimiento de inercia de la parte del colimador que se encuentra "fuera" del colimador equilibra la de la parte del colimador "dentro" del colimador junto con la interconexión efectiva con el accionador.

65

# ES 2 272 579 T3

## REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo de orientación de un haz, que comprende una estructura de soporte (300, 310', 600, 1700, 1700'); un elemento óptico (315, 350, 340, 350', 340', 1705, 1722, 1722', 1230, 2000, 2006) que se extiende de manera general a lo largo del eje óptico; un accionador (310, 310', 1708, 1708') conectado a dicho elemento óptico para transmitir movimiento desde dicho accionador a dicho elemento óptico, estando adaptado dicho accionador para flexionar cuando es accionado para desplazar dicho elemento óptico; y de manera tal que dicho elemento óptico es obligado a bascular en una dirección substancialmente en el plano X e Y ortogonal al eje óptico, **caracterizado** porque el dispositivo comprende medios de conexión (360, 360', 365, 550, 1720, 1722', 1210, 1220, 1200, 2009, 2002), distintos de dicho accionador, situados entre dicho elemento óptico y dicha estructura de soporte; y el elemento óptico alargado o extendido con el accionador y dichos medios de conexión actúan como palanca (320, 320', 1712, 1712', 1750, 1720', 2008, 2010); de manera que cuando dicho accionador se desplaza el movimiento de dicho elemento óptico es amplificado e invertido con respecto al movimiento del accionador.

15 2. Dispositivo de orientación de un haz, según la reivindicación 1, en el que el accionador (310) incorpora un laminado de capas intercaladas de placas de electrodo y material piezoeléctrico; de manera que el accionador se extiende de manera general en la dirección Z; y dentro de una sección de un plano X e Y tiene una primera zona de placas de electrodo que, cuando son activadas, realizan de flexiones en una primera dirección Y; una segunda región de placas de electrodo que, cuando son activadas, realizan de flexiones en una segunda dirección Y; y una u otras varias zonas de placas de electrodos que, cuando son activadas, efectúan de flexiones en direcciones X.

25 3. Dispositivo de orientación de un haz, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento óptico es un colimador (340) y la disposición comprende además un sensor de posición que proporciona una señal indicativa de la orientación del colimador para su utilización en la realimentación por el accionador en la orientación del haz.

30 4. Dispositivo de orientación de un haz, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de conexión comprenden un elemento de cardán (550, 1720, 1720', 2002, 2009) cuyas partes correspondientes interaccionan para contribuir al movimiento de basculación del elemento óptico.

5. Dispositivo de orientación de un haz, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de conexión comprende un elemento de cardán (550) cuyos elementos correspondientes interaccionan como parte de un sensor de posición.

35 6. Dispositivo de orientación de un haz, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el accionador está conectado al elemento óptico con intermedio de un elemento troncocónico (320, 320', 2008).

40 7. Dispositivo de orientación de un haz, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el accionador acciona con intermedio de una fibra óptica y la acción de la fibra óptica (350, 350') sirve para desplazar un colimador.

45

50

55

60

65

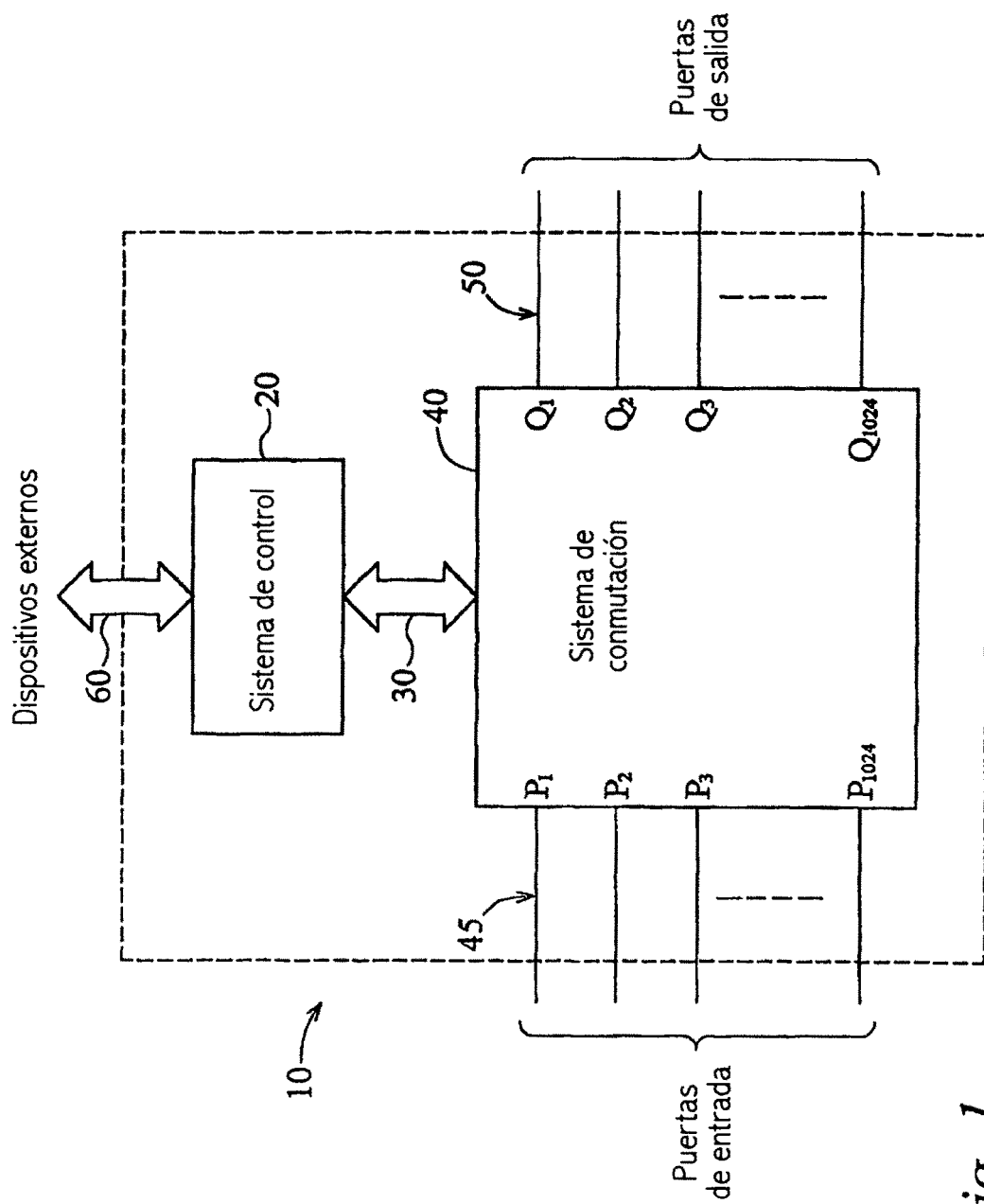


Fig. 1

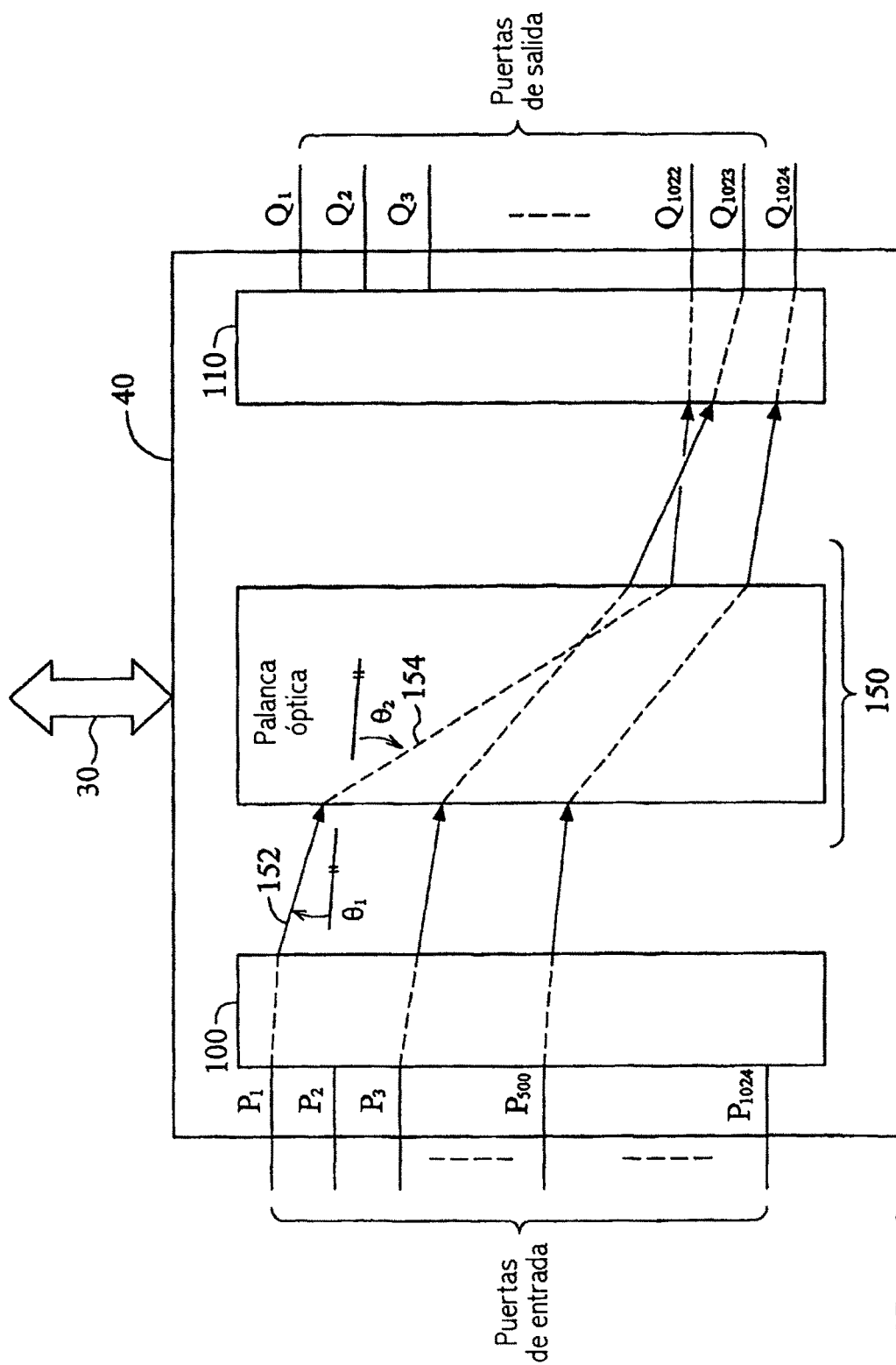


Fig. 2

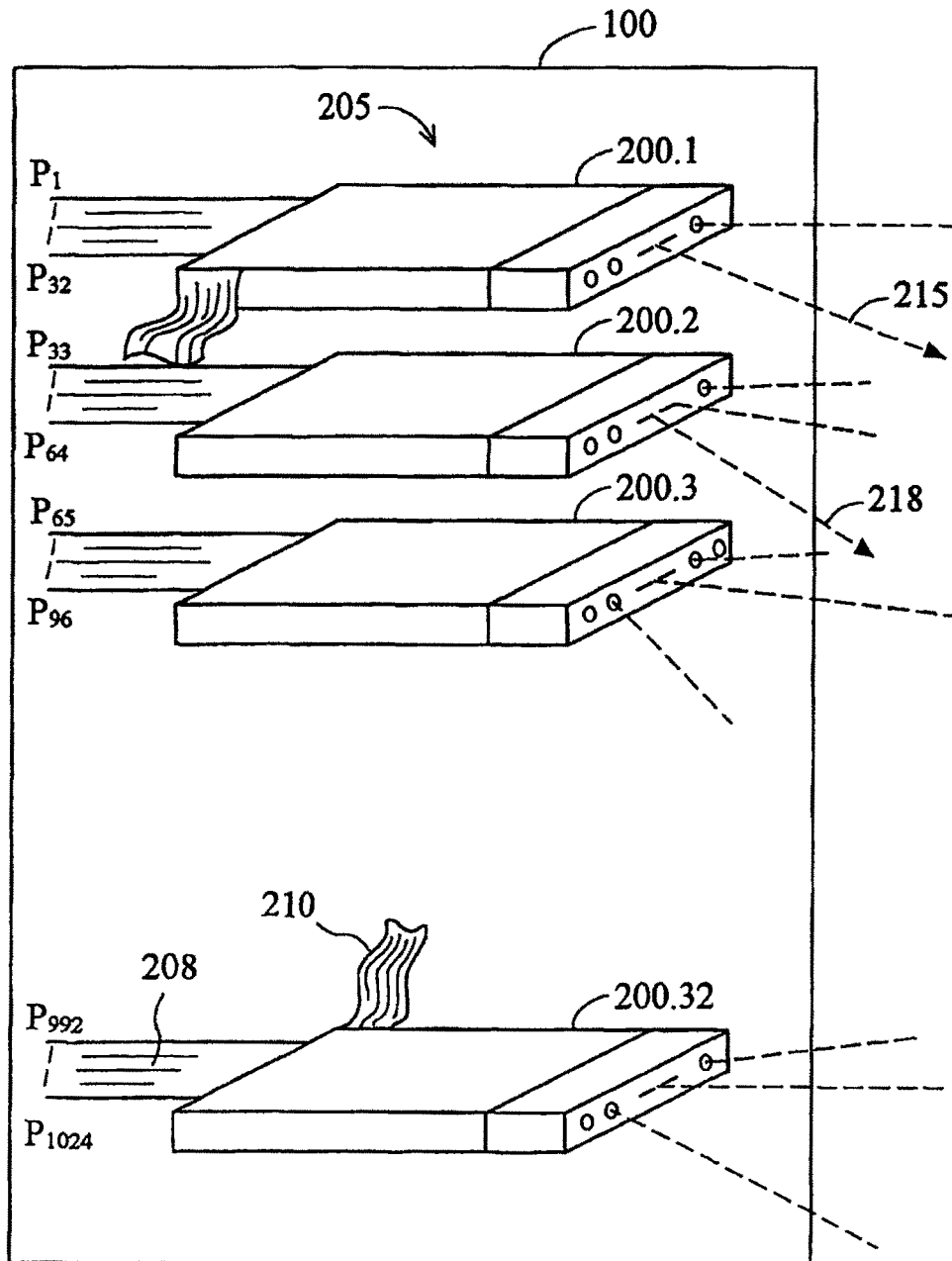
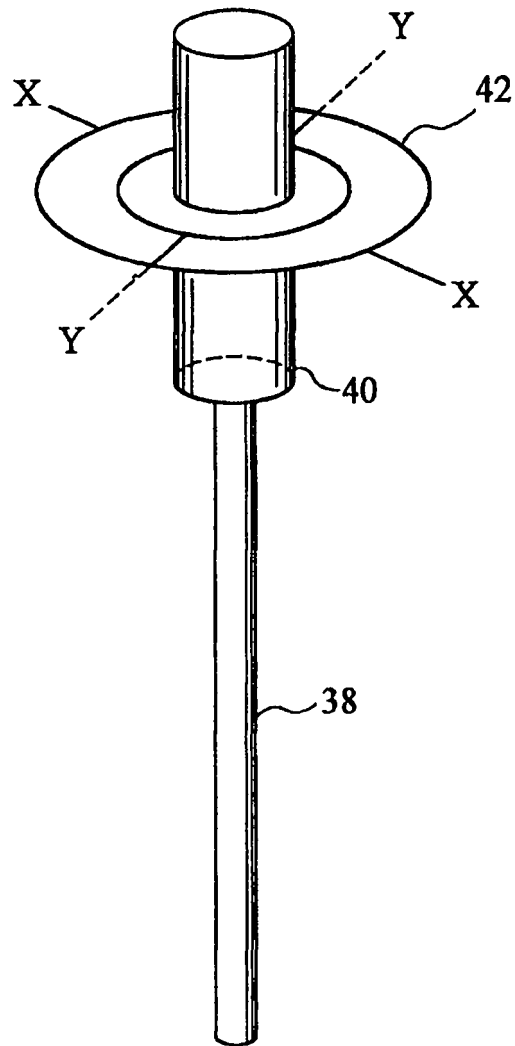


Fig. 3



*Fig. 4*

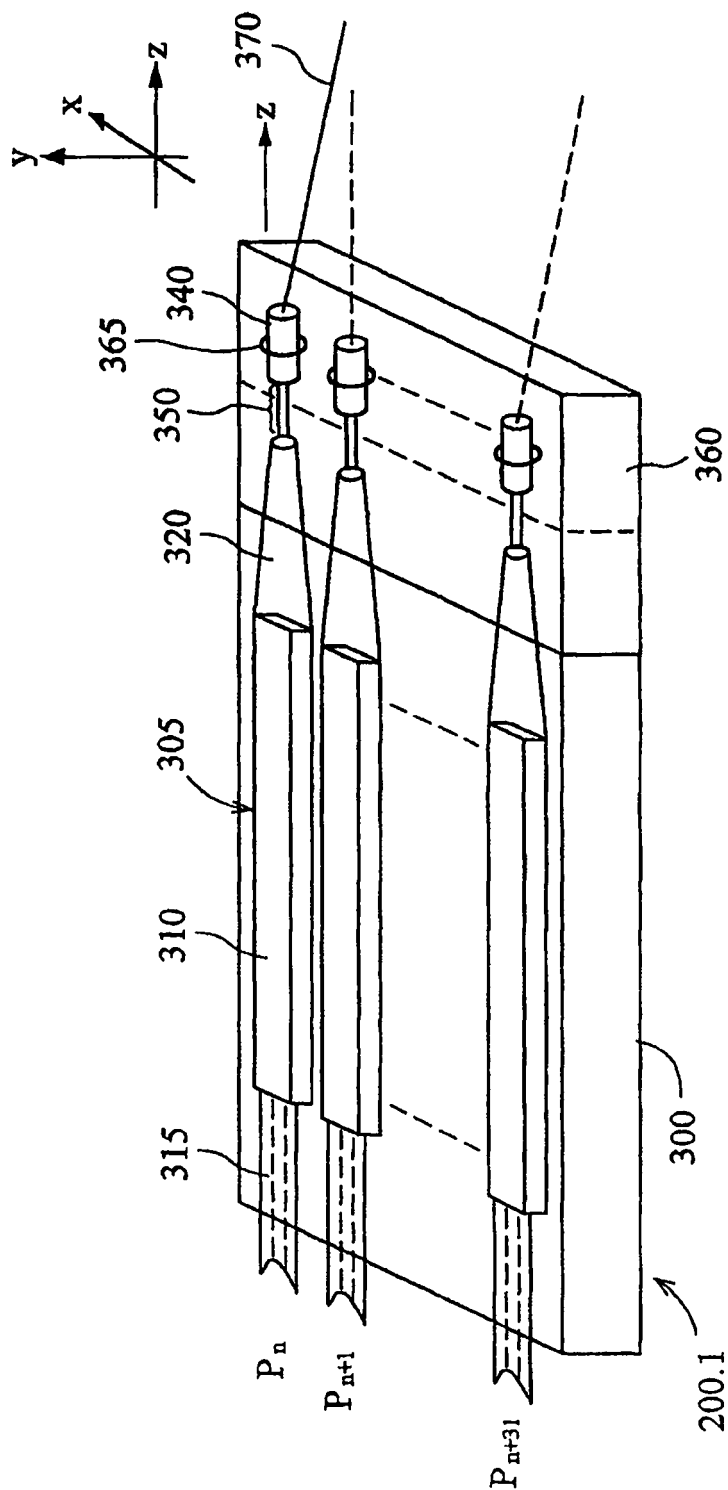


Fig. 5

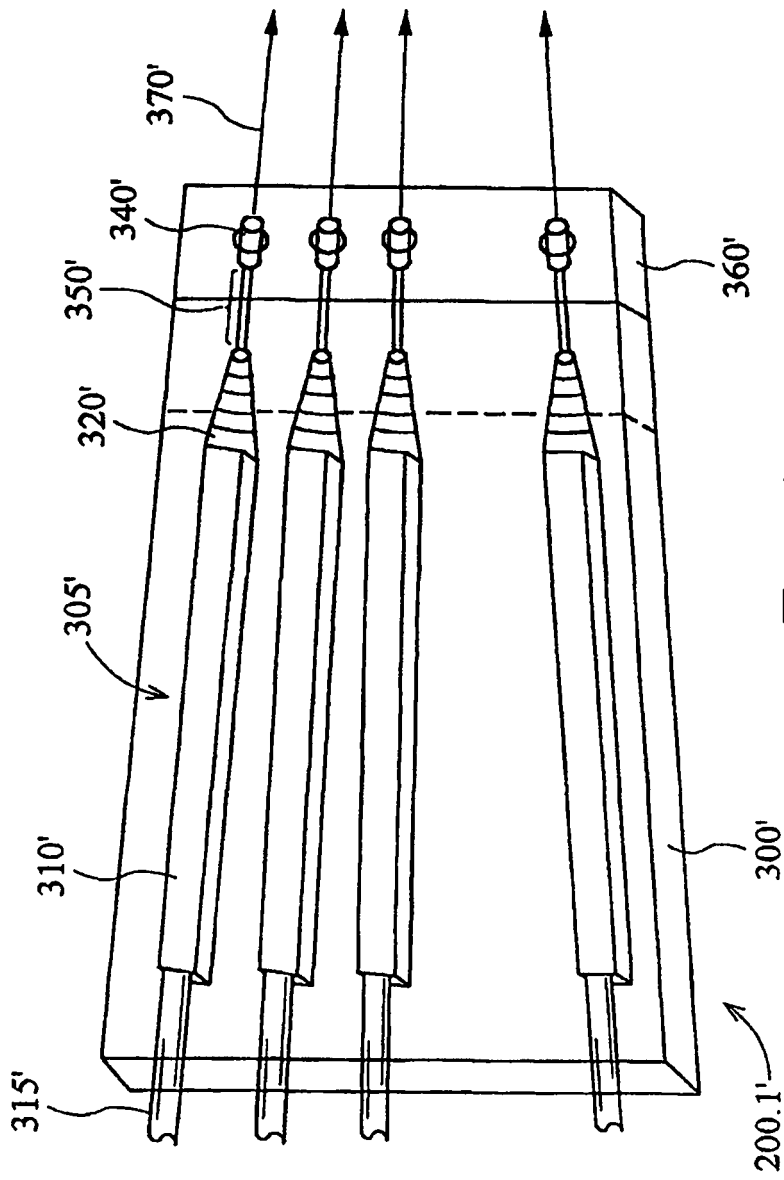


Fig. 6

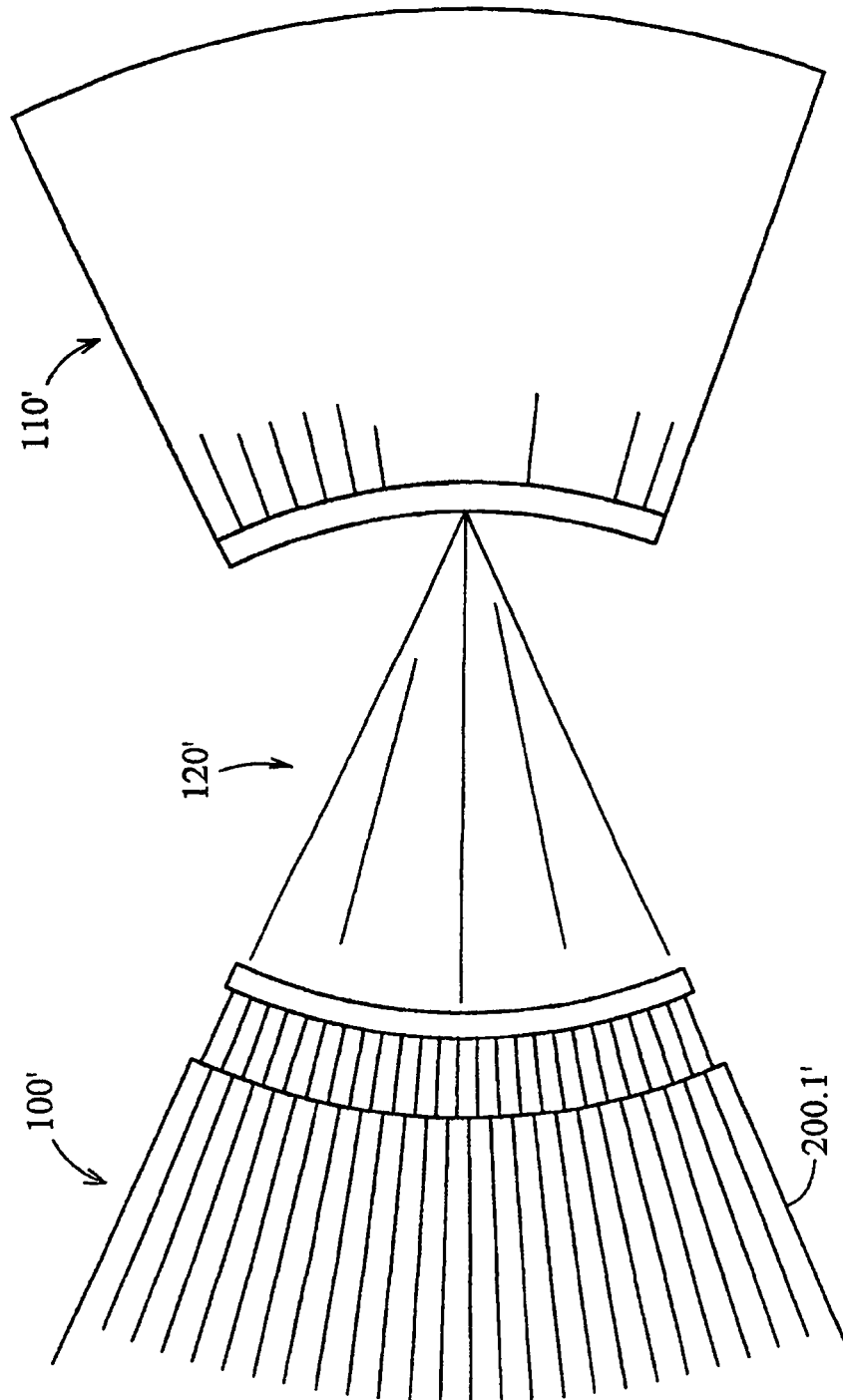


Fig. 7

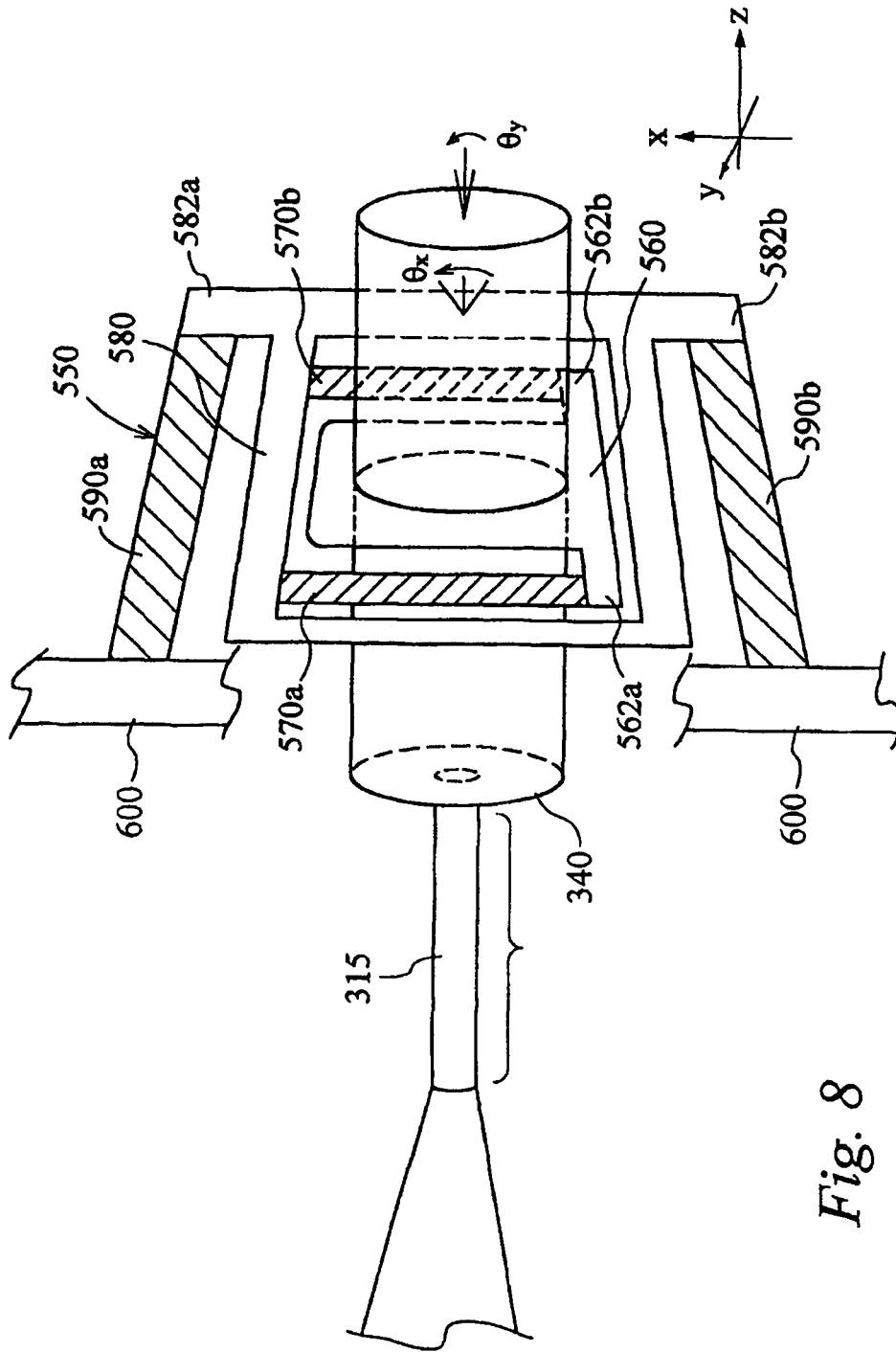


Fig. 8

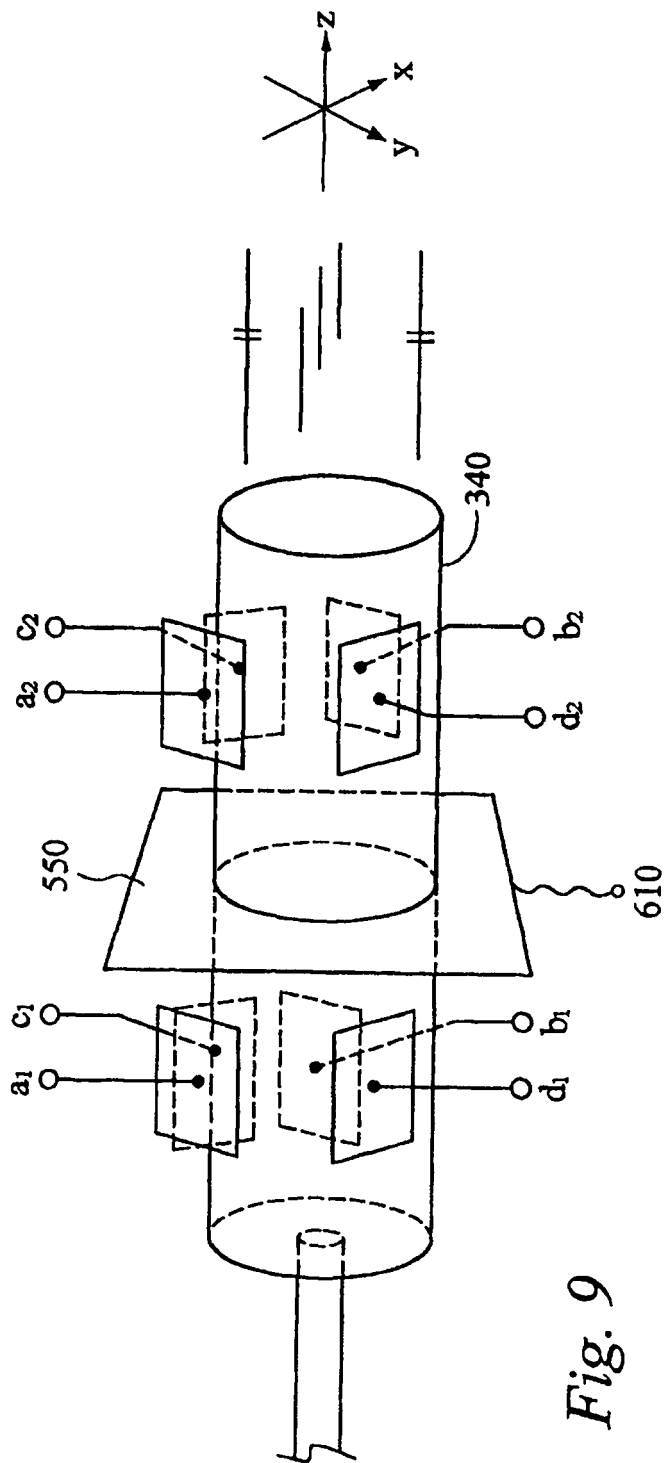


Fig. 9

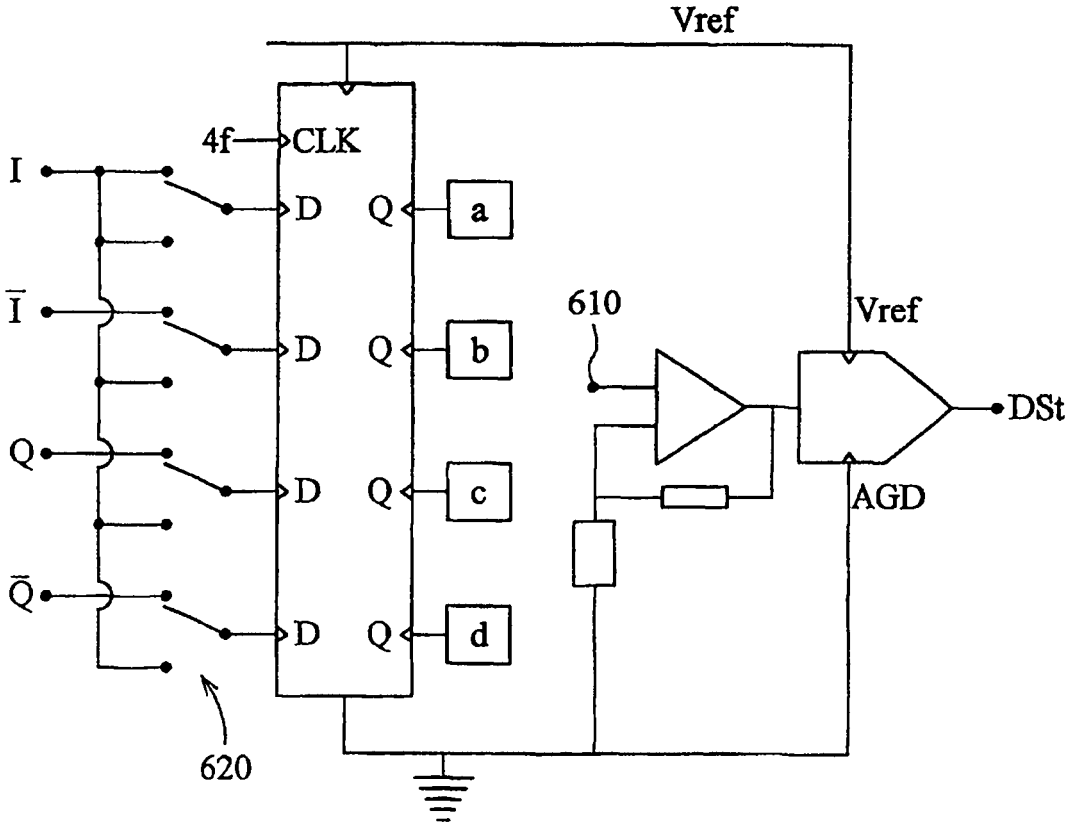
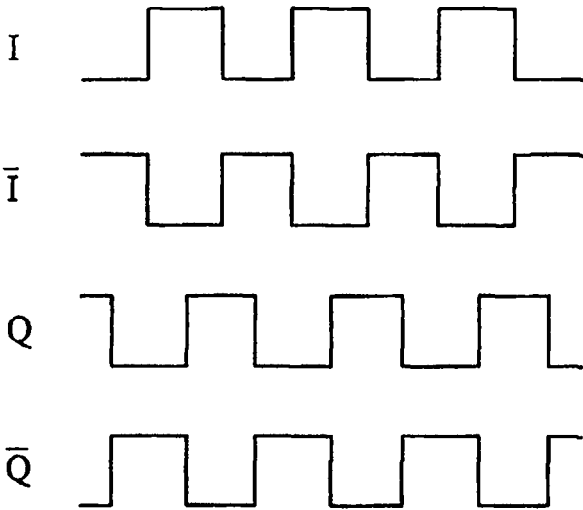
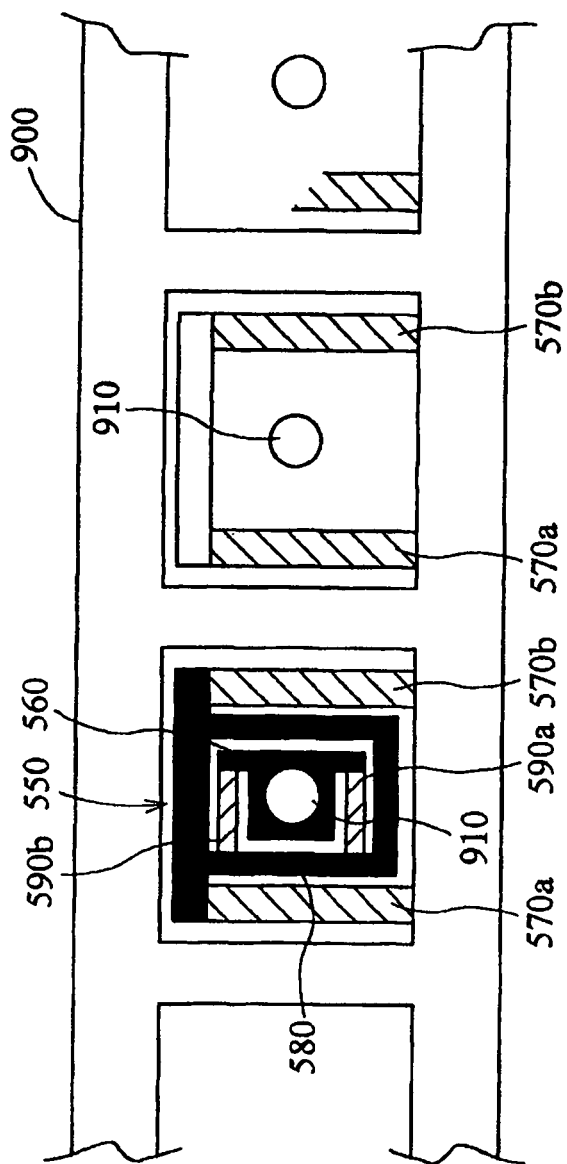


Fig. 10



*Fig. 11*

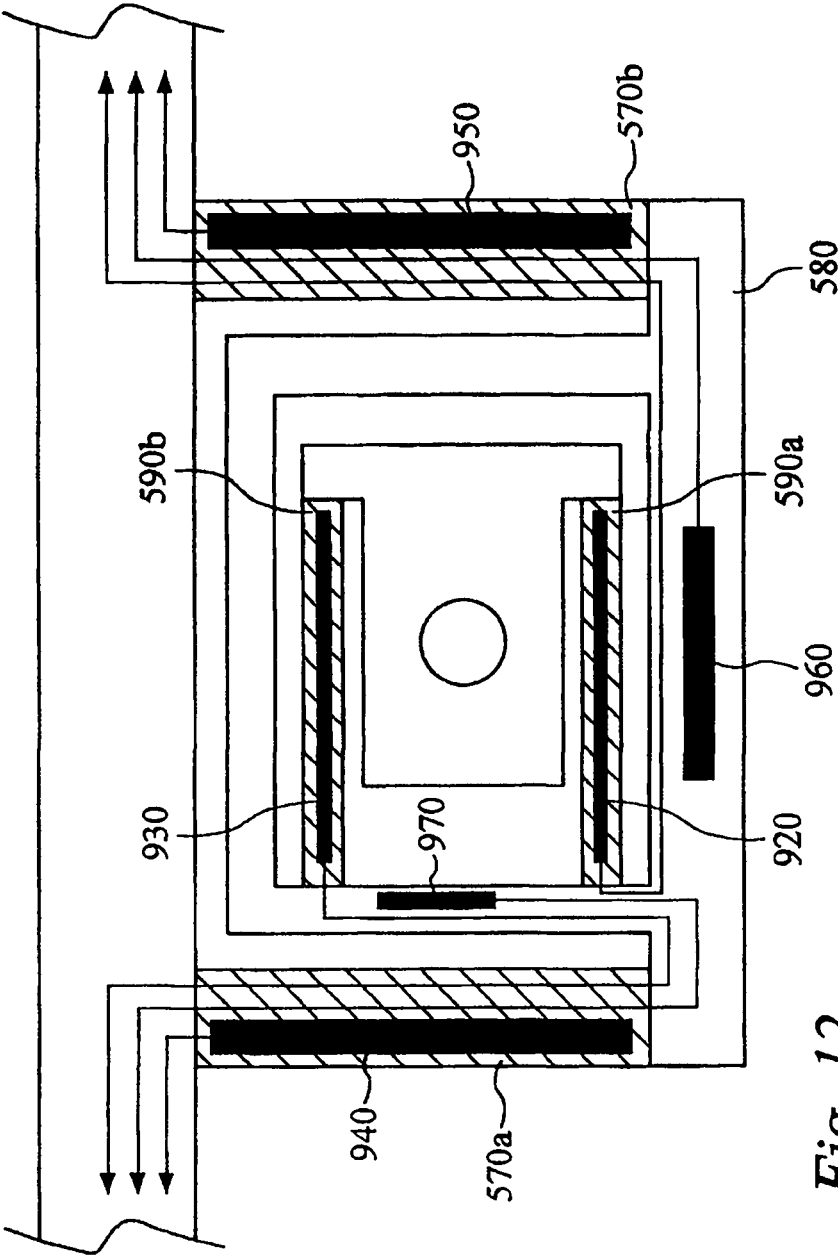
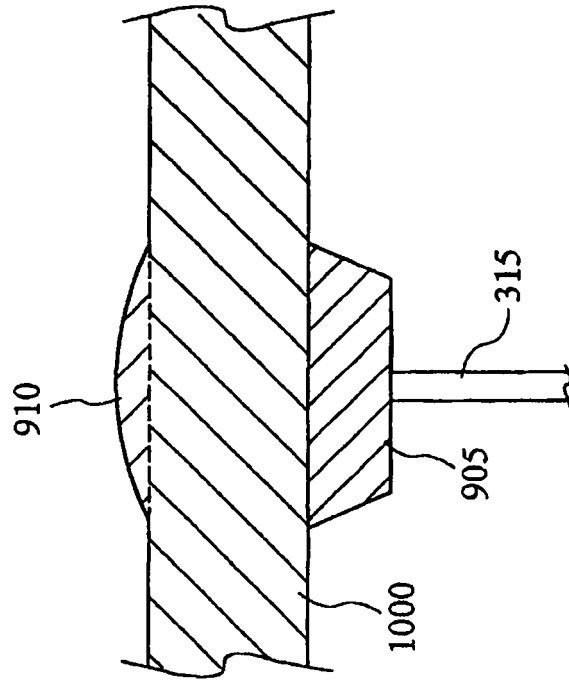
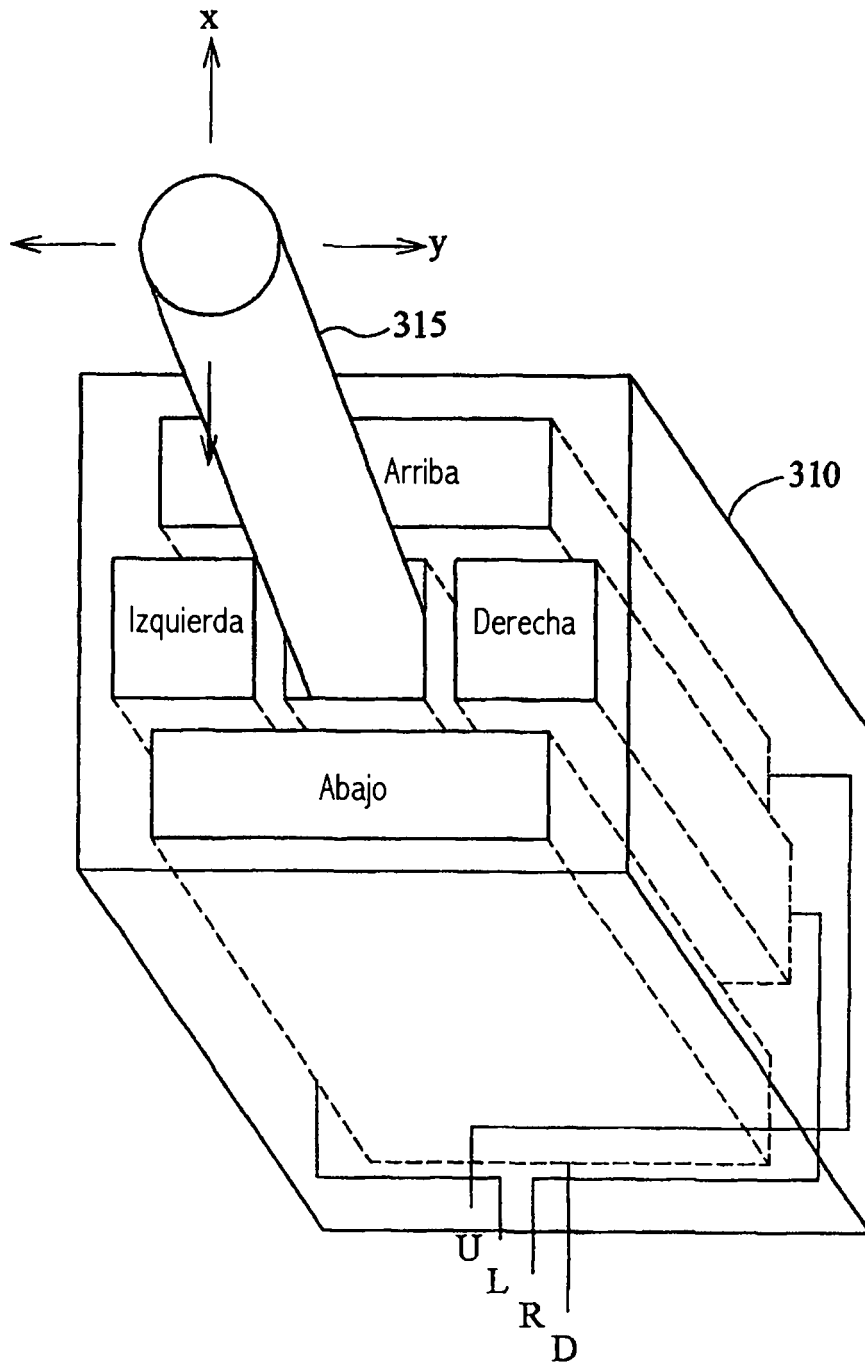


Fig. 12



*Fig. 13*



*Fig. 14*



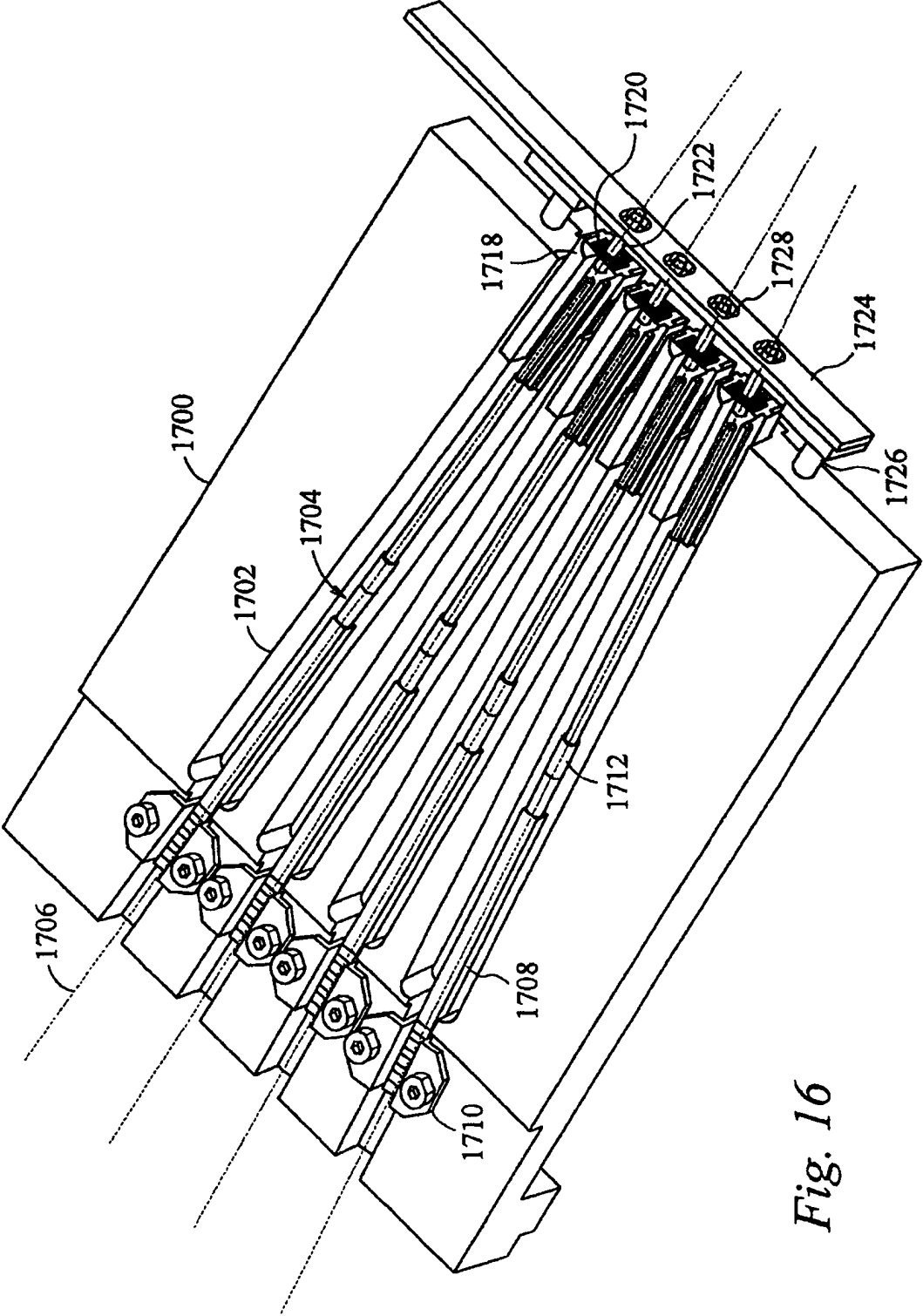


Fig. 16

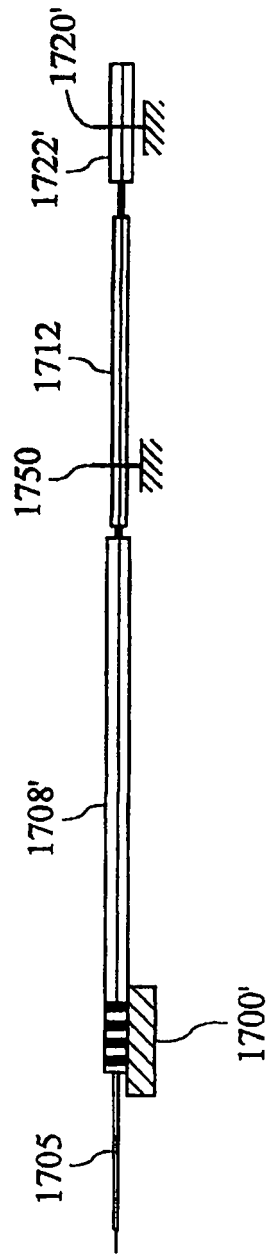
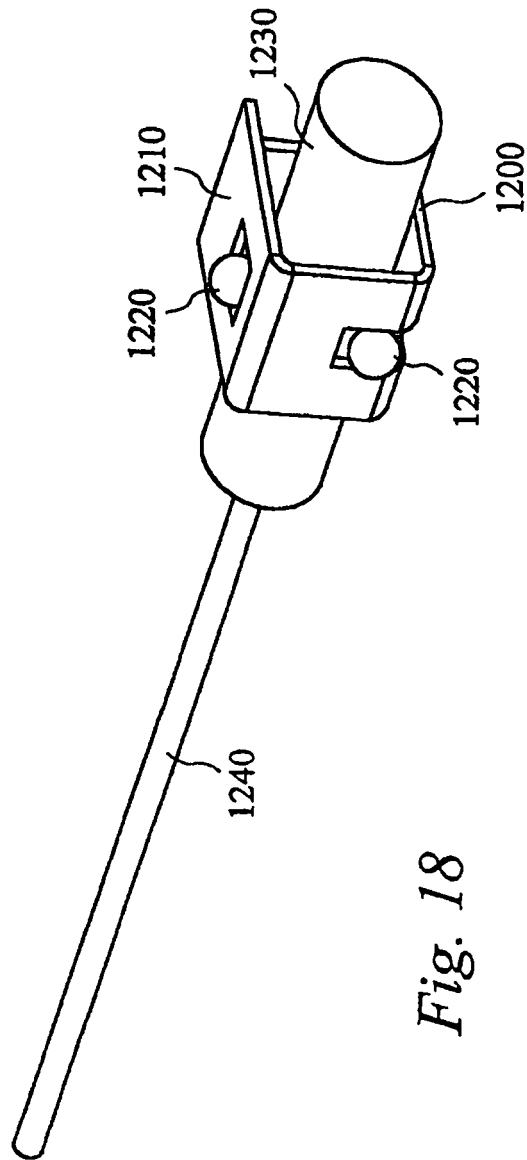
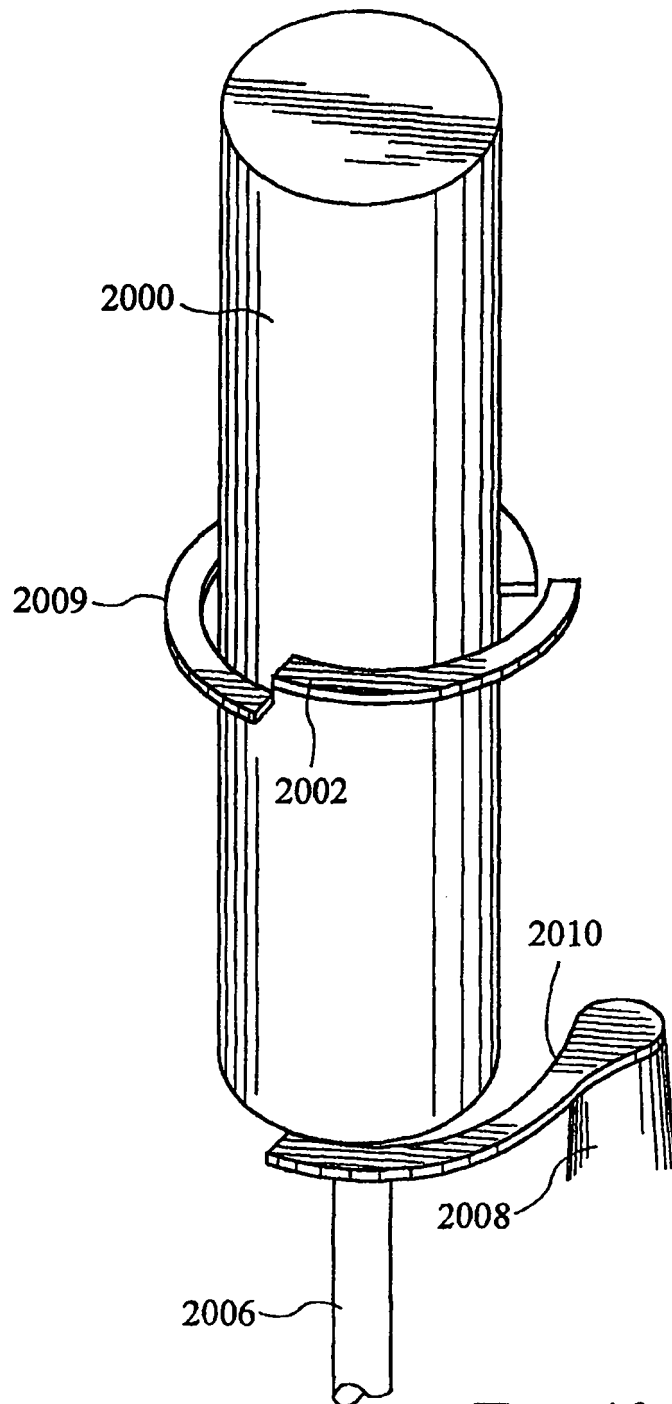


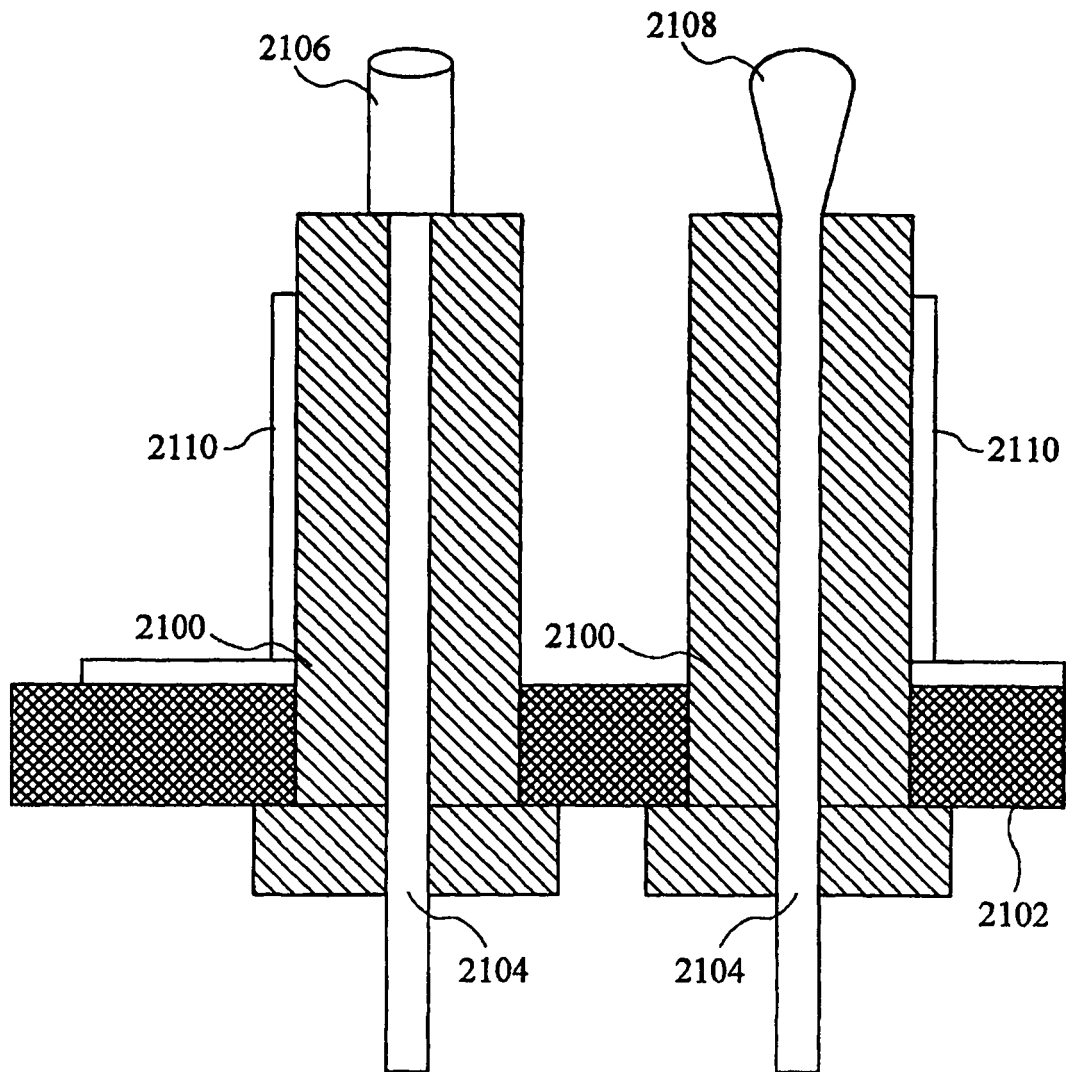
Fig. 17



*Fig. 18*



*Fig. 19*



*Fig. 20*