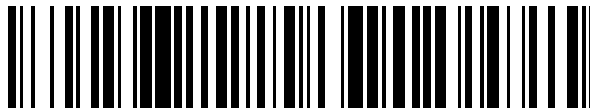


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 631**

51 Int. Cl.:

**G01J 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2010 PCT/US2010/042558**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11011385**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2010 E 10739756 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 2457072**

54 Título: **Sensor Shack Hartmann con matriz de microlentes extraíble**

30 Prioridad:

**20.07.2009 US 226821 P**

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

**23.07.2019**

73 Titular/es:

**THORLABS, INC. (100.0%)  
435 Route 206, P.O. Box 366  
Newton, NJ 07860-0366, US**

72 Inventor/es:

**CABLE, ALEX, E.;  
KRAUSE, EGBERT y  
TARANTO, JOHN**

74 Agente/Representante:

**RIERA BLANCO, Juan Carlos**

ES 2 720 631 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**

Sensor Shack Hartmann con matriz de microlentes extraíble

**CAMPO DE LA INVENCIÓN**

5 La presente invención se refiere a sensores en general, y más en particular a un sensor de frente de onda Shack Hartmann ("SH") con una matriz de microlentes extraíble. Más en particular, la presente invención se refiere a medios de montaje de forma extraíble y reemplazable de un disector de frente de onda en relación con un sensor, de modo que el disector no esté de forma permanente fijado en posición en relación con el sensor mientras que mantiene una alineación relativa precisa entre el disector y el sensor, de modo que la precisión y exactitud del frente de onda medido para el disector y el sensor combinados no se degrade en relación con los  
10 sensores de frente de onda que fijan de forma permanente el disector en relación con el sensor.

**ANTECEDENTES**

15 Un cuerpo en el espacio libre tiene seis grados de libertad independientes, tres de traslación y tres de rotación, todos definidos típicamente con respecto a un sistema de coordenadas cartesiano, teniendo lugar los tres grados de libertad de traslación a lo largo de los tres ejes perpendiculares del sistema de coordenadas cartesiano, y definiéndose los tres grados de libertad angulares como grados de libertad de rotación alrededor del eje del mismo sistema. El movimiento de un cuerpo en el espacio se puede describir como una combinación lineal de estas coordenadas. En general, se puede restringir cada grado de libertad con la colocación apropiada de una restricción en un punto del cuerpo. Se puede lograr una restricción de un punto casi ideal usando un cojinete de bolas de acero endurecido de alta calidad que presiona contra una placa de zafiro pulido que es ópticamente  
20 plana (mejor que 0,25 micrómetros) que está unida al cuerpo que se está restringiendo. Dentro del campo del diseño optomecánico, el concepto de "diseño cinemático" es bien conocido, en este caso el diseñador tiene la tarea de proporcionar solo una restricción casi ideal para cada uno de los seis grados de libertad que tiene un cuerpo en el espacio libre. Adicionalmente, se considera típicamente que un diseño cinemático exitoso es relativamente independiente de la estructura que se está construyendo, pero se basa en el uso de piezas de bajo coste producidas en masa, tales como cojinetes de bolas de acero endurecido de precisión y pequeñas placas de zafiro pulidas ópticamente para formar una interfaz cinemática entre partes móviles o unidas. El libro "Building Scientific Apparatus" de John H. Moore *et al.*, describe los detalles de lograr una aproximación razonable a un diseño cinemático; véase, por ejemplo, los apartados 1.6.1 y 1.6.2 de la página 43 de la 3.<sup>a</sup> adición. En este caso, los autores describen cómo lograr un diseño cinemático de modo que los dispositivos resultantes se  
25 puedan usar en la aplicación muy exigente de conjuntos ópticos donde el movimiento entre partes de una fracción de una longitud de onda de luz puede ser perjudicial para el funcionamiento del dispositivo. Un ejemplo de este tipo se proporciona por Moore *et al.*, en la figura 1.44, en el que se ilustra un dispositivo cinemático de dos placas, el dispositivo está diseñado para permitir que las dos placas se junten de forma estable, de modo que cuando las dos placas se combinan y se cargan ligeramente juntas no presenten movimientos extraños entre ellas. Una serie de empresas venden dispositivos optomecánicos basados en los principios ideados por Moore *et al.*, una empresa de este tipo es Thorlabs Inc., de Newton NJ, cuyo número de pieza de placa de base cinemática KB3X3 se encuentra en la versión del volumen 19 del catálogo de productos de Thorlabs (véase también Thorlabs: "Tools of the Trade" Catálogo de Thorlabs vol. 18, 2006, página 82, XP002604667). Otros montajes cinemáticos se divulgan en los documentos US6515810 y WO98/18157.

30 Este dispositivo KB3X3 se anuncia como que proporciona repetibilidad a nivel de microrradiares en sus grados de libertad de rotación después de la extracción y reemplazo repetidos de la parte superior del dispositivo de dos piezas. Se supone que la parte inferior del dispositivo está firmemente fijada a una estructura masivamente rígida, típicamente una mesa óptica también vendida por Thorlabs. El uso típico del dispositivo de Thorlabs es permitir que el usuario construya sistemas ópticos flexibles siendo un uso la reorientación de un rayo láser en una mesa óptica de una configuración experimental a otra con un alto grado de repetibilidad. Para lograr esta función, se ubica un KB3X3 a lo largo de la trayectoria del rayo láser, para este ejemplo supóngase que un experimento existente se encuentra a una pequeña distancia frente a la fuente del rayo láser. Utilizando un montaje de espejo cinemático, por ejemplo un KS1 de Thorlabs junto con un espejo apropiado, el espejo se monta en la placa superior del KB3X3 usando soportes optomecánicos bien conocidos dentro del campo de las ciencias ópticas y también proporcionados por Thorlabs. Una vez que el espejo se sujeta apropiadamente en el KB3X3 de modo que reorienta el rayo láser, el usuario usará a continuación los controles de montaje del espejo para desviar el haz lejos de la trayectoria del haz ininterrumpido hacia una parte no usada de la mesa óptica. Ahora, el usuario puede tener el láser disponible para dos experimentos; colocando la placa superior del KB3X3 en su base, el haz se desvía de forma precisa a lo largo de la trayectoria deseada hacia la parte no usada de la mesa óptica donde se puede construir un segundo experimento. Y extrayendo la placa superior del KB3X3, el haz no desviado puede viajar libremente más allá del KB3X3 para llevar a cabo la primera aplicación.  
55

60 Diversos instrumentos ópticos requieren una alineación precisa de al menos un elemento óptico en relación con otro como se analiza anteriormente, donde la tolerancia de alineación determina la precisión y exactitud de las mediciones del instrumento. Un ejemplo de un instrumento de este tipo es un sensor de frente de onda SH como se divulga en el documento US5629765 o en el documento US2007/273830. Los sensores de frente de onda SH

5 pueden realizar mediciones exactas de una distribución de forma e intensidad de un frente de onda óptica analizando la ubicación e intensidad de los puntos luminosos (campo de puntos luminosos) formados al generar imágenes de un campo de luz incidente en una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada), por ejemplo, por medio de una matriz de lentes pequeñas o una matriz de microlentes. Para lograr una precisión y exactitud de medición suficientes, la matriz de microlentes debe estar alineada de forma muy precisa en relación con el sensor de CCD. Típicamente, la matriz de microlentes se fija de forma permanente en relación con el CCD para asegurar una alineación precisa en el tiempo. Esto limita la medición a una pendiente máxima de frente de onda, determinada principalmente por el paso de la matriz de microlentes y la distancia focal eficaz de la matriz de microlentes. Sería un gran beneficio poder cambiar la matriz de microlentes en el campo sin requerir que el usuario realice un procedimiento de calibración, mientras que mantiene la precisión y exactitud de la medición de un sensor SH con una matriz de microlentes "fijada".

## SUMARIO

15 Se divulga un modo de realización de un sistema para el posicionamiento repetidamente preciso de un elemento, tal como una matriz de microlentes, con respecto a un segundo elemento, tal como una matriz de CCD, u otro subsistema óptico, de modo que un elemento sea extraíble y reemplazable mientras que se mantiene suficiente alineación de los seis grados de libertad de la alineación para que no se requiera alineación o calibración posterior.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 La figura 1 es una vista en despiece, isométrica frontal de un modo de realización de un montaje de precisión para una matriz de microlentes en un sensor SH basado en CCD que incluye una placa de montaje de base montada en un sensor, una placa intermedia y una placa disectora de frente de onda.

La figura 2 es una vista en despiece, isométrica trasera del modo de realización de un montaje de precisión de la figura 1.

25 La figura 3 es una vista en despiece parcial, isométrica frontal del modo de realización del montaje de precisión de la figura 1 con la placa intermedia montada en la placa disectora de frente de onda.

La figura 4 es una vista en despiece parcial, isométrica trasera del modo de realización del montaje de precisión de la figura 3.

30 La figura 5 es una vista en despiece, isométrica frontal de un modo de realización de un montaje de precisión para una matriz de microlentes en un sensor SH basado en CCD (sensor no mostrado) que incluye una placa de montaje de base, una placa intermedia y una placa disectora de frente de onda.

La figura 6 ilustra un modo de realización de un kit que incluye un sensor SH, una pluralidad de matrices de microlentes y una herramienta.

La figura 7 ilustra un modo de realización de un sistema de sensor SH ensamblado.

La figura 8 ilustra cómo funciona un sensor de frente de onda SH.

35 La figura 9 ilustra la distorsión de frente de onda y el desplazamiento de punto luminoso en un sensor de frente de onda SH.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODOS DE REALIZACIÓN PREFERENTES

40 La presente divulgación describe el mejor modo o modos de practicar la invención como se contempla actualmente. Esta descripción no pretende entenderse en un sentido limitante, sino que proporciona un ejemplo de la invención presentado únicamente para propósitos ilustrativos por referencia a los dibujos adjuntos para informar a un experto en la técnica de las ventajas y la construcción de la invención. En las diversas vistas de los dibujos, caracteres de referencia similares designan las mismas partes o similares.

45 La figura 1 ilustra una vista en despiece de un modo de realización de un sistema de sensor SH de la invención que comprende tres placas separadas, a saber, una placa de montaje de base 1, una placa intermedia 2 y una placa disectora de frente de onda 3. La placa de montaje de base 1, que está situada adyacente y preferentemente montada en un sensor de CCD o similar 4, incluye preferentemente tres regiones de alineación de referencia 5, cada una formada por un par de pasadores de espiga dispuestos de forma radial, espaciados y preferentemente paralelos 6. El eje mecánico de cada par de pasadores de espiga paralelos se define como que está en el plano creado por el eje mecánico de cada pasador de espiga 6 y equidistante al eje mecánico de cada pasador de espiga. Los ejes mecánicos de los pasadores de espiga 6 en este modo de realización están en un plano común, y el eje mecánico de cada par de pasadores de espiga está dispuesto en ángulos iguales. Los pasadores de espiga 6 se presionan hacia el interior de ranuras mecanizadas 7, cuya tolerancia de separación está preferentemente dentro de aproximadamente 0,001 pulgadas (aunque se contemplan otros valores) y cuya profundidad es tal que los ejes del pasador de espiga se colocan a una distancia predeterminada por debajo de

la superficie 8 de la placa de base 1 para asegurar que los pasadores de espiga 6 estén fijados de forma segura en posición y no requieran la necesidad de un adhesivo u otro sujetador mecánico.

En el presente modo de realización, los pares de imanes 9 en la placa de base 1 se sitúan de modo que haya un imán 9 a cada lado de cada par de pasadores de espiga. En un ejemplo que no está incluido en el alcance de las reivindicaciones, los imanes 9 se orientan de modo que sus polos magnéticos están alineados en el mismo sentido y atraen imanes 10 dispuestos opuestamente (figuras 2, 4) en la placa intermedia 2. Un pasador de alineación 11 se extiende hacia afuera desde la placa de base 1 para coincidir con un orificio de alineación 12 en la placa intermedia 2 para asegurar la alineación rotatoria durante el acoplamiento de la placa de base 1 con la placa intermedia 2, mientras que la interacción de los imanes 9, 10 atrae las placas 1, 2 entre sí como se describirá a continuación. En el presente modo de realización (no mostrado), se puede producir la alineación rotatoria de la placa de base 1 con la placa intermedia 2 manipulando la polaridad de los pares de imanes 9, 10 de modo que la polaridad de los imanes difiera a lo largo de la placa de base 1, por ejemplo, de modo que las placas 1, 2 solo se acoplen de forma coaxial y rotatoria tras una determinada orientación angular de las placas 1, 2, de otro modo las placas no se acoplarán y/o se repelerán entre sí.

La figura 2 es una vista isométrica trasera del montaje de la figura 1. Tres bolas endurecidas 13 dispuestas dentro de las cavidades 14 (véase también la figura 1) están situadas en una superficie de acoplamiento 15 de la placa intermedia 2, de modo que la ubicación de las bolas 13 se corresponda con las regiones de alineación de referencia 5 en la placa de base 1. Las bolas 13 se presionan preferentemente hacia el interior de orificios o cavidades de montaje 14 situados de forma precisa en la placa 2 usando accesorios de fabricación, de modo que se extiendan hacia afuera a distancias precisas de la superficie de acoplamiento 15. Un modo de realización alternativo (no mostrado) permitiría el ajuste individual de cada posición de bola, tal como a través del uso de tornillos de ajuste integrados, antes de sujetarse en posición. Estas bolas de acoplamiento 13 y los pares de pasadores de espiga 6 forman un asiento de montaje cinemático que permite que la placa de base 1 y la placa intermedia 2 se acoplen y desacoplen repetidamente, de modo que cada vez que las placas se acoplan, el cambio de posición de una placa con respecto a la otra es insignificante de un acoplamiento a otro. Además, el modo de realización de la presente disposición permite que un usuario varíe, cambie e intercambie las placas disectoras en relación con el sensor en el supuesto de que se desee, por ejemplo, cambiar la distancia entre la placa disectora y el sensor dependiendo del entorno específico o condiciones de funcionamiento. Por tanto, se puede proporcionar a un usuario un sistema, por ejemplo, que comprende un único sensor montado en una placa de base y una pluralidad de montajes de disectores intercambiables, cada uno montado en placas intermedias (como se muestra, por ejemplo, en las figuras 3 y 4) que se diseñan para coincidir con la placa de base como se describe en el presente documento. Es preferente, en un ejemplo de este tipo, que cada montaje de disector intercambiable se calibre con la placa de base, donde dicha calibración se podría producir en la ubicación del fabricante. Durante esta calibración, se miden y guardan diversos parámetros ópticos del disector, tales como, pero no limitados a, la distancia focal y las distancias entre lentes, en relación con el sensor, para que estos parámetros se puedan usar por una aplicación de programa informático que usa los datos del sensor para calcular el frente de onda incidente en el disector.

Los tres pares de pasadores de espiga presionados emparejados 6 y las tres bolas endurecidas 13 son un modo de realización de un asiento cinemático, en el que cada bola hace dos puntos de contacto con cada par de pasadores de espiga 6 para un total de seis puntos de restricción, uno por grado de libertad. Consúltese el libro titulado *Building Scientific Apparatus*, por John H. Moore, *et al.* Por supuesto, se entenderá que, si bien los modos de realización ilustrados muestran los pares de pasadores de espiga 6 en la placa de base 1, y las bolas endurecidas 13 en la placa intermedia 2, se apreciará que los pares de pasadores de espiga 6 podrían estar en la placa intermedia 2, y las bolas endurecidas 13 podrían estar en la placa de base 1, según sea el caso. De forma alternativa, la placa de base 1 podría tener una mezcla de pares de pasadores de espiga y bolas que coinciden cooperativamente con una mezcla similar en la placa intermedia, siempre que se mantenga la relación de montaje cinemática entre las dos placas. Además, se apreciará que se contemplan diversas disposiciones cinemáticas distintas de las mostradas en los presentes modos de realización, tales como un montaje cinemático estándar donde una bola entra en contacto con un orificio cónico o de forma piramidal, otra bola entra en contacto con una ranura en V y la tercera bola descansa sobre una superficie plana.

Para sostener de forma fiable la placa intermedia 2 en posición en relación con la placa de base 1, los imanes 9, 10 están montados estratégicamente en las placas como se analiza anteriormente. El tamaño y la resistencia de los imanes se seleccionan para asegurar que las placas acopladas no se muevan respectivamente entre sí durante el manejo y uso normales. Sin embargo, las fuerzas combinadas entre los imanes opuestos son preferentemente lo suficientemente fuertes como para que no sea difícil retirar la placa de base 1 de la placa intermedia 2 usando únicamente la fuerza de los dedos. En el modo de realización mostrado en las figuras 1 y 2, un orificio roscado 16 en la placa intermedia 2 permite que se use una herramienta (no mostrada), tal como un tornillo, por ejemplo, para ayudar con el desacoplamiento de las placas unidas 3 y 2 con la placa de base 1 en la medida en que sea difícil obtener una sujeción con la mano de las placas 2, 3. Más específicamente, un orificio pasante 17 está ubicado estratégicamente en la placa disectora de frente de onda 3 que proporciona acceso a través de la placa 3 al orificio roscado 16 o similar en la placa intermedia 2. Una herramienta, tal como un tornillo (no mostrado), se inserta a través del orificio pasante 17 y en el interior del orificio roscado 16 y, después de esto, funciona como un asa para sujetar las placas 2 y 3 a través del acoplamiento de la herramienta con el

orificio roscado 16 y además funciona como una palanca para ayudar en la separación de la placa de base de la placa intermedia 2. La herramienta se puede retirar después del desacoplamiento de las placas 1, 2, o la herramienta puede permanecer en el orificio roscado 16 en preparación para el reacoplamiento de las placas 2, 3 con la placa de base 1 o una placa de base diferente (no mostrada) en otro sistema (no mostrado). En un modo de realización alternativo (no mostrado), se podrían situar dos o más orificios en las placas 2, 3 para ayudar en el desacoplamiento de las placas 1, 2.

La placa intermedia 2 y la placa disectora de frente de onda 3 están alineadas por separado de la placa de base 1. Se usa un accesorio de fabricación de precisión para sujetar de forma permanente las placas 2 y 3 juntas como se muestra en las figuras 3 y 4.

En el modo de realización de las figuras 1-4, un disector de frente de onda 18 está preferentemente montado de forma permanente en la placa 3 usando un adhesivo u otro medio conocido en la técnica para asegurar la alineación apropiada del disector 18 con respecto al montaje del disector. La placa 3 se diseña de modo que el disector de frente de onda 18, especificado para que sea cuadrado para este modo de realización, se asiente en un pocillo cuadrado 19. La placa intermedia 2 y la placa disectora 3 se alinean por separado de la placa de base 1. Más específicamente, se usa un accesorio de fabricación de precisión para sujetar de forma permanente las placas 2 y 3 juntas.

El diseño y conjunto de los accesorios de fabricación contribuyen significativamente para permitir que el conjunto de los subconjuntos extraíbles (elementos 2, 10, 13, 3, 18) coincida apropiadamente con los subconjuntos de la placa de base (elementos 1, 6, 9, 11). Un accesorio de fabricación se usa para alinear de forma precisa los seis grados de libertad del plano de referencia del subconjunto de la placa de base, definido como el plano que incluye los ejes mecánicos de los pasadores de espiga 6, con respecto al sensor 4, y mantener la alineación mientras el sensor y el subconjunto de la placa de base se sujetan de forma permanente. Se usa un accesorio de fabricación separado para alinear y colocar el plano de referencia de los subconjuntos extraíbles, definido como el plano creado por los centros de las bolas 13, en relación con una superficie del disector de frente de onda 18, así como la alineación angular del disector de frente de onda 18 en relación con la orientación de las bolas 13.

De forma alternativa, en el caso de que no se requiera una alineación absoluta de este tipo del plano de acoplamiento, la alineación de precisión de seis ejes de la placa de base 1 al sensor 4, tal como una matriz de CCD, se puede simplificar a un único ajuste rotatorio y la placa disectora 3 se alinea cuando la placa intermedia 2 ya está conectada con la placa de base 1 usando accesorios de fabricación.

En el modo de realización de las figuras 1 a 4, la placa de base 1 se sujeta preferentemente de forma permanente a un sensor 4, tal como una matriz de CCD. Esto se puede hacer usando un adhesivo u otro medio conocido en la técnica. La figura 5 ilustra un modo de realización del conjunto de la figura 1 con el sensor, no mostrado, unido a la placa de base 1. Una ranura 20, mostrada en el modo de realización de la figura 5 justo debajo del pasador de alineación 11, aunque esta ubicación no es crucial, se usa para alinear la placa de base 1 con respecto al sensor 4 (no mostrado en la figura 5) antes de sujetarlo a la placa de base 1. Una varilla (no mostrada), u otro elemento recto, por ejemplo, se puede colocar en la ranura 20 para proyectar una sombra en el sensor 4, que se puede detectar activamente con el sensor 4. En el caso de un sensor de CCD, la ranura 20 se diseñaría en la placa de base 1 de modo que la sombra de la varilla, u otro elemento recto, se alinee con una fila, o columna, del sensor 4, lo que permite una alineación rotatoria fina de la placa de base 1 en relación con el sensor 4. La ranura 20 también se sitúa preferentemente en la placa de base 1 de modo que el elemento recto utilizado no interfiera con las regiones de alineación 5.

Por tanto, lo que se describe aquí es un modo de realización de un medio para situar de forma precisa un disector de frente de onda, tal como una matriz de microlentes 18, frente a un sensor 4, tal como un sensor de CCD. Este medio para posicionamiento aborda seis grados de ajuste de alineación: dos alineaciones transversales (en el plano del sensor) a través del uso de las bolas 13, alineación longitudinal (ortogonal al sensor) a través del uso de la geometría de la bola y la orientación relativa de los pasadores de espiga dentro de los pares de pasadores, alineación rotatoria alrededor de un eje ortogonal al sensor a través de la interacción de las bolas y los pares de pasadores de espiga, y alineaciones rotatorias alrededor de dos ejes ortogonales que son cada uno ortogonales al eje rotatorio anterior nuevamente a través de la interacción de las bolas y los pares de pasadores de espiga. Además, el medio de posicionamiento no monta de forma permanente el disector en relación con el sensor, sino que permite que se reemplacen o intercambien los disectores por otro disector por el usuario, mientras sostiene la posición de forma precisa del disector integrado en relación con el sensor de modo que la precisión y exactitud de las mediciones del frente de onda no se degradan en comparación con las mediciones realizadas con sensores de frente de onda que montan de forma permanente el disector en relación con el sensor.

La figura 6 ilustra un modo de realización de un kit 30 que incluye un sistema de sensor SH 32 definido por una placa de base 34 asociada con un sensor 36 (tal como una cámara CCD, por ejemplo), una placa intermedia 44 y un disector de frente de onda 40 tal como una matriz de microlentes alojada en una placa disectora de frente de onda 42, por ejemplo. Los disectores de frente de onda adicionales 50 y 60, por ejemplo, se pueden proporcionar en el kit 30 y/o vender por separado para su uso con el sistema de sensor SH 32, en los que cada disector de

frente de onda, cuando está asociado con el sistema de sensor SH 32, puede presentar una característica óptica diferente en relación con el sensor 36 que incluye, pero no se limita a, la distancia focal o el paso de lente. Por ejemplo, el disector de frente de onda 50 se sitúa más alejado de la placa intermedia 54 que se acopla con la placa de base 34 en comparación con la posición del disector de frente de onda 40 en relación con su placa intermedia 44, y por lo tanto el disector de frente de onda 50 presenta una mayor distancia focal en comparación con la distancia focal del disector de frente de onda 40 o del disector de frente de onda 60. De forma similar, si bien los disectores de frente de onda 40 y 60 pueden tener la misma distancia focal, un disector de frente de onda puede tener un paso de lente diferente. En consecuencia, se pueden proporcionar diversos disectores de frente de onda que presentan rasgos característicos o características ópticas diferentes que serían beneficiosos en un entorno o aplicación dados.

También se proporciona en el kit 30 de la figura 6 una herramienta 70 que tiene un extremo de acoplamiento 72 para ayudar al acoplamiento y desacoplamiento de las diversas matrices de microlentes 40, 50 y 60 con la placa de base 34. Específicamente, el extremo de acoplamiento 72 de la herramienta 70 se puede acoplar firmemente con las aberturas 46, 56 y 66 provistas en las placas intermedias 44, 54 y 64 asociadas con los disectores de frente de onda 40, 50 y 60 respectivamente para maniobrar dichos disectores de frente de onda con las placas intermedias a través del montaje 38 provisto en la cara del sistema 32 (véase también el análisis anterior del acoplamiento de una herramienta con los orificios pasantes 16 y 17 mostrados, por ejemplo, en las figuras 1 y 3). La figura 7 ilustra el sistema de sensor SH 32 con el disector de frente de onda 40 y la placa disectora 42 montados en la placa de base 34. El montaje 38 se enrosca preferentemente para dar cabida a los filtros (no mostrados) para ayudar a prevenir la saturación de píxeles del sensor provistos en el sensor 36 y los tubos de lente para reducir la luz dispersada y permitir el montaje de componentes ópticos adicionales (no mostrados). El intercambio de disectores de frente de onda tales como las matrices de microlentes permite el cambio económico a diferentes aplicaciones que requieren diferentes especificaciones de sensor de frente de onda en términos de resolución espacial (paso de microlente), distancia focal, sensibilidad de frente de onda y gama dinámica. Cada matriz de microlentes montada en una placa disectora de frente de onda se puede interconectar con la misma placa de base 34 y el sensor 36. En un ejemplo, una matriz de microlentes podría comprender una matriz de microlentes con máscara cromada, que evita que la luz pase entre las microlentes. La máscara cromada incrementa considerablemente la intensidad de la retroreflexión desde la superficie de la matriz de microlentes, sin embargo, se puede usar en un amplio intervalo de longitud de onda de funcionamiento (300 - 1100 nm). Otras matrices de microlentes podrían estar recubiertas con AR (400 - 900 nm) y son adecuadas para aplicaciones que son sensibles a retroreflexiones. Son posibles otras matrices de microlentes. Cada matriz de microlentes se puede montar previamente en una placa disectora y calibrar en relación con el sensor, o se puede proporcionar sin montar y requerir el montaje en una placa disectora y la calibración en relación con un sensor.

Las figuras 8 y 9 ilustran el principio funcional general detrás de un sensor SH, que consiste básicamente en un sensor óptico, tal como una cámara CCD, con una matriz de microlentes montada en una distancia definida frente a su chip sensor. Cada microlente genera un punto luminoso en el sensor, mientras que la posición del centroide del punto luminoso depende del gradiente del frente de onda frente al área de la lente. Cada microlente de la matriz de microlentes recoge la luz que cae sobre su abertura y genera un único punto luminoso en el plano del detector (cámara CCD) que se sitúa a una distancia focal detrás de las microlentes. Las posiciones de puntos luminosos están directamente detrás de las lentes, en el eje óptico o en cada lente, solo en el caso de que el frente de onda lanzado sea plano y paralelo al plano de las microlentes. Estas se denominan posiciones de referencia de puntos luminosos o campo de puntos luminosos de referencia. Sin embargo, en el caso común, las posiciones actuales del punto luminoso se desviarán en la dirección X y, o, Y, es decir, cada punto luminoso se encontrará alejado del eje óptico Z de sus microlentes asociadas, separados por un ángulo  $\alpha$ .

Con referencia a la figura 9, se puede demostrar que esto lo provoca un frente de onda entrante con el mismo ángulo  $\alpha$  promedio en comparación con el frente de onda de referencia.

$$\tan \alpha = \Delta z / \Delta y = \delta y / f_{ML}$$

Cuando  $W(x,y)$  describe la forma del frente de onda así se determina su derivación parcial en relación con x e y por el desplazamiento de punto luminoso  $\delta x$  y  $\delta y$ , respectivamente, así como por la distancia entre el detector de extremo de microlentes que normalmente es la distancia focal de las microlentes  $f_{ML}$ .

$$\partial / \partial x \cdot W(x,y) = \delta x / f_{ML} \quad \partial / \partial y \cdot W(x,y) = \delta y / f_{ML}$$

Las desviaciones de punto luminoso  $\delta x$  y  $\delta y$  se determinan calculando las coordenadas del centroide de todos los puntos luminosos detectables y restando las coordenadas de referencia correspondientes. Estas desviaciones de punto luminoso se integran dentro de un procedimiento de integración bidimensional que da el frente de onda  $W(x,y)$ .

Si bien la presente invención se ha descrito en alguna medida y con alguna particularidad con respecto a los varios modos de realización descritos, no se pretende que se limite a ninguna de dicha información o modos de realización o ningún modo de realización particular, sino que se debe interpretar con referencias a las

reivindicaciones adjuntas para proporcionar la interpretación más amplia posible de dichas reivindicaciones en vista de la técnica anterior y, por lo tanto, para englobar eficazmente el alcance previsto de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sensor de frente de onda Shack Hartmann ("SH") que comprende:

a) un disector de frente de onda óptica (18) para diseccionar una onda óptica entrante;

5 b) un sistema óptico (4) para detectar la onda óptica entrante diseccionada; y

c) un montaje cinemático extraíble para el montaje de precisión repetible del disector de frente de onda óptica (18) en el sistema óptico (4);

10 en el que el montaje cinemático extraíble comprende además un miembro de base (1) montado en el sistema óptico (4), un miembro de acoplamiento (2) montado en el disector de frente de onda óptica (3), una pluralidad de bolas (13) en uno del miembro de base (1) y el miembro de acoplamiento (2), y una pluralidad de asientos de bola en el otro miembro;

en el que cada asiento de bola comprende además una pluralidad de pasadores de espiga que se extienden radialmente, espaciados (6) que forman un par de pasadores de espiga;

15 en el que cada par de pasadores de espiga se encaja parcialmente dentro de una superficie externa de uno del miembro de base (1) y el miembro de acoplamiento (2), y cada bola (13) se encaja parcialmente dentro del otro miembro;

en el que el sensor comprende además:

una cavidad de bola rebajada dispuesta entre cada par de pasadores de espiga;

20 una pluralidad de imanes (9, 10) dispuestos en cada uno de los miembros de base y acoplamiento que atraen a los miembros de base y acoplamiento entre sí;

un par de imanes dispuestos alrededor de cada par de pasadores de espiga;

en el que al menos dos imanes (9) en el miembro de base tienen polaridades opuestas.

2. El sensor de la reivindicación 1, en el que el sistema óptico (4) es una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada).

25 3. El sensor de la reivindicación 1, en el que el disector de frente de onda óptica (18) comprende además una matriz de microlentes.

4. El sensor de la reivindicación 1, en el que el disector de frente de onda óptica está montado en un soporte de dispositivo óptico (3) que está montado además en el miembro de acoplamiento.

5. Un sistema de sensor de frente de onda Shack Hartmann que comprende:

30 a) un primer disector de frente de onda (40) para diseccionar una onda óptica entrante;

b) un sistema óptico (36) para recibir la onda óptica entrante diseccionada;

c) una primera característica óptica definida entre el primer disector de frente de onda (40) y el sistema óptico (36); y

35 d) al menos otro disector de frente de onda (50, 60) que es intercambiable con el primer disector de frente de onda (40) para diseccionar una onda óptica entrante y definir una segunda característica óptica entre el al menos otro disector de frente de onda (50, 60) y el sistema óptico (36);

e) pudiéndose montar cada disector de frente de onda (40, 50, 60) de forma extraíble y cinemática en el sistema óptico con un montaje cinemático extraíble;

40 en el que el montaje cinemático extraíble comprende además un miembro de base (34) montado en el sistema óptico (36), un miembro de acoplamiento (44, 54, 64) montado en el disector de frente de onda óptica (40, 50, 60), una pluralidad de bolas (13) en uno del miembro de base (34) y el miembro de acoplamiento (44, 54, 64), y una pluralidad de asientos de bola en el otro miembro;

45 en el que cada asiento de bola comprende además una pluralidad de pasadores de espiga que se extienden radialmente, espaciados (6) que forman un par de pasadores de espiga; en el que cada par de pasadores de espiga se encaja parcialmente dentro de una superficie externa de uno del miembro de base (34) y el



miembro de acoplamiento (44, 54, 64), y cada bola (13) se encaja parcialmente dentro del otro miembro; en el que el sistema de sensor comprende además:

una cavidad de bola rebajada dispuesta entre cada par de pasadores de espiga;

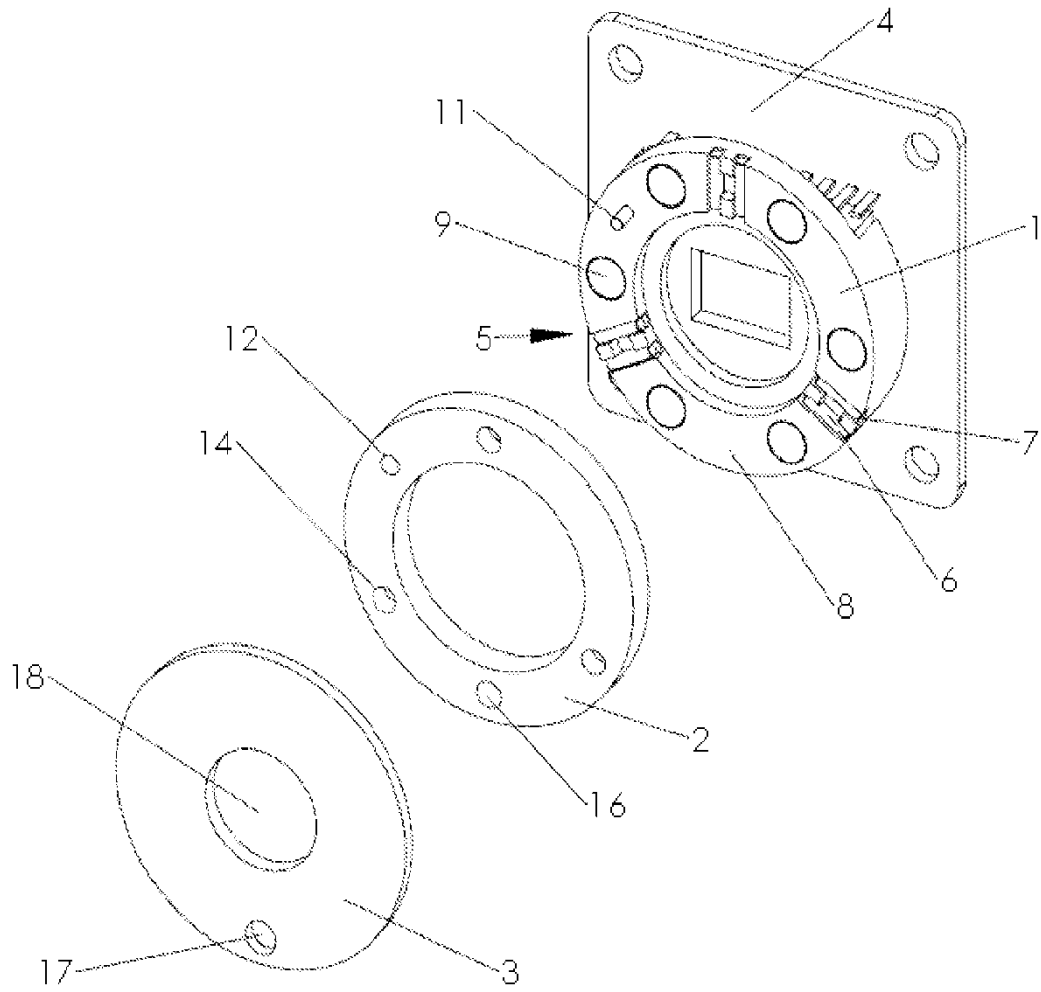
5 una pluralidad de imanes (9, 10) dispuestos en cada uno de los miembros de base y acoplamiento que atraen a los miembros de base y acoplamiento entre sí;

un par de imanes dispuestos alrededor de cada par de pasadores de espiga;

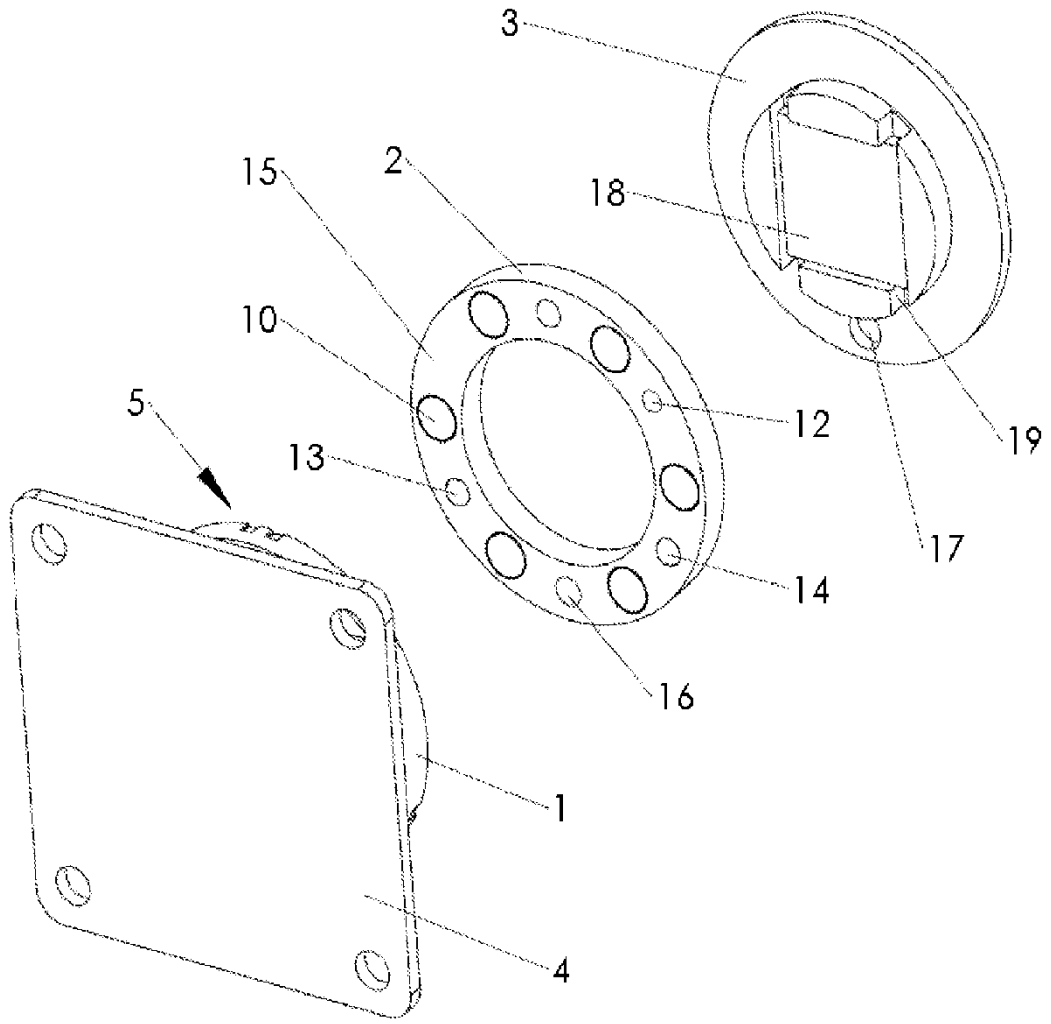
en el que al menos dos imanes (9) en el miembro de base tienen polaridades opuestas.

6. El sistema de sensor de la reivindicación 5, en el que la primera y segunda características ópticas son diferentes distancias focales.

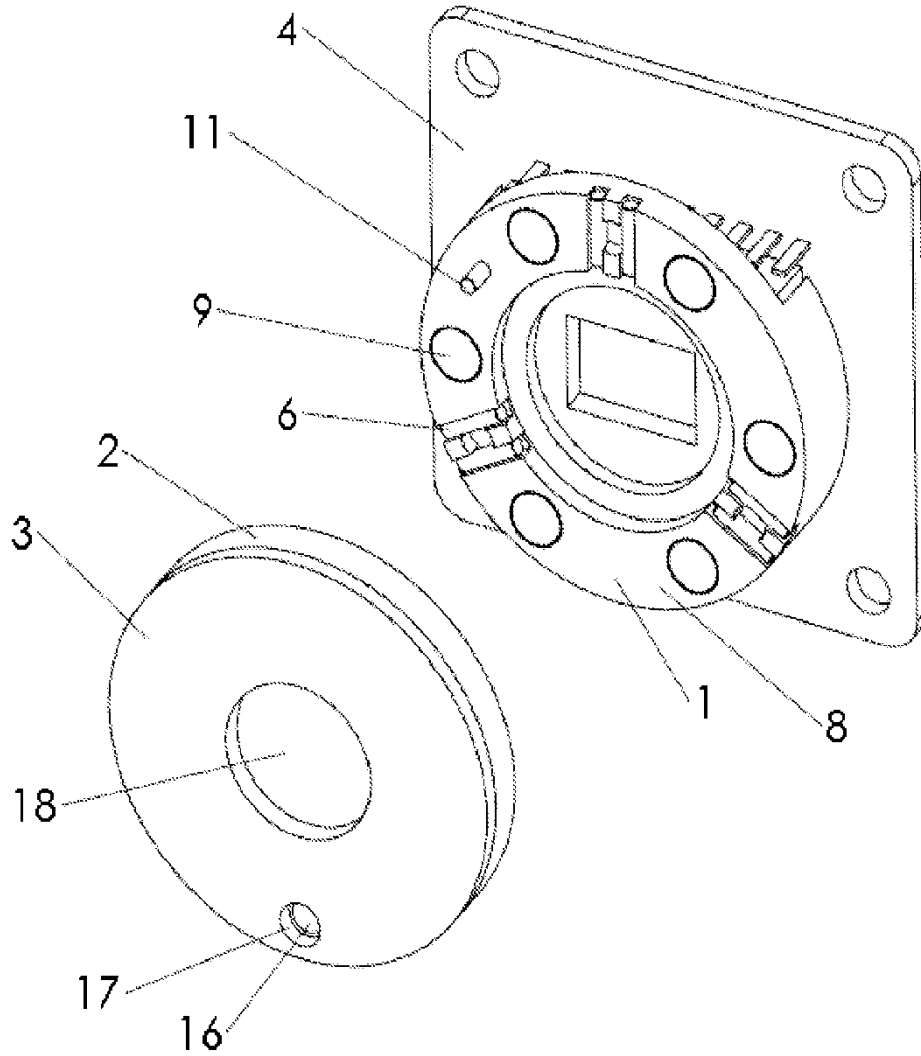
10 7. El sistema de sensor de la reivindicación 5, en el que el primer y al menos otro disector de frente de onda (40, 50, 60) incluyen cada uno una matriz de microlentes, y en el que la primera y segunda características ópticas son diferentes pasos de lente de cada matriz de microlentes asociada con cada disector de frente de onda.



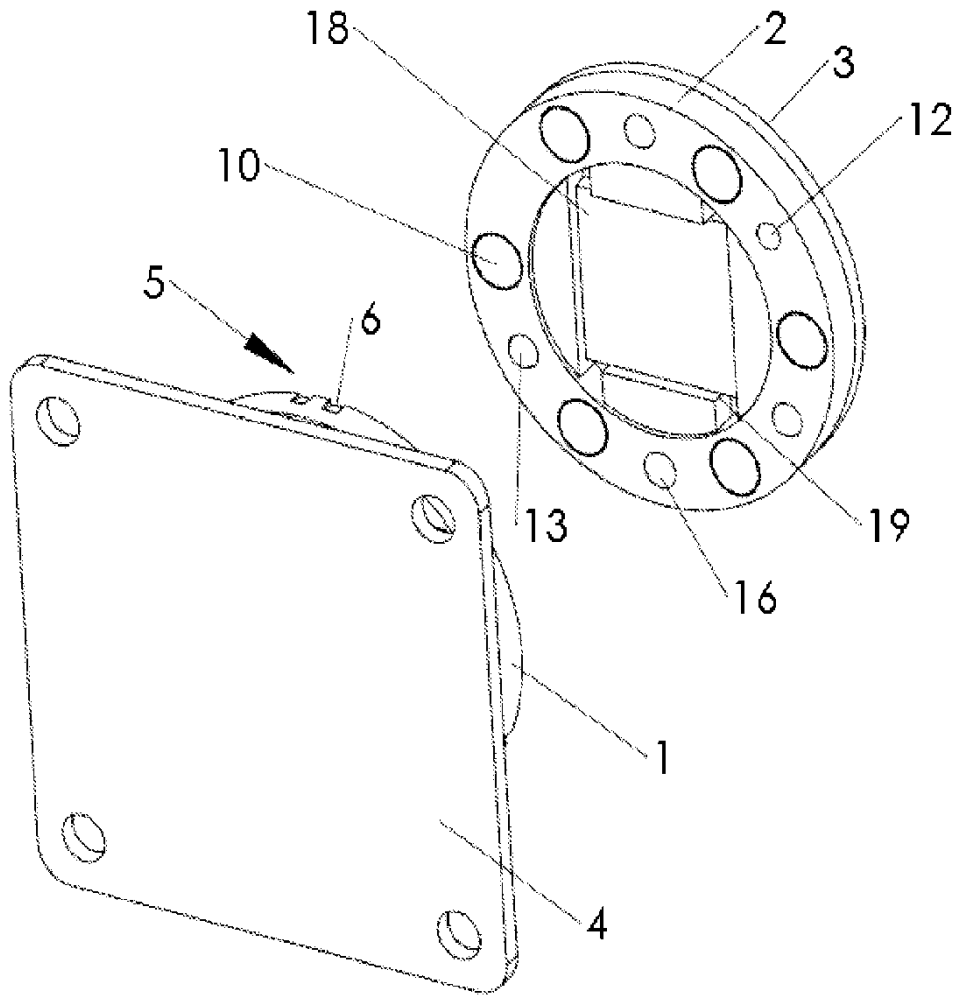
**FIG. 1**



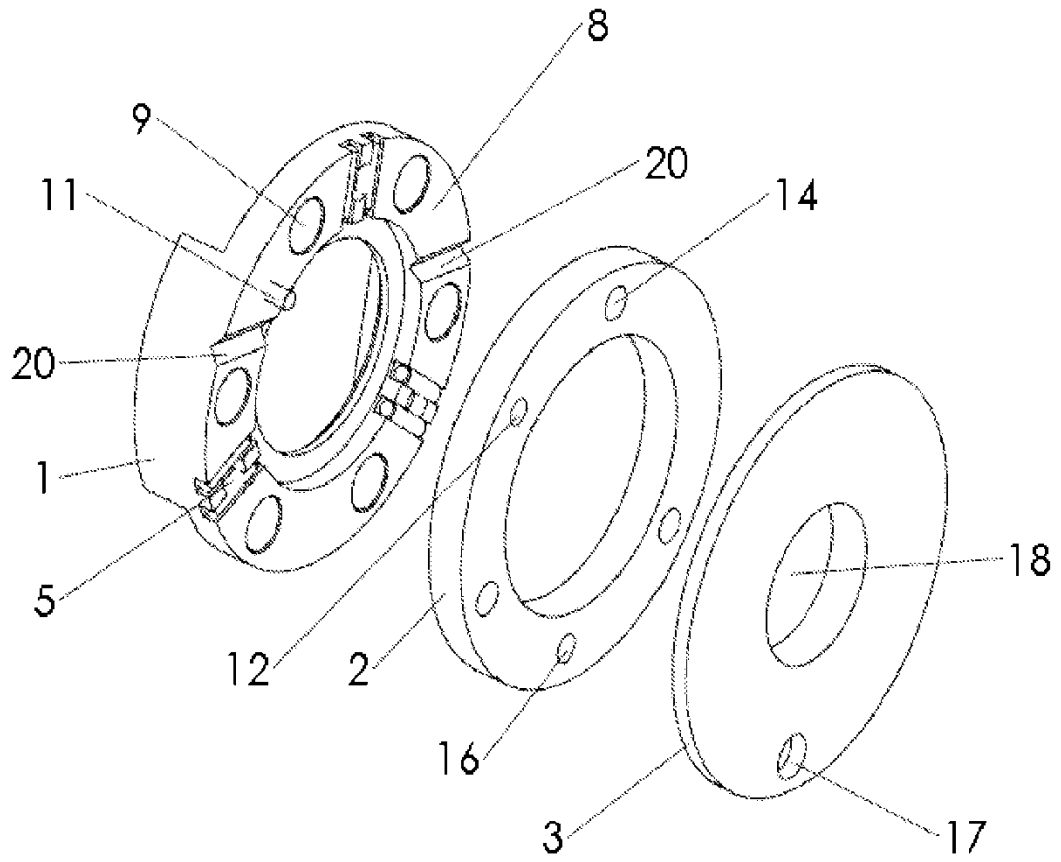
**FIG. 2**



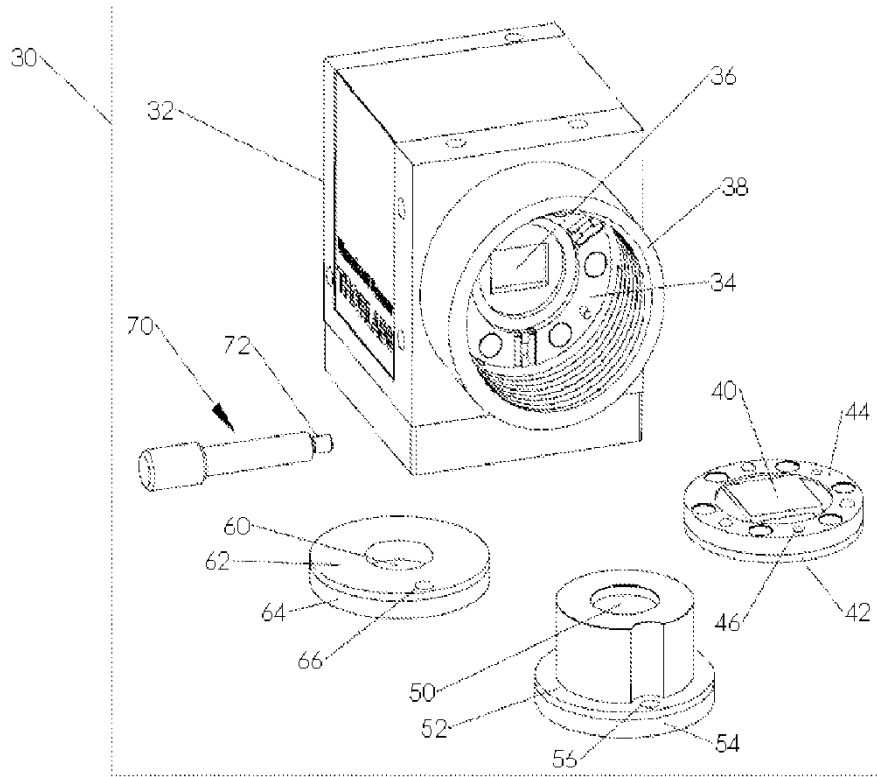
**FIG. 3**



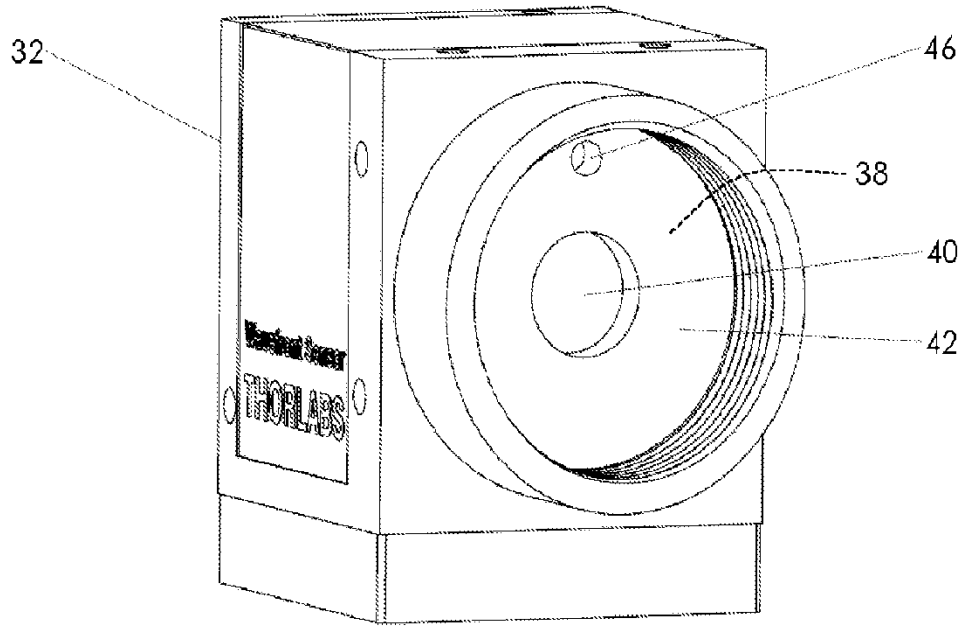
**FIG. 4**



**FIG. 5**

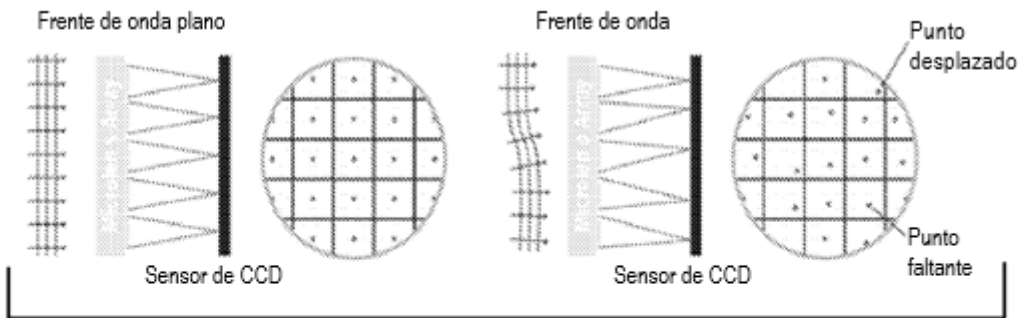


**FIG. 6**

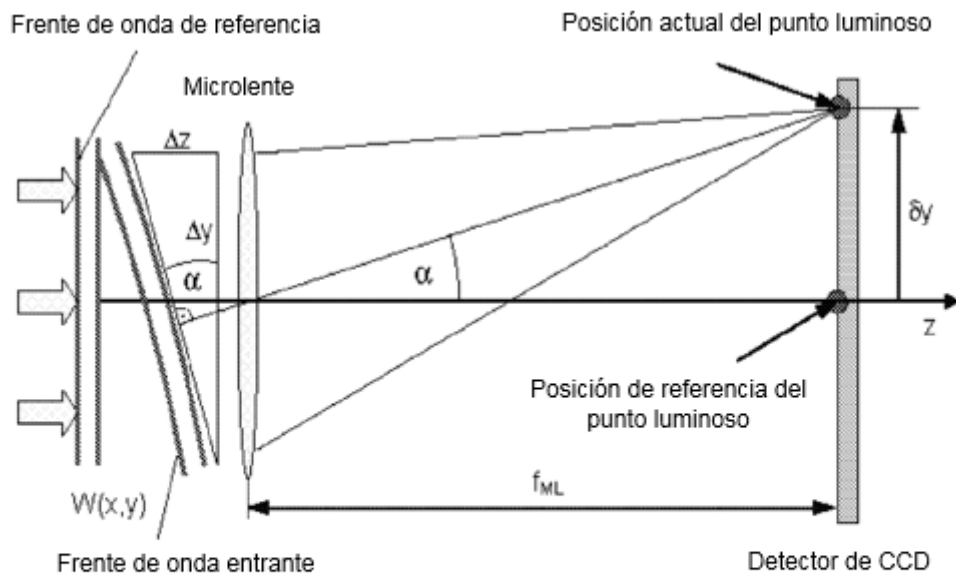


**FIG. 7**





**FIG. 8**



**FIG. 9**