

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 809**

51 Int. Cl.:

**G01J 9/00** (2006.01)

**G01J 1/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.08.2007 PCT/GB2007/003217**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2008 WO08025958**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2007 E 07789308 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2074395**

54 Título: **Instrumento de mapeo de características ópticas**

30 Prioridad:

**29.08.2006 GB 0616974**

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

**17.07.2017**

73 Titular/es:

**POWERPHOTONIC LTD (100.0%)  
STANNERGATE HOUSE 41 DUNDEE ROAD  
WEST  
BROUGHTON FERRY DUNDEE DD5 1NB, GB**

72 Inventor/es:

**BAKER, HOWARD, J.;  
MONJARDIN-LOPEZ, JESUS FERNANDO;  
VILLARREAL-SAUCEDO, FRANCISCO JAVIER y  
MCBRIDE, ROY**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 624 809 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**

Instrumento de mapeo de características ópticas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para medir características de frente de onda de un rayo láser y, en particular, rayos láser de barras de diodos láser.

10 Antecedente de la invención

Una barra de diodos láser es una matriz monolítica de láseres de diodos semiconductores. Todos los láseres en la matriz se emiten desde la misma faceta de una boquilla dividida. La luz se emite normalmente en una dirección perpendicular a la faceta emisora. La potencia de salida normalmente es de 20-150W por barra para láseres comerciales, y cada barra puede tener una longitud de emisión de 10 mm. Cuando los diodos en la matriz son láseres multimodo, los modos son altamente confinados en la dirección fuera de plano (el "eje rápido") y tiene distribuciones casi idénticas cerca al campo en esta dirección. La estructura de modo principal es una variación de campo en la dirección en plano (el "eje lento"). En el campo lejano, los rayos son altamente divergentes en el eje rápido, y divergen más lentamente en el eje lento. La divergencia de eje rápido se puede reducir utilizando lentes de colimación de eje rápido. En su forma más simple, este puede ser un lente de barra cilíndrica o lentes plano-cilíndricos colocados inmediatamente luego de la faceta emisora de la barra de diodo, aunque se puede lograr mejor colimación utilizando superficies de lente acilíndricas.

Debido a la alta divergencia de los rayos y la corta longitud focal de los lentes, los pequeños errores en la distancia entre las facetas del diodo y los lentes de colimación pueden conducir a desenfoco y errores angulares en los rayos colimados. Idealmente la barra es perfectamente recta, de tal manera que los centros de todos los emisores se encuentran en una línea recta, pero en la práctica, debido a tensiones inherentes y efectos mecánicos debido al montaje, la barra se curva o "arquea" y los emisores no descansan sobre una línea recta. El arqueado significa que un lente de barra alienado perfectamente para los primeros y últimos diodos se desalineara para los diodos centrales, conduciendo a una dispersión en los patrones de campo lejano y, por lo tanto, aumenta la divergencia para la barra colimada general. De manera similar, la torsión u otra deformación de los lentes puede resultar en desalineación que proporciona error angular y aumento de divergencia. Incluso las lentes de lente de colimación de eje rápido "acilíndricas" pueden introducir aberraciones significativas, aumentando adicionalmente la divergencia.

Es extremadamente difícil conseguir una colimación correcta a lo largo de una barra de 10 mm. El efecto de la desalineación y aberración de los lentes es que los rayos de campo lejano de diodos individuales apuntan en direcciones ligeramente diferentes y tienen dispersiones angulares diferentes, que exceden normalmente la dispersión angular para una perfecta colimación de eje rápido. Esto conduce a una distribución de potencia desigual en el campo lejano, lo que resulta en una dispersión de rayo no controlada y no predecible y una reducción de la radiación promedio de la fuente de láser. Los lentes de barra plano-acilíndricos utilizados comúnmente que se corrigen perfectamente en el centro de la dispersión angular de emisión en el plano de eje lento tienen una diferente longitud focal y aberraciones significativas para rayos que tienen desfase de eje en esta dirección. Esto reduce adicionalmente el resplandor promedio de la fuente láser. Es práctica común cuantificar la degradación en el rayo general de una fuente de láser al medir el parámetro  $M^2$ . Sin embargo, aunque esto cuantifica el error general, una medición de  $M^2$  no identifica los orígenes precisos del error.

Las barras frecuentemente se apilan como una pila de láser de diodos de alta potencia para aumentar la potencia total disponible de una fuente compacta. Una barra que se tiene que ensamblar en una pila se puede equipar con un lente de colimación de eje rápido antes de apilado. Más generalmente, las barras no colimadas se ensamblan en una pila antes que se unan los lentes de colimación. Las pilas usualmente se ensamblan de tal manera que los rayos de las barras constituyentes estén en paralelo o se dispongan para coincidir sobre un plano objetivo específico. Combinar las barras para formar pilas introduce por lo tanto un requerimiento de alineación adicional: la orientación relativa de los rayos de las barras separadas. Cuando las barras se han colimado antes de apilado, los errores mecánicos en el apilado conducen a errores ligeros en la dirección de señalización de diferentes barras, aumentando la divergencia de los rayos del rayo general y reduciendo la calidad del rayo. Más generalmente, la desalineación mecánica entre los lentes de colimación de eje rápido y la barra conduce a errores de señalización en barras individuales, incluso cuando no existe desalineación mecánica debido a apilamiento.

Las barras normalmente disipan grandes cantidades de calor en un volumen pequeño. La operación de láser depende de la temperatura, y también la refrigeración frecuentemente es crítica. Los grandes cambios de temperatura combinan con diferencias en coeficientes de expansión térmica entre la barra y el refrigerador lo que conduce a una dependencia de la temperatura del efecto de arqueado previamente descrito. Los gradientes térmicos también conducen a distorsiones mecánicas. El exceso de temperatura también degrada el desempeño óptico de las barras, de tal manera que se utiliza frecuentemente refrigeración con agua para eliminar el calor. En el caso de pilas, frecuentemente se intercalan placas de refrigeración con agua entre las barras. Normalmente éstas son muy delgadas y utilizan matrices

muy angostas de canales de agua, lo que significa que se necesita presión de agua. Esto combinado con la estructura muy delgada puede conducir a distorsión mecánica, y de esta manera a distorsión óptica adicional.

5 La brillantez y uniformidad del rayo son parámetros de desempeño clave de las barras y pilas. Un objetivo típico en el diseño y fabricación de pilas colimadas es alcanzar una distribución uniforme e intensa de potencia sobre algún área objetivo, con una intensidad tan cercana como sea posible al límite teórico definido por la calidad del rayo de los emisores individuales. Las mediciones de intensidad de campo lejano se pueden utilizar para cuantificar el desempeño general de la barra colimada o pila, pero no en identificación general de los orígenes de brillantez reducida, en razón a que los rayos de campo lejano no se pueden relacionar fácilmente con el campo cercano a los lentes de colimación de eje rápido, particularmente en razón a que las distribuciones de potencia de campo lejano que se miden normalmente tienen una sobreposición de rayos de múltiples elementos en una barra y múltiples barras en una pila. Esto es un problema, debido a que sin el conocimiento de los orígenes de la brillantez reducida y/o uniformidad, es imposible corregir los mismos.

15 Se conocen instrumentos que pueden medir la distribución de fase y potencia sobre un frente de onda, por ejemplo, el sensor Shack-Hartmann. Estos se han diseñado normalmente para medir los errores de frente de onda en señales de densidad de baja potencia. Utilizándolos para dirigir mediciones de rayos de alta potencia cerca a la salida láser posee grandes problemas en eliminar el calor si se utiliza un atenuador de absorción. La óptica de relés que incorpora atenuadores reflectivos se puede utilizar para retransmitir una imagen de baja potencia de la región de interés sobre el sensor. Sin embargo, éstas pueden introducir aberraciones y otros errores indeseados, particularmente en el caso de pilas y barras láser de diodos de alta potencia, cuyos rayos tienen estructura transversal detallada y divergencia significativa.

25 El documento US 4474467 describe un sensor de frente de onda que tiene una difracción reflectiva de onda acústica de superficie que otorga un punto focal de frente de onda para generar ondas acústicas de superficie en dos frecuencias primarias. Estas ondas acústicas de superficie se utilizan para crear un interferograma, que se utiliza para determinar la pendiente del frente de onda. El sensor del documento US 4474467 no es, sin embargo, adecuado para medir la dirección de señalización promedio del frente de onda de las barras y pilas láser de diodo de alta potencia.

30 Otras ilustraciones de la técnica anterior se pueden encontrar en los documentos de patente EP0319345, US20030174314, WO0066984, WO0228272, WO9608027 y los artículos "Evaluación de micro-lentes para colimación de barras de diodos" de Holdsworth y Baker, y "Fuentes de diodos de alta brillantez para bombeo de laser de guía de ondas" de Monjardin et al.

### 35 Resumen de la invención

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para medir características de frente de onda de un láser, como se define en la reivindicación 1. Se definen algunas características preferidas en las reivindicaciones dependientes. Preferiblemente, se pueden hacer las mediciones en una pluralidad de puntos a través del rayo. Al asegurar que se disipa la radiación indeseada, la presente invención puede funcionar cerca a una superficie de salida de un láser de alta potencia, y puede proporcionar alta resolución espacial y angular, incluso cuando el láser funciona a plena potencia de salida. Es particularmente adecuado determinar las características de frente de onda de un rayo láser de alta potencia, tal como un rayo láser de diodo de alta potencia.

45 El sistema se implementa en la forma de un cabezal de exploración que puede funcionar para que se explore a través del rayo con el fin de recolectar mediciones.

Se puede utilizar una medición sencilla para determinar la dirección de señalización media sobre un área pequeña del rayo láser y la intensidad media sobre esta área.

50 Se puede tomar una pluralidad de mediciones al explorar el cabezal de exploración y combinar para proporcionar un mapa de direcciones de señalización media local a través del rayo láser, la distribución de intensidad de rayo espacial del rayo láser y las propiedades de divergencia del rayo láser.

55 El muestreador de rayo define un área muestreada de una sección transversal del rayo, mediante el uso de un orificio o abertura física similar. Opcionalmente, un sistema óptico, por ejemplo, uno o más lentes, se pueden utilizar para retransmitir una imagen de un área muestreada sobre el agujero o abertura. En este caso, es una abertura virtual que se explora a través del rayo. Esto permite el muestreo del rayo cerca al láser sin necesitar acceso mecánico a esta área. Preferiblemente, el sistema óptico es telecéntrico.

60 Las dimensiones del área muestreada deben ser suficientemente pequeñas para localizar suficientemente el área del rayo que se mide con el fin de dar la resolución espacial requerida del mapa de señalización. El área muestreada puede tener dimensiones en rango de 10-100 micras, preferiblemente 20-50 micras.

La propagación de la luz después de dejar la abertura se modificará mediante difracción debido a la abertura. El término "patrón de difracción" se utiliza para designar la distribución de intensidad a través de cualquier sección transversal del rayo después de propagación más allá de la abertura.

5 La dirección de señalización media del rayo sobre el área muestreada se puede derivar de la posición del centroide del patrón de difracción y su distancia de la abertura de muestreo.

El muestreador se explora a través de diversos puntos sobre el rayo láser para producir un grupo de patrones de difracción a partir desde estos puntos.

10

El sensor puede ser cualquier dispositivo que permita la medición de una señal o grupo de señales que se relacionan con la distribución de intensidad sobre los patrones de difracción producidos por el muestreador de rayo y desde el cual el centroide de la distribución de intensidad se puede recuperar. Un sensor de imagen de dos dimensiones, tal como una matriz de dispositivo acoplado a carga (CCD), o cualquier detector de matriz de semiconductor de óxido de metal complementario (CMOS) sería adecuado. Se puede utilizar un fotodetector cuadrante, o un fotodiodo sensible a la posición bidimensional (PSD). El sensor alternativamente puede ser un fotodetector unidimensional, tal como una matriz lineal de fotodiodos CCD o CMOS, un fotodiodo de efecto lateral, o un fotodiodo de elemento dual. El sensor puede incorporar un material de conversión de longitud de onda en proximidad cercana a un detector para permitir la operación sobre rangos de longitud de onda adicional. El sensor puede tener uno o más filtros de atenuación posicionados en frente de este para reducir la potencia del rayo muestreado dentro del rango de operación del sensor.

15

20

Se pueden proporcionar dos o más sensores. Se puede ubicar un rayo divisor entre la abertura y el sensor para dividir el rayo en dos o más partes. Dos o más partes del rayo se pueden dirigir sobre dos o más sensores. Dos o más sensores pueden ser de diferentes tipos.

25

La distancia entre el punto de muestreo y el sensor se selecciona de tal manera que el patrón de difracción creado por el punto de muestreo esta sustancialmente contenido dentro del área activa del sensor para el rango de medición completo. Esto significa que el centroide del rayo se puede determinar confiablemente. Cuando el rayo bajo investigación tiene alta coherencia espacial en una dirección y baja coherencia espacial en la dirección perpendicular, por ejemplo, el rayo de una banda láser de diodo multimodo, se puede extender una parte sustancial del patrón de difracción más allá del sensor en la dirección de baja coherencia, en cuyo caso el centroide en esta dirección no se medirá.

30

Los medios para la eliminación de la potencia láser indeseada puede ser cualquier dispositivo que pueda eliminar la gran cantidad de potencia láser que no está dentro o esta inmediatamente adyacente al área muestreada del rayo láser y, de esta manera no requerida por el sensor de medición. Se proporciona un dispositivo reflectivo para permitir la eliminación de potencia en una forma que no afecta la precisión de la medición, evita producir retroalimentación del láser, ya que esto puede provocar daño al láser o afectar las características de frente de onda que se miden y no presentan un peligro de seguridad. Esto permite realizar mediciones a potencia laser normal o plena.

35

40

Los medios para la eliminación de potencia láser indeseada se pueden implementar en la forma de un dispositivo para desviar la potencia láser indeseada que incorpora una superficie altamente reflectante que refleja la potencia hacia un elemento metálico refrigerado con agua con un recubrimiento negro que permite la absorción eficiente de luz láser. La superficie de este elemento se puede estructurar, por ejemplo, con aletas, con el fin de aumentar la luz que atrapa y, por lo tanto, aumenta la absorción de energía láser.

45

El sensor puede ser operable para tomar mediciones en un único o una serie de puntos diferentes. Preferiblemente, esto se hace al explorar el muestreador de rayos a través del frente de onda del láser o al explorar la fuente de rayo láser a través del muestreador.

50

El sistema puede incluir medios para analizar las mediciones tomadas por el sensor. Los medios para analizar pueden ser operables para determinar el centroide del patrón de difracción en uno cualquiera o ambos ejes, y utilizar esto para determinar un componente de señalización de rayo a lo largo de un eje. Se conocen bien los algoritmos para determinar el centroide de un patrón de difracción.

55

Los medios para analizar pueden ser operables para determinar la intensidad local del rayo. Esto se puede hacer al calcular la potencia total contenida en el patrón de difracción del sensor, por ejemplo, mediante la suma de valores de píxel, o mediante la inserción de un fotodetector de elemento individual auxiliar, por ejemplo, un fotodiodo, enfrente del sensor que recolecta el patrón de difracción completo.

60

Si se toma una única medición, esta medición indica directamente la dirección de señalización del rayo local e intensidad. Si se toma una serie de mediciones en diferentes lubricaciones, éstas se pueden utilizar para crear un mapa del rayo láser. En este caso, se debe conocer la posición en donde se toman las mediciones.

65

La tangente trigonométrica del ángulo de señalización de rayo medio es el desfase del centroide de una posición de referencia dividido por la distancia axial reducida del muestreador de rayo al sensor, en donde la distancia axial reducida

en un medio homogéneo se proporciona por la distancia axial real dividida por el índice de refracción. Normalmente, el ángulo de señalización de rayo es suficientemente pequeño que su tangente es aproximadamente el valor del ángulo de señalización de rayo en radianes.

5 Si se utiliza un detector de matriz, se puede obtener información adicional sobre características de frente de onda local al comparar el patrón de difracción medido con el patrón de difracción esperado para una onda plana, o al comparar las estadísticas del patrón de difracción, por ejemplo, los segundos y mayores momentos de orden, con las estadísticas esperadas de un patrón de difracción para una onda plana.

10 Se puede colocar una pantalla entre el sensor y la abertura de muestreo, la pantalla puede estar cerca a o hacer parte del sensor. La pantalla puede comprender un difusor óptico. Se pueden proporcionar medios para mover el difusor con el fin de promediar los efectos del moteado láser sobre el láser incidente sobre el sensor. Los medios para mover pueden ser operables para trasladar, girar o hacer vibrar el difusor. La pantalla puede comprender un material de conversión de longitud de onda. El material de conversión de longitud de onda puede comprender una pantalla fosforescente.

15 Se puede proporcionar un único lente o un sistema de múltiples lentes u otros elementos ópticos para retransmitir la imagen del rayo incidente sobre la pantalla a un plano de imagen en donde se coloca el sensor. Los lentes individuales o sistema de múltiples lentes u otros elementos ópticos pueden ser tales que la imagen del patrón de difracción incidente sobre el sensor este contenido sustancialmente dentro del área activa del sensor.

Breve descripción de los dibujos

25 Ahora se describirán diversos aspectos de la invención sólo por vía de ejemplo y con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático de un cabezal muestreador de rayo posicionado en frente de una pila láser de diodos;

30 La figura 2 es una vista frontal de un mecanismo para explorar e cabezal muestreador de rayo de la figura 1;

La figura 3 es una sección transversal a través de una abertura que se puede utilizar opcionalmente en una parte del muestreador de rayo de la figura 1;

35 La figura 4 es una sección transversal a través de otra configuración de abertura opcional;

La figura 5 es una sección transversal a través de aun otra configuración de abertura opcional.

40 La figura 6 es una vista en perspectiva de una parte de reflector opcional para uso en un muestreador de rayo de la figura 1;

La figura 7 es una vista en perspectiva de otra parte de reflector opcional para uso en el muestreador de rayo de la figura 1;

45 La figura 8 es una sección transversal a través de un cabezal muestreador de rayo en el que se utiliza el reflector de la figura 6 o la figura 7;

La figura 9 es una vista frontal del cabezal muestreador de rayo de la figura 8 para el caso en el que se utilizar el reflector de la figura 7;

50 La figura 10 es una sección transversal a través de otro cabezal muestreador de rayo con elementos de absorción separados;

La figura 11 es una vista delantera del cabezal muestreador de rayo de la figura 10;

55 La figura 12 es una vista en perspectiva de un elemento reflector que se utiliza en el cabezal muestreador de rayo de las figuras 10 y 11;

60 La figura 13 es una sección transversal a través del cabezal muestreador de rayo que incorpora lentes que coliman el rayo antes que alcance el sensor, y

La figura 14 es una sección transversal a través de un cabezal muestreador de rayo que incorpora una pantalla y lentes relé.

65 Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 muestra una disposición de medición de frente de onda de salida de luz de un láser, en este caso una pila 1 de barra de diodos láser que tiene una pluralidad de barras 2 de diodo láser individuales montadas en placas 3 de refrigeración, cada barra tiene en su salida un lente 4 cilíndrico, que actúa como un colimador de eje rápido (FAC). La luz de cada barra se colima en sola una dirección por su lente 4. Frente a la pila de diodo láser se encuentra un muestreador 5 de rayo, que se configura para soportar la alta intensidad local del rayo láser, y minimizar la potencia reflejada de nuevo en el láser. El muestreador 5 puede operar para muestrear un área pequeña del rayo cerca al láser y producir un patrón de difracción desde el área muestreada. El muestreador de rayo se diseña, de tal manera que se pueden obtener muestras lo más cercano posible a la superficie emisora o transmisora del láser. Para este fin, el muestreador de rayo tiene un punto de muestreo que se ubica en una extremidad física, de tal manera que se puede mover sustancialmente no impedido a una posición muy arcana a la salida del láser. En el ejemplo de la figura 1, se forma la abertura en un ápice del muestreador de rayo. Normalmente, el muestreador de rayo se dispone de tal manera que su punta de muestreo pueda acercarse a la superficie de los lentes FAC hasta dentro de 0.2 mm, aunque esto no siempre es posible debido a la disposición mecánica de la pila.

El muestreador 5 de rayo de la figura 1 tiene una superficie 6 de espejo cónico de alta reflectancia, por ejemplo, una superficie recubierta con oro o un recubrimiento dieléctrico multicapa diseñado para longitud de onda del láser bajo prueba. Formada a través del ápice del cono se encuentra una abertura 7 de muestreo de rayo que tiene un tamaño que permite definir la resolución espacial del muestreador de rayo, al definir un área muestreada. Normalmente, se utiliza una abertura pequeña con el fin de alcanzar una alta resolución espacial y en donde este es el caso la forma del patrón de difracción depende principalmente de la forma de la abertura. Debido a que esta abertura se ubica en una extremidad física del muestreador, se puede mover sustancialmente no impedido a una posición muy cercana a la superficie trasmisora o emisora del láser.

Alrededor y conectado a la superficie 6 cónica se encuentra un elemento 10 de absorción que tiene un recubrimiento 11 para absorber luz indeseada del láser preferiblemente y normalmente >90% de esa luz y una disposición 12 de refrigeración para eliminar el calor. El propósito de la superficie 6 cónica de espejo es dirigir esa parte del rayo no inmediatamente sobre o adyacente a la abertura 7 de muestreo sobre el elemento 10 de absorción. Esto se logra mejor cuando la mitad del ángulo de la superficie 6 cónica de espejo tiene aproximadamente 45° o menos. La pila 1 de barra de diodo láser puede tener potencias de cientos de vatios a kilovatios, pero idealmente la potencia transmitida por la abertura de muestreo tiene sólo pocas decenas de milivatios. Por lo tanto, el espejo 6 cónico y el elemento 10 de absorción tienen que ser capaces de disponer de cantidades significativas de potencia. Detrás de la abertura 7 se encuentra una cámara 13 electrónica que se monta en forma rígida a la parte posterior del ensamble 5 de muestreador de rayo mediante una pieza 22 de conexión. Incluida en la cámara 13 se encuentra una superficie 14 activa que puede funcionar para detectar luz en longitud de onda del láser bajo investigación. La separación entre la abertura 7 de muestreo y la superficie 14 se eligen de tal manera que el patrón de difracción creado por la abertura 7 es sustancialmente contenido dentro del área 14 activa para el rango de medición completa de señalización del rayo. Esto significa que el centroide del rayo se puede determinar confiablemente. Por ejemplo, un agujero circular de diámetro de 40 micras utilizado con una cámara de 1.7 cm CCD normalmente requerirá una distancia de 53 mm, proporcionando un rango de medición angular de 50 mrad. Proporcionado en el frente de la superficie 14 activa se encuentran filtros 15 de atenuación. Estos tienen preferiblemente varas láminas de vidrio de absorción de volumen, tal como aquella fabricada por las compañías de vidrios Schott o Hoya, por ejemplo, Schott NG3. Esto reduce el nivel de luz incidente en la cámara normalmente de  $10^3$  a  $10^5$  para asegurar que la cámara 13 no se sobrecarga.

La unidad consiste del ensamble 5 muestreador de rayo, con su elemento 10 de absorción de luz y la cámara 13 electrónica, se monta sobre un sistema de traslación XY motorizado controlado por ordenador, de tal manera que la abertura 7 de muestreo se puede mover en un plano tangencial a los lentes 4 cilíndricos. La figura 2 muestra un sistema adecuado. Este tiene una etapa 16 de traducción motorizada inferior para provocar movimiento en la dirección x y una etapa 17 de traslación motorizada montada ortogonalmente para provocar movimiento en la dirección y. El movimiento del explorador se sincroniza con la adquisición de mediciones en ubicaciones predeterminadas, y es así que los datos se pueden recolectar y procesar en un rango de puntos predeterminados en el espacio, usualmente en la forma de un patrón de rejilla que cubre las áreas de emisión completa de las barras 2 en la pila 1. Alternativamente, se pueden tomar mediciones en puntos arbitrarios y los datos se interpolan, en cambio de en ubicaciones predeterminadas.

La abertura 7 normalmente tiene un diámetro de 10 a 100 micrómetros, preferiblemente 20 a 50 micrómetros. Esto determina la resolución espacial del instrumento. Las figuras 3 a 5 ilustran configuraciones de abertura adecuadas. En particular, la figura 3 muestra una abertura de muestreo circular que se forma directamente en el ápice de la superficie 6 cónica, por ejemplo, mediante un proceso de perforación con láser. En este caso, el material en el ápice se redondea y adelgaza para evitar dispersión de luz desde las paredes laterales. Esto permite que se posicione muy cerca a los lentes 4 cilíndricos del láser 1. La naturaleza de una pieza de este elemento permite que se deposite cualquier calor en el ápice para conducir dentro del cuerpo del muestreador 5 del rayo. La figura 4 muestra una disposición alterna en el que la abertura 7 de muestreador se preperfora en un disco de lámina 18 de metal que se mantiene en el ápice de la parte 6 cónica mediante un tornillo 19 hueco. En este caso, el efecto de abrazadera del tornillo 19 es responsable de la conducción de cualquier calor del disco de lámina al muestreador 5 de rayo.

Como se ha indicado anteriormente, para obtener una medición precisa del frente de onda sobre un plano específico, es importante para el punto de muestreo ser configurado de tal manera que se pueda posicionar tan cerca a ese plano

como sea posible. En ocasiones, sin embargo, puede ser difícil disponer esto físicamente, por ejemplo, cuando se proporciona una ventana o uno o más componentes ópticos en el frente de la salida láser o un componente mecánico descansa cerca al borde del rayo. En estas circunstancias, se puede utilizar una abertura virtual, ópticamente generada, como se muestra en la figura 5. En este caso, la abertura 7 de muestreo se define en un disco preperforado de lámina 18 de metal, y la luz se dirige a esto mediante un par de lentes 20 y 21 que forman un relé telecéntrico, de tal manera que se crea una abertura de muestreo virtual en frente del ápice. Esto tiene la ventaja de que el plano de medición se puede proyectar hacia delante del ápice, permitiendo la exploración de las pilas 1 de diodo de láser que tienen características que evitan que el ápice alcance el plano de exploración deseado. Las longitudes de foco de las dos lentes 20 y 21 pueden ser iguales, para producir una abertura virtual del mismo tamaño que la abertura física, o pueden tener longitudes de foco desiguales que dan magnificación o desmagnificación. En los ejemplos de las figuras 4 y 5, la superficie de lámina 18 de metal se puede tratar para reducir la reflexión de nuevo en el láser, por ejemplo, mediante ennegrecimiento químico o rugosidad mecánica de la superficie.

En uso, las mediciones se pueden tomar en un único o una serie de puntos diferentes a través del frente de onda del rayo láser bajo interrogación. Cuando se requieren múltiples mediciones, preferiblemente esto se hace al explorar el muestreador de rayo y el sensor a través del frente de onda del rayo láser bajo interrogación. Las mediciones tomadas por el sensor se analizan posteriormente. Cada punto de medición da un patrón de difracción. Cuando el rayo está en una onda de plana y la abertura circular, el patrón de difracción es una función Airy. Cuando el rayo tiene una alta coherencia espacial en una dirección y baja coherencia espacial en la dirección perpendicular, por ejemplo, en el caso de un rayo desde una banda láser de diodo multimodo, el patrón de difracción es una función Airy en la primera dirección y tiene una función más alargada en la segunda dirección.

Para determinar la dirección de señalización de rayo local, el centroide del patrón de difracción se tiene que encontrar en uno o en ambos ejes. El centroide también se denomina frecuentemente como el "primer momento". Se conocen bien definiciones de esto, ya que son métodos para calcularlo a partir de mediciones tomadas por los detectores de matriz. Existen muchos otros medios adecuados para hallar el centro del rayo que no necesariamente dan el centroide real, por ejemplo, ajuste por mínimos cuadrados de un cuadrado alrededor del pico o hallazgo del punto medio de la mitad máxima. Cuando el sensor está en un detector de matriz, la dirección de señalización de rayo se puede derivar del centroide del patrón de difracción mediante cálculo numérico utilizando algoritmos conocidos, por ejemplo, el algoritmo implementado dentro del software de análisis de rayo Spiricon. Cuando el sensor tiene uno o dos detectores sensibles a posición de dimensión, tal como el fotodiodo de efecto lateral, o un detector de elemento dual o cuadrático, se pueden utilizar otros métodos bien conocidos para determinar el centroide del patrón de difracción. Por ejemplo, para un detector sensible a posición 1D, la salida es un par de fotocorrientes I1 e I2 que se pueden relacionar nominalmente a una posición x por la fórmula  $(I2-I1)/(I2+I1) = 2x/L$ , en donde L tiene una longitud característica del detector.

Así como la dirección de señalización de rayo, se puede determinar la intensidad local del rayo láser. Esto se puede hacer al calcular la potencia total contenida en el patrón de difracción desde la señal del sensor, por ejemplo, mediante la suma de valores de píxel, o mediante la inserción de un fotodetector de elemento sencillo auxiliar, por ejemplo, un fotodiodo, en frente del sensor que recolecta el patrón de difracción completo. Si se toma una única medición, esta medida indica directamente la dirección de señalización de rayo y la intensidad. Si se toma una serie de mediciones en diferentes ubicaciones, éstas se pueden utilizar para crear un mapa del rayo láser. En este caso, se debe conocer la posición cuando se toman las medidas.

Cuando sea necesario explorar una pila de diodos láser con un gran número de barras, la forma cónica simple del muestreador 5 de rayo de la figura 1 en la práctica, se mas grande y pesado, que su diámetro general si es mayor de dos veces el ancho emisor de la pila de diodo láser para interceptar toda la luz láser en todas las posiciones en el explorador. Con el fin de reducir el peso, se puede utilizar una forma 23 de cono truncado en lugar de la parte 6 cónica, como se ilustra en la figura 6. Alternativamente, se puede utilizar una forma 25 de pirámide truncada, como se muestra en la figura 7. Las facetas 26 planas de esta se pueden producir, por ejemplo, mediante mecanización con diamantes o sobreposición convencional y métodos de pulido para asegurar que se produce una superficie de alta reflectancia. Alrededor del cono 23 truncado o reflector 25 piramidal se encuentra un elemento 27 de absorción de forma generalmente rectangular, véanse figuras 8 y 9, que como antes se cubre con un recubrimiento 11 altamente absorbente e incluye una disposición de refrigeración, tal como un sistema de refrigeración basado en agua (no mostrado).

Las figuras 10 y 11 muestran una disposición que permite reducir aún más el peso. Esto incluye un muestreador de rayo que tiene una abertura 7 que se forma a través del ápice de un reflector 28 de techo convexo que tiene dos caras 29 planas de alta reflectancia, como se muestra en la figura 12. Éstas reflejan la mayoría de luz láser para separar físicamente elementos 30, 31 de absorción. Como antes, los elementos 30 y 31 de absorción tienen recubrimientos altamente absorbentes para disponer de luz indeseada y una disposición de refrigeración para disponer del calor generado por esa luz. Se forma la abertura 7 de muestreo en el centro del ápice del reflector 28 de techo convexo y dirige la luz muestreada sobre la cámara 13 a través de filtros 15 de atenuación. La cámara 13 y los filtros 15 de atenuación se unen detrás del reflector 28 de techo convexo de la misma forma que para el reflector 6 cónico en la figura 1. La unidad consiste de la cámara 13 y el reflector 28 que van sobre una etapa móvil, mientras que los elementos 30 y 31 de absorción no, pero en cambio son estáticos. En razón a que sólo el reflector y la cámara se tienen mover, las

partes que llevan la tabla de exploración son más livianos que aquellos descritos anteriormente. Esto es particularmente ventajoso cuando el láser de diodos con un gran número de barras de diodos se tiene que explorar.

5 Un experto apreciará que variaciones de las disposiciones divulgadas son posibles sin apartarse de la esencia de la invención. Por ejemplo, aunque el muestreador de rayo se describe anteriormente de manera general por tener una abertura circular, se puede utilizar en cambio una abertura elíptica, cuadrada o rectangular.

10 Como otro ejemplo, se puede colocar un lente individual o un sistema de múltiples lentes entre la abertura y el sensor para aumentar o reducir el tamaño del patrón de difracción sobre el sensor, permitiendo mayor libertad en la elección del tamaño del sensor y distancia entre la abertura y el sensor. En estos casos, la relación entre el rayo de señalización y la posición centroide cambiaría. Al utilizar lentes cilíndricos o anamórficos, se puede cambiar el tamaño del patrón de difracción en diferentes cantidades en las direcciones x y y.

15 La figura 13 muestra un caso particularmente ventajoso. Aquí, se colocan los lentes 32 convergente en su distancia focal por detrás de la abertura de tal manera que el rayo que viaje entre estos lentes y el sensor sustancialmente se colima. Esto se ilustra en la figura 13 mediante la ruta del rayo 33. Esto proporciona la ventaja de que la luz cae sustancialmente normal a la superficie del sensor, evitando efectos debido a la sensibilidad angular del sensor. Esto proporciona la ventaja adicional de permitir que el espesor de un filtro de atenuación se coloque entre los lentes y el sensor que se va a cambiar sin cambiar sustancialmente la relación entre la dirección de señalización media del rayo y la posición centroide del rayo sobre el sensor.

20 Cuando se utiliza un sensor de una dimensión para medir el centroide del patrón de difracción en una dirección, se puede colocar un lente cilíndrico entre la abertura y el sensor para producir una imagen de la abertura en la otra dirección, de tal manera que la forma del patrón de difracción coincide mejor con la geometría del detector. En este caso, la abertura y el sensor están en puntos conjugados de los lentes cilíndricos.

30 Cuando se utiliza un sensor de dos dimensiones para medir el centroide del patrón de difracción sola en una dirección, se puede utilizar en cambio una combinación de lentes cilíndricos y de abertura con forma de ranura, posicionados de tal manera que los lentes cilíndricos enfocan la luz en la dirección de la dimensión del largo de la ranura, con la ranura y el área activa de cámara en puntos conjugados de los lentes cilíndricos, permitiendo por lo tanto la medición de un grupo de centroides desde diferentes áreas a lo largo de la ranura. Esto permite efectivamente el proceso de un número grande de aberturas en paralelo, proporcionando ventajas de velocidad.

35 En cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, se puede colocar una pantalla 34 de difusión entre el sensor y el muestreador de rayo, idealmente en una posición ocupada previamente por el sensor, y la imagen del rayo incidente sobre la pantalla de difusión se puede retransmitir mediante un sistema óptico, por ejemplo, un lente 35 sencillo o un sistema de múltiples lentes, hacia el sensor colocado en una nueva ubicación, como se muestra en la figura 14. Preferiblemente, los lentes individuales o el sistema de múltiples lentes u otros elementos ópticos es tal que el patrón de difracción incidente sobre el sensor está sustancialmente contenido dentro del área activa del sensor, aunque esto no es esencial. Cuando se utiliza un difusor con un sistema óptico adicional, se debe extender la pieza 22 de conexión.

40 El uso de una pantalla de difusión reduce el nivel de luz incidente sobre el sensor, de tal manera que se requiere menos atenuación de los filtros de atenuación. Esto también permite que se utilice una abertura para controlar el nivel de luz incidente en el sensor, en la misma forma que en una cámara fotográfica. Cuando se utiliza un único elemento, la abertura se colocará inmediatamente antes o inmediatamente después del lente 35. Cuando se utiliza un lente de múltiples elementos, la abertura también se puede colocar entre los elementos de lente. La capacidad de utilizar una abertura, particularmente una abertura variable, tal como un diafragma de iris, en esta forma es de particular importancia cuando se caracterizan láseres de pulso, cuando esto puede no ser posible para controlar el nivel de señal del sensor adecuadamente a través el control del tiempo de exposición. En casos en donde el difusor exhibe fuerte transmisión hacia adelante, puede ser necesario retransmitir una imagen fuera de eje. En este caso, se requerirá calibración para corregir la distorsión de imagen y el impacto consecuente sobre la ubicación centroide del rayo sobre el sensor. Cuando los efectos del moteado de láser afectan la precisión de la medición de posición de centroide, se puede trasladar el difusor, girar, vibrar o mover de otra forma con el fin de promediar los efectos del moteado láser sobre el rayo incidente en el sensor. En este caso los rayos de pulso cuyas longitudes de pulso son demasiado cortas para permitir el promedio temporal sobre un único impulso, la medición centroide se puede promediar sobre dos o más pulsos.

55 Cuando la longitud de onda del rayo se caracteriza es tal que los sensores adecuados son económicos o no están fácilmente disponibles, por ejemplo, en el rango de longitudes de onda de 1400 nm - 3000 nm, la pantalla de difusión se puede reemplazar mediante una pantalla de un material que convierte la longitud de onda a aquella dentro del rango de operación del sensor mientras que conserva el patrón espacial de luz incidente. Por ejemplo, existe una serie de materiales comercialmente disponibles tal como el fósforo infrarrojo que cubre cerca del infrarrojo en la luz visible. Normalmente, éstos requieren acción por una fuente de luz separada. Estos materiales no tienen una respuesta perfectamente lineal, ya que sólo es necesario que el centroide del rayo de distribución de intensidad se preserve.

65 Aun como otra opción, el rayo se puede dividir a lo largo de la ruta óptica entre la abertura y el sensor. Esto se puede hacer mediante uno o más divisores de rayo. Esto permitiría que la luz sea enviada a uno o más sensores del mismo

- tipo o diferente tipo. Una ventaja de esto es que permite que se mida la señalización en más de una dirección. Por ejemplo, utilizando un divisor de rayo y un par de detectores unidimensionales, se puede medir la señalización en dos ejes sin la necesidad de un detector bidimensional. Una ventaja adicional de dividir el haz es que abre la posibilidad de distribuir el rayo entre diferentes tipos de sensor, por ejemplo, la combinación de una matriz bidimensional PDS con una matriz bidimensional CCD o CMOS. Como un ejemplo específico, una medición de señalización de muy alta velocidad tomada por el PSD se puede combinar con mediciones diagnósticas tomadas utilizando un CCD, o una medición de señalización de alta precisión mediante un CCD se puede combinar con una medición de potencia precisa utilizando fotodiodo de elementos individuales.
- 5
- 10 Aunque se proporcionan algunos ejemplos específicos, se puede emplear cualquier método para determinar la dirección de señalización del centroide del patrón de difracción. De acuerdo con lo anterior, las anteriores descripciones de realizaciones específicas se hacen sólo por vía de ejemplo y no con el propósito de limitación. Será claro para el experto que se pueden hacer modificaciones menores sin cambios significativos a la operación y características descritas.

15

Reivindicaciones

1. Un sistema de medición de frente de onda que comprende:

5 una matriz monolítica de láseres de diodos semiconductores que tienen una superficie emisora o transmisora de múltiples elementos;

10 un muestreador de rayo que tiene una abertura de agujero de muestreo que define un área muestreada de un frente de onda y un punto de muestreo ubicado muy cerca de la superficie emisora y transmisión antes de la sobreposición de rayos de múltiples elementos;

un absorbedor para absorber la radiación no muestreada;

15 un reflector para dirigir la radiación no muestreada sobre el absorbedor;

por lo menos un sensor para detectar radiación muestreada por el muestreador de rayo;

20 medios para utilizar la radiación detectada para determinar la dirección de señalización media sobre el área muestreada de un rayo; y

un explorador, el explorador se dispone para provocar movimiento relativo entre el muestreador de rayo y los múltiples elementos, por lo tanto, hace determinaciones en una serie de puntos diferentes para medir el frente de onda.

25 2. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en la reivindicación 1, en el que la abertura se posiciona en una extremidad física del muestreador de rayo, permitiendo por lo tanto el movimiento del muestreador cerca al emisor o transmitir la superficie y/o en el que el muestreador de rayo incluye un sistema óptico para retransmitir una imagen del área muestreada sobre la abertura, opcionalmente en el que el sistema óptico es telecéntrico y/o comprende una o más lentes.

30 3. El sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la abertura tiene dimensiones en el rango de 10-100 micras, preferiblemente 20-50 micras.

35 4. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el reflector tiene una superficie cónica o piramidal o superficie de reflexión de techo externa, y la abertura se posiciona en un ápice de la misma, opcionalmente en el que las superficies de reflexión piramidal o cónica son trucadas.

40 5. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el absorbedor rodea el reflector y/o en el que el muestreador de rayo y el absorbedor se conectan o no se conectan.

6. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el absorbedor comprende uno o más elementos absorbedores o partes, opcionalmente en el que el absorbedor incluye múltiples partes posicionadas en diferentes ubicaciones alrededor del reflector.

45 7. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sensor comprende una matriz bidimensional de detectores, por ejemplo, una matriz CCD o un fotodetector cuadrante, o una matriz de detectores lineal, la matriz lineal incluye dos o más detectores.

50 8. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sensor es un elemento activo que es lateralmente no segmentado y puede funcionar para detectar el centroide de un patrón de difracción formado por luz incidente sobre el sensor, tal como un fotodiodo de efecto lateral.

55 9. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el absorbedor incluye un sistema de refrigeración, por ejemplo, un sistema refrigerado por líquido, preferiblemente un sistema refrigerado por agua.

60 10. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el absorbedor tiene una alta capacidad de calor y/o tiene una o más superficies que se recubren con un material, por ejemplo, un material negro, que es altamente absorbente en la longitud de onda del rayo láser.

65 11. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende medios para utilizar la radiación detectada, para determinar una cualquiera o más de los siguientes: distribución de direcciones de señalización sobre el rayo láser; dirección de señalización media de un rayo láser; propiedades de divergencia de un rayo láser; intensidad en cualquier punto luego de un rayo láser; y la distribución de intensidad de rayo espacial de un rayo láser.

- 5 12. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende medios para utilizar la radiación detectada para determinar las propiedades de divergencia o coherencia espacial de un área pequeña del rayo al comparar un patrón de difracción formado por luz incidente sobre el sensor, con el patrón de difracción esperado para una onda plana, o al comparar las estadísticas del patrón de difracción, por ejemplo, el segundo momento y momentos de mayor orden, con las estadísticas esperadas de un patrón de difracción para la onda plana, opcionalmente en el que se utiliza una pluralidad de mediciones para determinar la distribución de propiedades de divergencia o propiedades de coherencia espacial sobre un rayo láser.
- 10 13. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la distancia entre la abertura de muestreo y el sensor es tal que un patrón de difracción formado por luz incidente sobre el sensor está contenido sustancialmente dentro del área activa del sensor.
- 15 14. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un divisor de rayo ubicado entre la abertura y el sensor para dividir el rayo en dos o más partes, opcionalmente en el que las dos o más partes del rayo se dirigen sobre dos o más sensores, opcionalmente adicionalmente en el que los dos o más sensores son de tipos diferentes.
- 20 15. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el reflector tiene un tamaño y forma con el fin de que sustancialmente toda la radiación no muestreada se dirija sobre el absorbedor y/o el reflector hace parte integral del muestreador de rayo.
- 25 16. Un sistema de medición de frente de onda como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la matriz monolítica de láseres de diodos semiconductores incluye por lo menos un colimador de eje rápido en una salida del mismo.

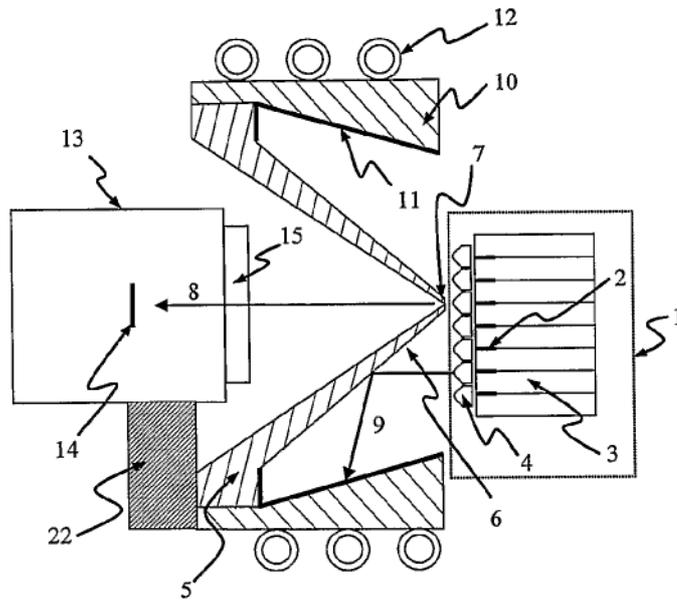


Figura 1

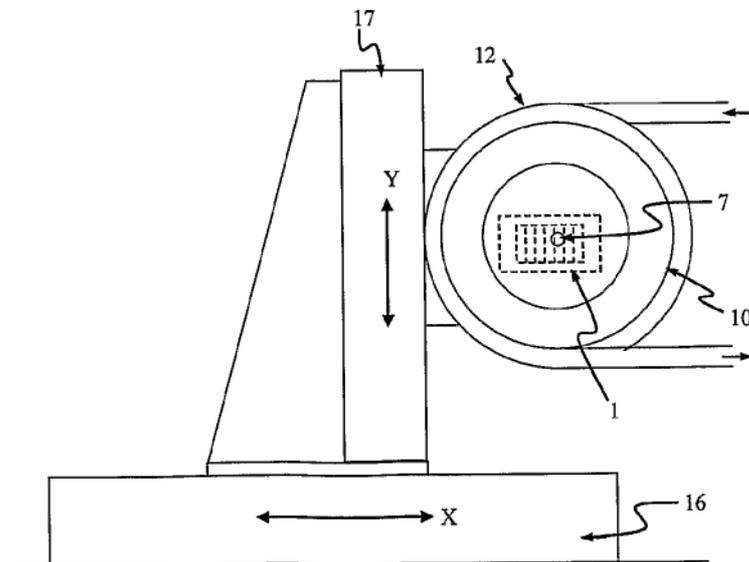


Figura 2

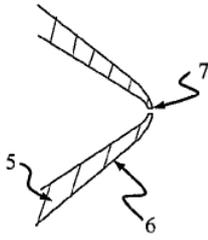


Figura 3

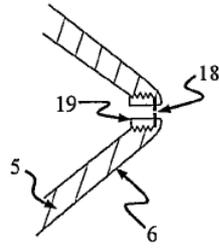


Figura 4

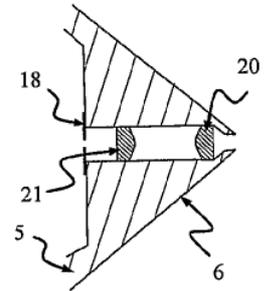


Figura 5

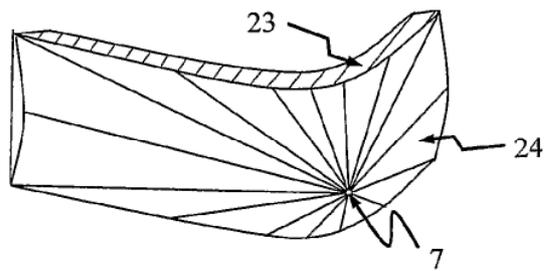


Figura 6

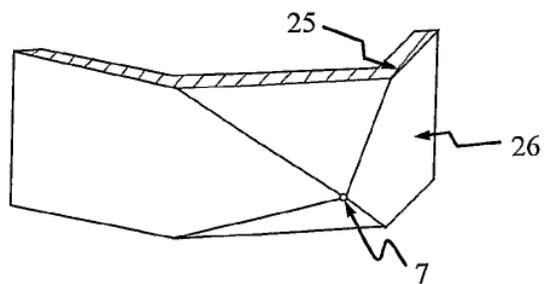


Figura 7

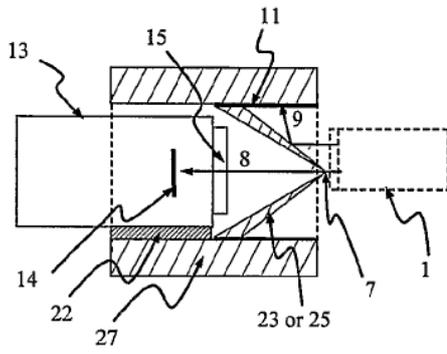


Figura 8

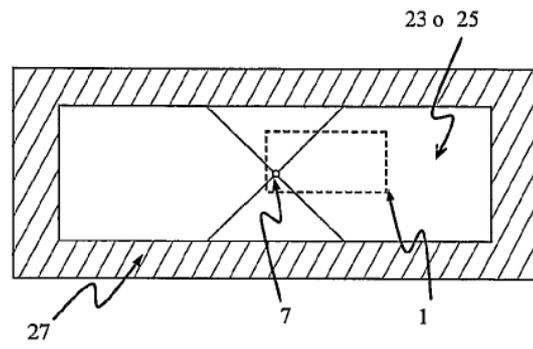


Figura 9

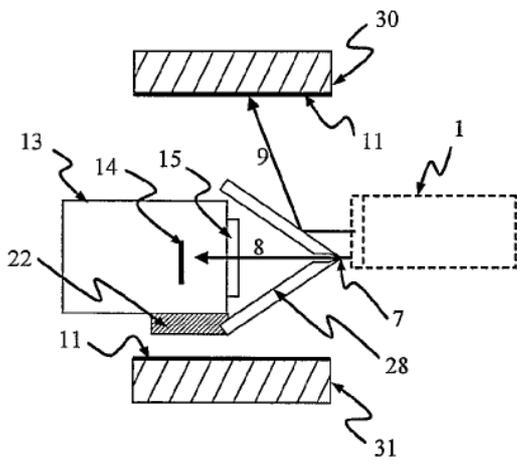


Figura 10

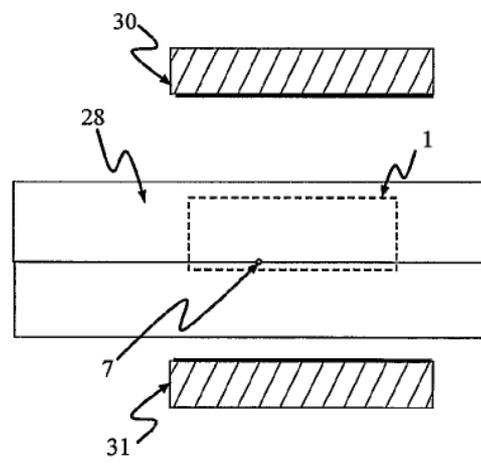


Figura 11

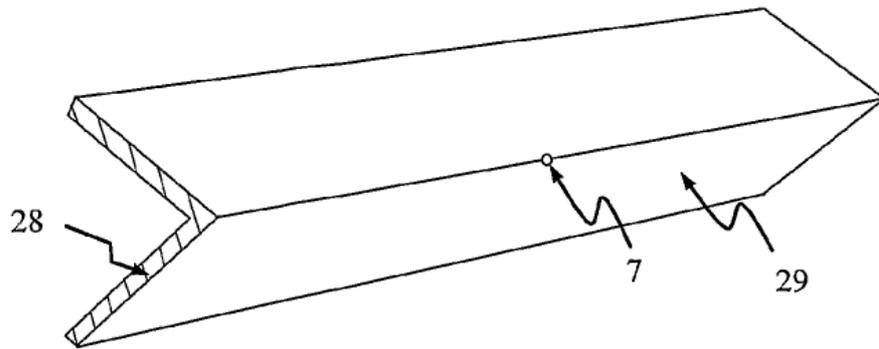


Figura 12

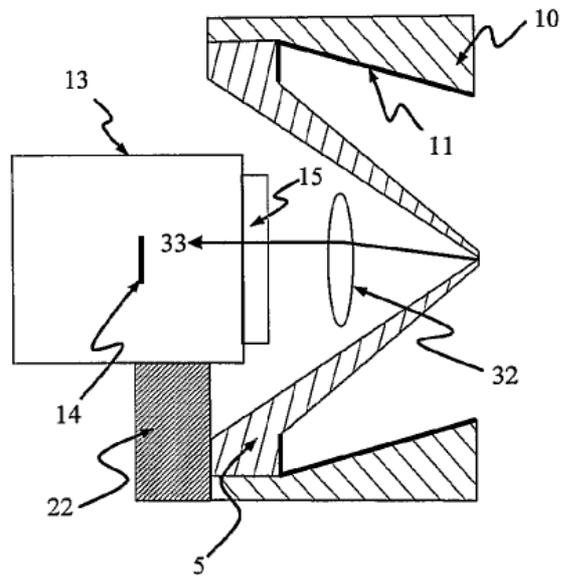


Figura 13

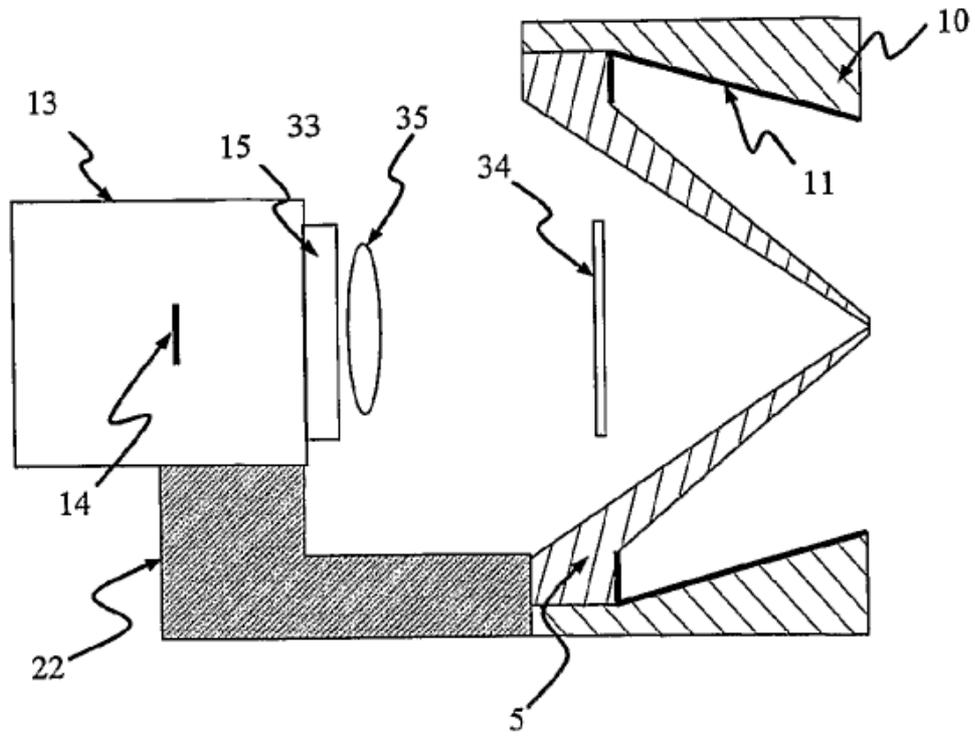


Figura 14