

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 770 329**

51 Int. Cl.:

G02B 27/09 (2006.01)

G03B 21/20 (2006.01)

H04N 9/31 (2006.01)

G02B 27/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2011 PCT/EP2011/055743**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.10.2012 WO12139634**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2011 E 11727130 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 2697682**

54 Título: **Proyector láser con moteado reducido**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.07.2020

73 Titular/es:
**BARCO NV (100.0%)
President Kennedypark 35
8500 Kortrijk, BE**

72 Inventor/es:
JANSSENS, PETER

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 770 329 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

Proyector láser con moteado reducido

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a un proyector que usa una fuente de luz láser, a un sistema integrador para dicho proyector y a métodos para reducir el moteado generado por dicho proyector, así como a un método para usar dicho proyector, un controlador para dicho proyector y un método de funcionamiento de tal proyector.

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de proyección requieren una fuente de luz de alta calidad. Si bien los sistemas de proyección han utilizado tradicionalmente lámparas de descarga como fuente de luz, ahora hay interés en fuentes de luz alternativas como los láseres. Los láseres tienen varias propiedades ventajosas. Emiten un haz de luz de alta intensidad y tienen una vida útil muy larga. Sin embargo, las fuentes de luz láser también tienen algunas propiedades desventajosas. Una fuente de luz láser emite un espectro estrecho de luz coherente y los sistemas de proyección con fuentes de luz láser pueden sufrir un efecto llamado "moteado". El moteado se ve típicamente como una estructura granular en la pantalla que deteriora la calidad de la imagen y distrae al espectador.

15 Es deseable reducir el moteado para obtener una calidad de imagen aceptable de un sistema de proyección basado en láser.

20 El documento US 2010/0165307A1 describe un sistema de visualización de imágenes por láser con moteado reducido. El sistema de visualización comprende una fuente de luz láser y un integrador óptico. La fuente de luz comprende un único láser rojo, un único láser verde y un único láser azul. La luz de los láseres se envía, a través de un deflector de haz, a un integrador óptico. El integrador óptico incluye, en un punto dentro de su longitud, un elemento que difunde la luz. Este sistema utiliza un tiempo promedio de patrones de moteado como resultado de diferentes cantidades de deflexión del rayo láser. Un inconveniente de este planteamiento es que se generan diferentes ángulos secuencialmente controlando el movimiento del deflector del haz. Esto plantea un grave riesgo para la seguridad ocular con un alto brillo del proyector, ya que toda la luz en un momento determinado parece originarse en un solo punto en la apertura de la lente de proyección. Además, es probable que ocurran efectos negativos cuando se usan con ciertos tipos de moduladores de luz que son excitados por la modulación por anchura de impulsos (por ejemplo, conjuntos de microespejos). Podrían ocurrir efectos de solapamiento dentado entre el esquema de anchura por impulsos (PWM) y el movimiento del deflector de haz, a no ser que ambos estén sincronizados. Pero si están sincronizados, solo los ángulos de deflexión específicos serán objeto de muestreo por el modulador de luz y se logrará una reducción limitada del moteado.

25 El documento US 2009/139865 propone la combinación de fuentes de luz de conjuntos láser con un perfil de haz gaussiano circular superpuesto en el campo lejano, un integrador único y un dispositivo de cambio temporal de la fase óptica. Las desventajas de este planteamiento son la larga longitud del recorrido óptico y el preciso alineamiento requerido para cumplir la condición del campo lejano superpuesto.

35 En el libro de J. W. Goodman, "Speckle phenomena in optics: theory and applications", Roberts and Company Publishers (2007), se identifican tres métodos fundamentales para reducir el moteado dentro del proyector. Concretamente: diversidad angular, diversidad de longitud de onda y diversidad de polarización.

40 El uso de un deflector de haz o dispositivo óptico de cambio de fase da como resultado la reducción del moteado por diversidad angular. Sin embargo, para los sistemas de proyección prácticos de alta gama, este planteamiento por sí solo no puede proporcionar el nivel deseado de reducción del moteado. Los límites de tamaño y aceptación angular de las válvulas de luz comerciales restringen la cantidad de diversidad angular que se puede introducir. En el documento US 2009/139865 se sugiere el uso combinado con la diversidad de polarización, pero se reconoce que este método no puede utilizarse para la proyección estereoscópica basada en la polarización.

45 En el documento WO 2008/118313 A1 se describen otros sistemas convencionales de visualización de imágenes.

Compendio de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar una fuente de luz como se define en la reivindicación 1 independiente para un sistema proyector, y un método para operar la fuente de luz, así como un sistema proyector como se define en la reivindicación 22 independiente que proporciona:

- i. un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie de un modulador de imagen, y
- 50 ii. en cada punto de la superficie del modulador de imagen, un llenado más uniforme del espacio angular disponible.

Las realizaciones de la presente invención usan una fuente de luz láser para su uso con un modulador de imagen, emitiendo luz la fuente lumínica con múltiples longitudes de onda para al menos un color primario, y un sistema integrador de luz que para cada una de las longitudes de onda está adaptado para proporcionar:

- i. un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie del modulador de imagen, y
- ii. en cada punto de la superficie del modulador de imagen, un llenado más uniforme del espacio angular disponible.

Estas condiciones se cumplen preferiblemente en cada instante o, si hay variaciones con el tiempo, ocurren a una frecuencia que está por encima de la frecuencia que el ojo humano puede distinguir.

- 5 En particular, un sistema proyector está provisto de una fuente de luz láser con múltiples longitudes de onda para al menos un color primario y un sistema integrador de luz, teniendo el sistema integrador de luz unos integradores primer y segundo, por lo que, para cada una de las longitudes de onda:

10 el primer integrador está adaptado para recibir luz de la fuente de luz láser y proporcionar un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie de la salida del integrador, pasando la luz de la fuente de luz láser a través del primer integrador para que la distribución de la luz se transforme para llenar toda la sección transversal del extremo del primer integrador, encontrándose la luz láser que emerge del primer integrador en un número discreto de ángulos con espacios angulares, y el segundo integrador recibe luz del primer integrador y está adaptado de manera que al menos algunos de los espacios se llenen.

15 Preferiblemente, se llena todo el espacio angular. La luz puede experimentar una serie de reflexiones diferenciadas en el primer integrador; por ejemplo, si el primer integrador es una barra.

Las múltiples longitudes de onda pueden ser generadas por múltiples emisores láser o las múltiples longitudes de onda pueden ser generadas, por ejemplo, por múltiples equipos láser.

20 Preferiblemente, las condiciones de brillo uniforme y llenado uniforme del espacio angular disponible se cumplen en cada momento en el tiempo o, si hay variaciones con el tiempo, ocurren a una frecuencia que está por encima de la frecuencia que el ojo puede distinguir.

25 El modulador de imagen puede ser un modulador analógico o digital. El modulador puede ser reflectante, como el procesamiento digital de luz (DLP) o el cristal líquido sobre silicio (LCOS); transmisor, como los paneles de cristal líquido. Los elementos individuales del modulador se pueden encender, apagar o pueden tener un valor en algún punto entre encendido y apagado, dependiendo de la cantidad de luz que se requiere emitir, transmitir o reflejar en esa ubicación de píxeles. Cuando se usa un modulador de imagen que es excitado por modulación por anchura de impulsos, cualquiera de tales variaciones con el tiempo se produce, preferiblemente, a una frecuencia que es mayor que la frecuencia de modulación más alta.

En las realizaciones de la presente invención, las fuentes de luz láser con múltiples longitudes de onda para al menos un color primario se pueden separar por $> 0,5$ y < 2 nm.

- 30 En algunas realizaciones, el sistema integrador de luz puede ser un sistema integrador dual que usa al menos un elemento difusor, tal como un difusor o elemento difractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos o un elemento holográfico entre un primer elemento integrador y un segundo elemento integrador.

35 El elemento difusor, tal como un difusor o un elemento difractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos o un elemento holográfico, puede ser estacionario o móvil. El número de emisores láser individuales que contribuyen a cada longitud de onda es preferiblemente lo suficientemente elevado como para que el elemento difusor —tal como un difusor o un elemento difractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos o un elemento holográfico— pueda ser estático.

40 En algunas realizaciones, la fuente de luz láser puede emitir dos polarizaciones ortogonales para al menos un color primario y el sistema integrador de luz está adaptado de tal manera que para cada una de las direcciones de polarización:

- i. se logra un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie del modulador de imagen
- ii. en cada punto de la superficie del modulador de imagen, se logra un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible.

45 Preferiblemente, el brillo sustancialmente uniforme se logra en toda la superficie del modulador de imagen y en cada punto de la superficie del modulador de imagen se logra un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible en cada instante.

En las reivindicaciones adjuntas se detallan realizaciones adicionales de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

50 Se describirán realizaciones de la invención, únicamente a título de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 muestra un aparato de fuente de luz que comprende una combinación de un conjunto de módulos láser del mismo color primario con varias longitudes de onda diferentes según una realización que no forma parte de la invención;

la Figura 2a ilustra las deficiencias de una configuración de integrador único;

5 la Figura 2b ilustra una realización de la presente invención que usa un integrador de lente múltiple;

la Figura 3 muestra un sistema de proyección;

la Figura 4 muestra detalles de una fuente de luz láser para un sistema de proyección de este tipo que utiliza al menos un láser para un color primario o un conjunto de láseres para cada color primario;

10 la Figura 5 muestra la división del espectro en áreas con una separación mínima de longitud de onda $\Delta\lambda_{\min}$ y una distribución espectral típica obtenida de una pluralidad de láseres que funcionan en longitudes de onda con tal separación mínima;

la Figura 6 ilustra cómo se puede determinar la uniformidad con realizaciones que no forman parte de la presente invención;

la Figura 7 ilustra las dimensiones de un integrador de barra;

15 la Figura 8a muestra una disposición de emisores láser en un equipo según una realización de la presente invención;

la Figura 8b muestra una disposición de emisores láser con polarizaciones en un equipo según una realización de la presente invención;

la Figura 9 ilustra la diversidad angular;

20 la Figura 10 muestra un aparato de fuente de luz según una realización de la invención con dos elementos integradores;

la Figura 11 muestra cómo la uniformidad espacial y la uniformidad angular evolucionan opcionalmente entre las diferentes etapas con dos elementos integradores según una realización de la invención.

Descripción de realizaciones preferidas

25 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos, sino únicamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, con fines ilustrativos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala. Cuando la expresión "que comprende" se usa en la presente descripción y en las reivindicaciones, no excluye otros elementos o etapas. Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras secuencias distintas de las descritas o ilustradas en el presente documento.

30 Con referencia a realizaciones que no forman parte de la invención, se describirá un ejemplo de un aparato de fuente de luz con referencia a la Figura 1. Las fuentes 24 de luz dirigen haces 25 de luz, por ejemplo, a través de una lente 28 hasta un conjunto integrador 30 que comprende un elemento integrador 31 y un elemento difusor 32 de luz. El elemento integrador 31 se denominará (pre)homogeneizador, ya que proporciona un punto de luz sustancialmente homogéneo con una forma deseada (por ejemplo, la forma del modulador de imagen). Una vez que la luz entra en un elemento integrador, como una barra o varilla 31, permanece dentro de los límites de la varilla debido a la reflexión de las paredes longitudinales de la barra o varilla. Las diferentes longitudes de onda indican diferentes longitudes de onda para el mismo color primario. Se pueden combinar diferentes colores primarios utilizando espejos dicróicos.

35 Una fuente de luz emite una pluralidad de longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \dots$. Las diferentes longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ son emitidas desde diferentes equipos láser. Por ejemplo, cada equipo puede incluir una serie de emisores, pero esos emisores suministrarán sustancialmente luz láser a la misma longitud de onda. La óptica 28 (por ejemplo, una lente) de combinación de haces junta los haces de luz lo más cerca posible entre sí. Los haces se pueden enfocar en el mismo punto (por ejemplo, en un primer elemento difusor 32), pero luego habrá una separación angular. La separación angular más pequeña entre dos equipos láser es β_1 . Entre equipos de la misma longitud de onda (por ejemplo, λ_1) la separación angular es mayor: β_2 . Si consideramos un punto x a la salida del homogeneizador 31, entonces la luz del punto de enfoque en la entrada del homogeneizador 31 alcanzará el punto x después de varios reflejos discretos. Como resultado, los rayos de luz en el punto x tendrán una separación angular θ_1 . Todas las diferentes longitudes de onda se pueden representar en estos ángulos discretos, siempre que el elemento difusor 32 en la entrada del homogeneizador 31 proporcione una extensión angular suficiente para generar los ángulos entrantes correspondientes para cada longitud de onda.

Es posible lograr la reducción del moteado con un solo difusor 32 y una sola barra integradora 31. Sin embargo, la longitud L de la barra 31 debería ser muy grande para garantizar que la separación angular θ_1 es lo suficientemente pequeña como para generar una separación angular en la pantalla que sea más pequeña que la separación mínima requerida para maximizar la reducción del moteado a través de la diversidad angular. Obsérvese que existe un factor fijo de ampliación entre la separación angular a la salida de la barra y la separación angular en la pantalla de proyección determinado por la óptica del proyector y la lente de proyección.

Si todos los láseres del conjunto son de la misma longitud de onda, entonces sería suficiente que el difusor pueda llenar el espacio angular β_1 , pero si se utilizan diferentes longitudes de onda, entonces el difusor necesitaría ser lo suficientemente potente como para llenar al menos el espacio angular β_2 . Entonces se hace imposible definir un difusor de modo que cada longitud de onda llene completamente el espacio angular disponible del sistema óptico del proyector y no difunda ninguna luz fuera de este espacio angular. Por lo tanto, se debe alcanzar una solución de compromiso entre maximizar la eliminación del moteado y maximizar la eficiencia óptica. Estos efectos se pueden minimizar si se aumenta la distancia D , pero esto aumenta la longitud del recorrido del sistema óptico y hace que el alineamiento sea mucho más crítico.

Si el punto de luz en la entrada de la barra integradora 31 no es una fuente puntual, sino que cubre una parte sustancial de la superficie, entonces el espacio angular θ_1 será reducido. Los rayos de luz en diferentes posiciones de entrada alcanzarán el punto x en ángulos ligeramente diferentes después de varios reflejos discretos.

Las Figuras 2a y 2b ilustran cómo pueden superarse las deficiencias de una configuración de integrador único mediante realizaciones de la presente invención. Si la salida del integrador 31 se representara en el modulador de luz (como se muestra, por ejemplo, en 60), la luz parecería originarse a partir de varias fuentes aparentes dispuestas en un plano virtual. Si el elemento 60 de la Figura 2a es un modulador de luz, y si se observa un cierto punto del modulador de luz, solo algunos rayos de luz discretos están iluminando el modulador de luz y hay espacios angulares entre esos rayos de luz. Cuanto más larga sea la barra integradora, más fuentes aparentes estarán presentes en este plano virtual y más estrechos serán los espacios angulares.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan soluciones a los problemas mencionados anteriormente. Según las realizaciones de la presente invención, se coloca un segundo elemento integrador después del primer integrador 31. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2a, la salida del primer integrador 31 se dirige al elemento 60, que en las realizaciones de la presente invención es un segundo difusor, y de allí a un segundo integrador. La Figura 2b ilustra una realización de la presente invención que usa un integrador de lente múltiple, en el que el rayo láser entra en un primer difusor 32 y luego, a través de un integrador de lente múltiple, en un segundo difusor 34 y desde allí a un elemento integrador adicional, tal como una barra o una varilla transparente u otro integrador de lente múltiple. Por lo tanto, la presente invención incluye un sistema integrador de dos etapas, por lo que cada elemento integrador puede ser cualquiera de una barra, una varilla transparente y un integrador de lente múltiple. Cuando se usa un único sistema integrador de lente múltiple, se pueden hacer consideraciones similares con respecto a la existencia de un número discreto de fuentes aparentes en un plano virtual y espacios angulares entre los rayos de luz que iluminan un cierto punto del modulador de luz.

Según realizaciones de la presente invención, cuando se usan diferentes longitudes de onda, entonces el elemento difusor —tal como un difusor o un elemento difractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos o un elemento holográfico— proporciona una extensión angular suficiente para llenar al menos el espacio angular β_2 mostrado en la Figura 1.

La Figura 3 muestra esquemáticamente un sistema 5 de proyección con el que puede usarse la presente invención, que comprende un proyector 10 y una superficie 20 de visualización en la que se forma una imagen. La superficie de visualización puede ser una pantalla de visualización o alguna otra superficie, como la fachada de un edificio o agua. El proyector 10 puede ser cualquier proyector adecuado. Puede comprender, por ejemplo, un aparato 12 de fuente de luz, un modulador 14 de luz y un conjunto 16 de lentes de proyección. El aparato 12 de fuente de luz genera un haz 13 de luz para iluminar el modulador 14 de luz. El modulador 14 de luz puede ser un modulador de luz espacial o válvula de luz; por ejemplo, puede comprender un conjunto bidimensional de elementos moduladores de luz, también llamados elementos de válvula de luz. Cada elemento de válvula de luz puede corresponder a un píxel de la imagen que se mostrará y puede controlarse individualmente para permitir que una cantidad de luz pase o se refleje a través de ese elemento. En dicho modulador de luz espacial, cada elemento de válvula de luz puede corresponder a más de un píxel de la imagen que haya de mostrarse. Por ejemplo, el modulador de luz se puede controlar, por ejemplo, mediante una rotación oscilante para permitir que una cantidad de luz pase/se refleje desde un elemento de píxeles hacia unas direcciones primera y segunda, por ejemplo, para proyectar un píxel en la mitad de una imagen y en la otra mitad en diferentes momentos. Normalmente, cada elemento de válvula de luz se controla a través de un intervalo de valores de intensidad (por ejemplo, 256) entre “encendido” y “apagado” para proporcionar un intervalo de valores de escala de grises. Tal control puede incluir modulación por anchura de impulsos. El modulador 14 de luz puede usar una tecnología transmisiva, tal como paneles de cristal líquido, en los que los elementos individuales se encienden, apagan o tienen un valor en algún punto entre encendido y apagado, dependiendo de la cantidad de luz que se requiera transmitir en esa ubicación de píxeles. Alternativamente, el modulador 14 de luz puede usar una tecnología reflectante, tal como procesamiento digital de luz (DLP) o cristal líquido sobre silicio (LCOS).

5 Ventajosamente, el haz 13 de luz tiene una distribución de intensidad uniforme en toda la superficie del modulador 14 de luz. La presente invención es particularmente útil con haces de luz coherentes, tales como los obtenidos a partir de láseres. En realizaciones de esta invención, la fuente 12 de luz comprende al menos una fuente de luz láser capaz de emitir haces de alta intensidad de uno o más colores primarios o un conjunto de fuentes de luz láser que son capaces de emitir haces de alta intensidad de uno o más colores primarios. A continuación se describirán en detalle ciertas fuentes 12 de luz.

El proyector también comprende un controlador 18 que controla el funcionamiento de la fuente 12 de luz y del modulador 14 de luz. El controlador puede suministrarse como un componente separado.

10 El proyector puede comprender tres o más conjuntos de aparatos 10 dispuestos en paralelo: un conjunto para cada uno de los colores primarios (por ejemplo, rojo, verde, azul o más), o puede usarse el mismo conjunto de aparatos 10 para emitir secuencialmente cada uno de los colores primarios, es decir, rojo, luego verde, luego azul o más. Para obtener efectos especiales o para proporcionar gamas de colores extendidas, se pueden usar más colores primarios. El número de colores primarios puede ser tres, cuatro, cinco o más.

15 En realizaciones, se proporcionan implementaciones de múltiples chips y de un solo chip. En una implementación de múltiples chips, las partes pueden ser comunes y las partes pueden ser por primario. Combinaciones útiles son, por ejemplo:

- Tres o más fuentes de luz láser, un integrador, un modulador y los colores primarios se proyectan en una secuencia de tiempo,
- Tres o más fuentes de luz láser, tres o más integradores, tres o más moduladores,
- 20 • Tres o más fuentes de luz láser, un integrador, tres o más moduladores.

Por ejemplo, en una realización preferida de la presente invención, se proporciona una arquitectura de tres chips, en la que todos los láseres se combinan en un haz blanco, y en la se realiza la homogeneización para todos los colores al mismo tiempo. En este caso, se utiliza un divisor y un combinador de colores para dividir la luz en tres chips diferentes y recombinar las tres imágenes de un solo color en una imagen de tres colores.

25 Según las realizaciones de la presente invención, la reducción del moteado ocurre dentro de un único primario, ya que la reducción o eliminación del moteado debe hacerse promediando patrones de moteado no correlacionados para cada color primario.

30 La Figura 4 muestra esquemáticamente un aparato 12 de fuente de luz. En una realización, por ejemplo, los tres o más colores primarios se pueden combinar en un solo integrador. Por ejemplo, se pueden combinar usando espejos dicróicos, de modo que los haces estén superpuestos y no uno al lado del otro. En otra realización, se puede usar un integrador por color. El aparato 12 de fuente de luz proporciona tres o más colores primarios. En al menos algunas realizaciones, hay una pluralidad de longitudes de onda de luz láser para cada color primario. Para cada color primario, las varias longitudes de onda están desplazadas entre sí en longitud de onda. La Figura 4 muestra una fuente 21 de luz láser para un color primario (rojo) que emite X longitudes de onda separadas en la banda roja; una fuente 22 de luz láser para otro color primario (verde) que emite longitudes de onda separadas Y en la banda verde, y una fuente 23 de luz láser para otro color primario (azul) que emite longitudes de onda separadas Z en la banda azul. Por ejemplo, se pueden proporcionar X intervalos de longitud de onda relativamente estrecha, por ejemplo <1 nm; véase también la Figura 5. La separación entre las diferentes longitudes de onda es preferiblemente no menor que el ancho del espectro de un láser y no menor que 0,5 nm en caso de un ancho espectral muy estrecho por láser. Los valores de los enteros X, Y y Z pueden ser iguales, pero no tienen que ser iguales. El recuadro 26 muestra cómo están desplazadas el conjunto de X longitudes de onda en la banda roja.

35 Aunque cada longitud de onda se muestra como una sola línea vertical, en realidad tendrá una cierta distribución espectral alrededor de la longitud de onda central. En la Figura 4, una fuente 21, 22, 23 de luz primaria es mostrada esquemáticamente como una única caja. Cada fuente 21, 22, 23 de luz puede comprender varios equipos láser. Los equipos se pueden disponer en un conjunto. Cada equipo puede emitir luz en una de las longitudes de onda (por ejemplo, λ_1) Cada equipo puede emitir múltiples haces a la misma longitud de onda, para aumentar la intensidad de la luz. Para aumentar aún más la intensidad de la luz, se pueden agregar múltiples equipos de la misma longitud de onda. Para maximizar el efecto de eliminación del moteado, la potencia óptica para las diferentes longitudes de onda es preferiblemente sustancialmente igual.

50 El aparato 12 de fuente de luz está dispuesto para generar una pluralidad de elementos no correlacionados —por ejemplo, patrones de moteado independientes— que, cuando se superponen en el espacio y/o el tiempo, reducen el moteado observado. En realizaciones en las que el aparato de fuente de luz contiene múltiples longitudes de onda para al menos un color primario, los patrones de moteado independientes se logran mediante el uso del integrador 30, de tal manera que para cada una de las longitudes de onda:

55 iii. se logra un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie del modulador 14 de imagen, y

iv. en cada punto de la superficie del modulador 14 de imagen, se logra un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible.

Preferiblemente, el brillo sustancialmente uniforme se logra en toda la superficie del modulador de imagen y en cada punto de la superficie del modulador 14 de imagen se logra un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible en cada instante.

La uniformidad sustancial (es decir, la amplitud) puede definirse por la amplitud A de la luz con longitud de onda λ_i (véase la Figura 6), que se dice que es uniforme a través de una superficie de salida de un elemento integrador, como una barra de integración (en particular, el prehomogeneizador) o a través de una válvula de luz (DLP, LCOS...) si la diferencia entre su valor más alto A_0 y su valor más bajo A_1 alcanzado por A en toda dicha superficie no supera el 30% de su valor más alto A_0 (es decir, $A_1 > = 0,7 A_0$).

Con referencia a la Figura 7, si llamamos W y H a la anchura y a la altura de la barra integradora (por lo que, si la barra integradora se ahúsa, W y H se toman en la superficie de salida), entonces W , H y L (longitud de la barra) y r se definen como sigue:

Se obtiene una uniformidad sustancial tal como se definió anteriormente para una relación suficiente (r) de L/W . Preferiblemente, la relación L/W es mayor que 7,5, lo que permite lograr la uniformidad requerida. Se pueden usar otros medios para mejorar la uniformidad de amplitud. Por ejemplo, distribuir la fuente de luz con las diversas λ_i tan uniformemente como sea posible a la entrada del prehomogeneizador (véanse, por ejemplo, las Figuras 8a o b para un conjunto distribuido de fuentes).

En el caso de un integrador de lente múltiple, se puede obtener una uniformidad sustancial utilizando un número suficientemente alto de elementos de lente para muestrear el haz de luz. Preferiblemente, el número de elementos de lente que muestrean el haz de luz es mayor que 45.

En algunas realizaciones con una pluralidad de fuentes de luz láser para cada color primario, se logran patrones de moteado más independientes optimizando una combinación de diversidad de longitud de onda y diversidad angular en el integrador 30 —por ejemplo, mediante el uso de un difusor o un elemento refractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos móviles—, pero en una realización preferida de la presente invención, se logra un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible con un difusor o un elemento refractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos estacionarios cuando se usa una gran cantidad de emisores láser incoherentes.

Antes de describir las realizaciones del integrador, se ofrecerá una visión general de dos técnicas para generar patrones de moteado independientes: diversidad angular y diversidad de longitud de onda. Una tercera técnica, la diversidad de polarización, también se puede utilizar en situaciones en las que la polarización no se utiliza para separar las imágenes del ojo izquierdo/derecho en un sistema de proyección estereoscópica. La diversidad de polarización se describe más adelante.

La reducción del moteado puede lograrse formando una pluralidad de fuentes de luz mutuamente incoherentes. Cada fuente aporta un patrón de moteado y estos patrones de motas múltiples, cuando se combinan (promedian), dan como resultado un patrón de moteado general con un contraste reducido. Dos patrones de moteado son independientes si, para cada punto, no hay correlación entre las intensidades de ambos patrones. El moteado se comporta como un fenómeno estadístico, lo que significa que el contraste de moteado de la suma de N^2 patrones de moteado independientes es N veces menor que el contraste de moteado de cada uno de los patrones moteados individuales, siempre que las intensidades medias de estos patrones moteados individuales sean iguales. El promedio puede lograrse mediante la superposición de varios patrones de moteado independientes al mismo tiempo, o mostrando los patrones de moteado independientes secuencialmente dentro del tiempo de integración del ojo.

Diversidad angular

Esta técnica reduce la coherencia espacial de la fuente de luz. De esta manera, la pantalla se ilumina desde diferentes ángulos mediante emisores incoherentes (de ahí la diversidad angular). Esto se puede lograr utilizando láseres mutuamente incoherentes (de la misma longitud de onda) o rompiendo la coherencia de un solo rayo láser, o ambas cosas al mismo tiempo. Una forma de lograr la diversidad angular es usar un difusor o un elemento refractivo un o conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos móviles en el sistema de iluminación del proyector o una fuente con múltiples láseres incoherentes, pero son posibles otras soluciones.

La reducción del moteado puede lograrse utilizando una gran cantidad de emisores incoherentes. Una condición adicional es que los ángulos de incidencia en la pantalla de todas estas fuentes de luz tienen que estar suficientemente esparcidos porque, de lo contrario, los patrones de moteado generados por diferentes emisores se correlacionarán entre sí. Los cálculos teóricos muestran que la separación angular mínima de ambas fuentes depende del espectador y de su posición con respecto a la pantalla. Por lo tanto, la separación angular de las fuentes debe ser mayor que la apertura numérica del observador, como se explica en el libro de J. W. Goodman, "Speckle phenomena in optics: theory and applications", Roberts and Company Publishers (2007), páginas 181-185. Esto se ilustra en la Figura 9.

Los patrones de moteado solo serán independientes cuando provengan de ángulos suficientemente diferentes: $\text{sen } \zeta \geq P/2z \approx \text{NA}_{\text{imagen}}$. $\text{NA}_{\text{imagen}}$ es la apertura numérica de la pupila del ojo del observador.

Para aprovechar al máximo la diversidad angular, se deben maximizar los ángulos de la luz que llega a la pantalla. Esto tiene algunas implicaciones en el diseño de un proyector láser. La apertura de la lente de proyección limita el espacio angular que está disponible para la supresión del moteado y la apertura numérica del espectador está determinada por la distancia entre el espectador y la pantalla, que es un parámetro fijo dependiendo de la aplicación. La reducción máxima del contraste del moteado está determinada por la cantidad de veces que la apertura numérica del espectador se ajusta dentro del ángulo sólido subtendido por la apertura de la lente de proyección. Al mismo tiempo, los ángulos en la pantalla están relacionados con los ángulos en el chip de la válvula de luz divididos por el aumento proporcionado por la lente de proyección; por lo tanto, este es un parámetro fijo para una determinada aplicación. Por lo tanto, para un tamaño de pantalla fijo, una posición relativa fija del espectador desde la pantalla, un cierto tamaño de válvula de luz y un ángulo máximo aceptado por la válvula de luz, está completamente definida la cantidad de reducción del moteado que se puede lograr al máximo por la diversidad angular.

Tan pronto como se obtenga la máxima reducción del moteado en un proyector con una técnica basada en la diversidad angular, no tendrá ningún efecto otra técnica de la misma clase. Supongamos que uno ha construido un proyector láser con un solo emisor láser y, mediante un difusor o un elemento refractivo o un conjunto de lentes o un conjunto de prismas refractivos móviles en el sistema de iluminación, se obtiene su máxima supresión del moteado. En ese caso, uno no puede reducir aún más el moteado subjetivo agregando más emisores de la misma longitud de onda.

En las realizaciones de la presente invención, la supresión del moteado por diversidad angular se maximiza dentro del espacio angular disponible aceptado por el modulador 14 de luz y la óptica del proyector (extensión del proyector) llenando este espacio angular uniformemente o de la manera más uniforme posible. Esto garantiza que el espacio angular entre los diferentes componentes angulares es lo suficientemente pequeño como para garantizar que ζ para las posiciones relevantes del espectador es igual o menor que la condición de separación mínima mencionada anteriormente.

Diversidad de longitud de onda

Esta técnica suprime el moteado mediante el uso de una fuente con un amplio espectro. Los patrones de moteado de dos fuentes de luz monocromática de una longitud de onda diferente ($\lambda - \Delta\lambda/2$ y $\lambda + \Delta\lambda/2$) serán diferentes, lo que reduce el moteado. Sin embargo, existe un límite inferior para que $\Delta\lambda$ obtenga patrones de moteado independientes, como se explica en el libro de J. W. Goodman, "Speckle phenomena in optics: theory and applications", Roberts and Company Publishers (2007), páginas 153-160. La separación mínima $\Delta\lambda_{\text{min}}$ depende de λ^2 y de la fluctuación σ_h de la altura de la superficie de la pantalla: $\Delta\lambda_{\text{min}} = \lambda^2 / (2\pi \sqrt{2} \sigma_h)$. $\Delta\lambda_{\text{min}}$ depende del tipo de pantalla, aumentando $\Delta\lambda_{\text{min}}$ para longitudes de onda más largas.

En el caso de diodos directos, el láser emite luz visible, de modo que la luz láser se puede utilizar directamente para aplicaciones de proyección. Estos láseres están disponibles actualmente en alta potencia y eficiencia para azul (<488 nm) y rojo (> 630 nm). En el caso del diodo directo, el espectro de un láser ya es relativamente amplio.

El láser directo también se ha logrado en verde (alrededor de 530 nm); sin embargo, estos láseres todavía tienen una potencia de salida y una eficiencia limitadas. En realizaciones de la presente invención, se pueden usar láseres de frecuencia duplicada para verde. En un láser de frecuencia duplicada, la luz de un láser se convierte en luz que tiene el doble de frecuencia (o la mitad de la longitud de onda) de los láseres originales. La duplicación de frecuencia es un proceso óptico no lineal, que requiere altas intensidades de pico de un solo modo. Esto significa que el espectro típico de un láser convertido por frecuencia es muy estrecho. Se pueden considerar dos tipos de láser de frecuencia duplicada; por ejemplo, un láser de estado sólido bombeado por diodos —en el que el medio de ganancia es un cristal— y láseres semiconductores —en los que el medio de ganancia es una estructura de capa semiconductor bombeada eléctrica u ópticamente—.

El primer tipo de láseres duplicados en frecuencia es el grupo de láseres de cristal dopados con Nd (por ejemplo, Nd:YAG), que emiten luz láser en frecuencias IR. Un láser Nd:YAG solo puede emitir luz láser en algunas longitudes de onda limitadas, de las cuales 946 nm y 1064 nm pueden usarse para construir láseres visibles. Estas longitudes de onda se pueden convertir en 473 nm y 532 nm, respectivamente. Otras posibilidades para, por ejemplo, el verde son los 1064 nm de Nd:YVO4 y 1047 nm o 1054 nm de Nd:YLF. Como solo se pueden generar estas longitudes de onda bien definidas, la diversidad de longitudes de onda es limitada.

Un segundo tipo está formado por láseres de semiconductores IR, que luego se duplican en luz visible. Aunque cada uno de estos láseres tiene un espectro muy estrecho del orden de 0,1 nm de anchura, es técnicamente posible diseñar estos láseres de manera que la longitud de onda central de un láser con respecto al otro cambie como se describe en el documento US 6.975.294, que se incorpora aquí por referencia.

La Figura 5 muestra que la reducción del moteado puede mejorarse utilizando múltiples láseres que tienen diferentes longitudes de onda centrales si la diferencia entre las longitudes de onda centrales es mayor que $\Delta\lambda_{\text{min}}$. En la Figura

5 las líneas punteadas indican la separación mínima $\Delta\lambda_{\min}$, mientras que las líneas continuas indican la forma del espectro de cada uno de los espectros láser.

El parámetro $\Delta\lambda_{\min}$ depende de las propiedades de la pantalla. En función de experimentos en varias pantallas típicas, se ha encontrado que la separación de las longitudes de onda adyacentes debería estar ventajosamente en el intervalo entre 0,5 y 2 nm, pero también puede ser mayor que 2 nm. Tan pronto como la separación láser sea igual a este valor, se obtendrá una reducción del moteado de $\Delta\lambda_{\min}$ por diversidad de la longitud de onda. Dos láseres que tengan una dispersión mucho más amplia también generarán el mismo contraste de moteado, pero no es fácil obtener una dispersión > 6 nm con las tecnologías de semiconductores actuales para el verde, y en segundo lugar una dispersión demasiado amplia dará como resultado colores menos saturados y ya no logrará la reducción del moteado deseada, ya que las diferencias de color entre las 2 longitudes de onda se volverán perceptibles y se percibirá ruido de color.

La diversidad de longitud de onda se utiliza para mejorar la reducción del moteado. Es deseable minimizar el número de longitudes de onda diferenciadas, minimizar el coste del aparato y facilitar la mezcla entre las diferentes longitudes de onda.

Para hacer un uso óptimo de las longitudes de onda que se pueden producir utilizando las tecnologías establecidas de diodos láser y de duplicación de frecuencia y para mantener primarios saturados de banda estrecha, se prefiere que la separación tampoco sea más ancha de lo necesario.

Para minimizar el coste del aparato, es deseable minimizar el número de longitudes de onda diferenciadas y, por lo tanto, tampoco se recomienda hacer que el espacio sea significativamente menor que $\Delta\lambda_{\min}$.

Un ejemplo de fuente de luz utiliza un conjunto de láseres semiconductores. Para la banda roja se utilizan diodos directos y para las bandas verde y azul se utilizan láseres semiconductores de frecuencia duplicada. La ventaja de estos láseres es que es posible obtener un conjunto de láseres con longitud de onda cambiada dentro de un intervalo limitado de 6 y 4 nm, respectivamente. Un conjunto de ejemplos de longitudes de onda es:

Rojo: cinco láseres de 635 nm a 637 nm cambiados en longitud de onda modificando la temperatura de la unión.

Verde: 529,75 nm, 530,70 nm, 531,75 nm, 532,50 nm, 533,75 nm, 534,60 nm.

Azul: 464,20 nm, 456,25 nm, 466,20 nm, 467,20 nm

La diversidad de longitud de onda en verde y azul se ha logrado mediante la sintonización de un cristal de VBG y de uno de duplicación PPLN. Se ha encontrado que la separación de 1 nm en la banda verde ofrece resultados óptimos para la mayoría de las superficies de ganancia 1, como el papel. Como la separación requerida depende del tipo de pantalla, es óptimo sintonizar los láseres dependiendo de la pantalla utilizada. Cuando esto no sea posible, se debe realizar una compensación o alcanzar una solución de compromiso. Por ejemplo, se puede usar la dispersión de 1 nm entre la longitud de onda, aunque una separación ligeramente mayor podría ser mejor (por ejemplo, 1,25 o 1,5 nm) para ciertas pantallas. Para algunas pantallas de cine se descubrió que se pueden preferir separaciones aún mayores de hasta 5 nm.

Las Figuras 8a y b ilustran un ejemplo de cómo se puede disponer un conjunto de 4 longitudes de onda para una fuente de luz que produce un único color primario. Las Figuras 8a y b son una sección transversal de la fuente de luz de la Figura 1. El objetivo es que cada longitud de onda tenga un número igual de fuentes y que su energía esté bien distribuida en todo el espacio angular de la fuente de luz. La distribución de las fuentes de luz de los diferentes primarios no es necesariamente regular. En la Figura 8a, todas las fuentes tienen la misma polarización. En la Figura 8b, las polarizaciones se mezclan. En ambos casos, la mezcla es irregular y no sigue un patrón regular.

Diversidad de polarización

Otra técnica que puede reducir el moteado es la diversidad de polarización. No puede ocurrir interferencia entre dos estados de polarización perpendiculares. La dispersión en muchos materiales de pantalla dará como resultado una despolarización del campo entrante, lo que significa que la reflexión en una superficie difusa de un láser polarizado produce dos patrones de moteado independientes y, por lo tanto, se puede lograr una reducción del moteado en $\sqrt{2}$. En caso de que se utilice una fuente láser no polarizada, se puede obtener un factor adicional $\sqrt{2}$, lo que resulta en la supresión del moteado por un factor 2. Hay algunas condiciones que deben cumplirse para lograr este factor 2. En primer lugar, las propiedades de la pantalla deben ser tales que ambos estados de polarización incidente se dispersen de una manera diferente en la pantalla. Esto puede ser causado por el hecho de que la dispersión de una sola superficie depende de la polarización. En caso de que la superficie sea un dispersor de Lambert, se produce una gran cantidad de dispersión antes de que la luz salga de la pantalla. De esta manera, parece que hay dos pantallas con una estructura de superficie diferente (una para cada estado de polarización). En segundo lugar, no debería haber una relación de fase fija entre los dos estados de polarización que inciden en la pantalla. Tal relación de fase fija puede, por ejemplo, ser causada por el efecto despolarizante de las superficies reflectantes, ya que cada reflexión causará un cambio de fase entre los estados de polarización s y p. Aunque se pierde la polarización lineal, la luz sigue estando polarizada elípticamente. Cuando se cumplen ambas condiciones por completo, se puede lograr la supresión de moteado en un factor de 2. Tan pronto como una de las condiciones se cumpla solo en parte, la supresión del

moteado por la diversidad de polarización será menor. Este factor de reducción de dos en moteado es el máximo que se puede lograr con la diversidad de polarización. En caso de que la pantalla mantenga la polarización, la supresión del moteado está limitada a un factor de $\sqrt{2}$, para una fuente láser no polarizada. Del mismo modo, la reducción del moteado está limitada a $\sqrt{2}$ en caso de que la fuente esté polarizada en combinación con una pantalla despolarizante. La reducción del moteado también se limitará a $\sqrt{2}$ si los dos estados de polarización de la fuente están presentes simultáneamente y están mutuamente correlacionados. Los patrones de moteado con el mismo estado de polarización se sumarían en función de la amplitud en lugar de en función de la estadística. Finalmente, no se logra la supresión del moteado por la diversidad de polarización cuando la pantalla conserva la polarización en combinación con una fuente láser polarizada. Este es, en particular, el caso cuando se utilizan técnicas 3D basadas en la polarización.

En realizaciones de la presente invención, el aparato 12 de fuente de luz está dispuesto para usar los efectos combinados de una pluralidad de técnicas diferentes de reducción del moteado. Para que las tres técnicas tengan efectos acumulativos, la cantidad de luz para cada longitud de onda y cada polarización debe ser uniforme en toda la superficie del modulador 14 de luz y la distribución angular en cada punto de la superficie del modulador de luz debe ser uniforme o serlo lo más uniforme posible.

Realización de diversidad de longitud de onda y angular

En la Figura 10 se muestra una realización de la presente invención. La Figura 10 muestra un integrador 30 que comprende dos elementos integradores 31, 33 y un difusor intermedio 34 o segundo elemento o elemento de refracción o conjunto de lentes o conjunto de prismas de refracción. Esto se llamará "integrador dual". El integrador 30 está adaptado para llenar la extensión del proyector de la manera más uniforme posible, sin dispersar la luz en ángulos más grandes, que no son aceptados por el sistema óptico del proyector y la lente de proyección (lo que conduce a una menor eficiencia de la luz). Los dos elementos integradores 31, 33 están dispuestos secuencialmente a lo largo de una trayectoria de luz entre las fuentes 24 de luz y el modulador 14 de luz. No se muestra que los dos integradores estén en contacto físico entre sí con una óptica de relé en medio para representar la salida del integrador 31 en la entrada del integrador 33 y el elemento difusor 34. Sin embargo, si hay un número suficientemente alto de emisores láser incoherentes, de modo que ya no se requiera el control de movimiento del elemento difusor 34, los dos elementos integradores 31, 33 pueden disponerse de manera que físicamente se conecten entre sí.

En una realización, el primer elemento integrador 31 se denomina prehomogeneizador y está precedido por un primer difusor 32 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos. El primer elemento integrador solo tiene que garantizar que cada longitud de onda se distribuya con intensidad uniforme en toda la superficie de salida. Todavía se pueden aceptar espacios angulares, y el segundo difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos llenará los espacios angulares para cada punto de la cara de entrada del segundo elemento integrador 33. Solo se requieren difusores débiles, minimizando la pérdida de luz. El primer elemento difusor 32 o refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos solo tiene que permitir la mezcla espacial en el prehomogeneizador 31. Se logrará un brillo y una distribución angular completamente uniformes a la salida del segundo elemento integrador 33. En algunas realizaciones se proporcionan suficientes emisores incoherentes de luz láser en cada longitud de onda, de modo que el difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos puede ser estático.

Cuando el número de emisores de luz láser incoherentes en cada longitud de onda es demasiado pequeño para maximizar la reducción del moteado a través de la diversidad angular, entonces el segundo difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos está habilitado para moverse. Este movimiento puede controlarse mediante un controlador 35 de movimiento. Esto introducirá además diferencias de fase aleatorias entre los rayos de luz que afectan a la pantalla en diferentes ángulos. Los difusores o elementos refractivos 32 y 34 son preferiblemente elementos refractivos o difusores holográficos diseñados que tienen un perfil difusor circular plano (o en forma de sombrero). La ventaja de usar difusores diseñados es que reducen la pérdida de luz al evitar que la luz se disperse en ángulos demasiado amplios. Para maximizar la diversidad angular, es ventajoso que la distribución de intensidad a través de la apertura del proyector esté uniformemente llena, de modo que un perfil difusor de sombrero de copa circular puede ser particularmente interesante.

El rayo láser 25 emitido por el láser 24 incide en un primer difusor 32 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos para aumentar la extensión e introducir los ángulos necesarios para permitir la homogeneización del haz. A continuación, la luz de los láseres 24 se homogeneiza en un primer integrador 31. En una realización ventajosa, se usan barras de integración. Luego, la salida uniforme del prehomogeneizador 31 se visualiza en un difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos (o se aplica un difusor a la cara de salida del integrador). Este segundo difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos se selecciona para llenar el espacio angular entre los diferentes rayos reflejados fuera del prehomogeneizador. En la figura, el integrador 31 y/o el integrador 33 tienen una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. En otras realizaciones, el integrador 31 y/o el integrador 33 pueden tener una sección transversal no uniforme a lo largo de su longitud L, tal como un perfil ahusado (truncocónico). Por ejemplo, se puede usar un ahusamiento que sea más ancho en la salida para el primer elemento integrador 31, ya que garantizará además que las fuentes virtuales se coloquen más juntas reduciendo los espacios angulares.

Ventajosamente, la imagen del prehomogeneizador 31 en el difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentillas o conjunto de prismas refractivos coincide con las dimensiones del integrador principal 33 o es ligeramente más pequeña para evitar la pérdida de luz. En el caso de un conjunto apilado de barras de integración, el tamaño de la primera barra 31 puede ser, por ejemplo, ligeramente más pequeño que el de la segunda barra de integración 33 o viceversa. Cuando la primera barra 31 es una barra de integración maciza y la segunda una varilla hueca 33 de luz, la primera encaja en la segunda o viceversa.

El elemento difusor 34 se coloca lo más cerca posible de la entrada del segundo integrador, nuevamente para minimizar la pérdida de luz.

En realizaciones preferidas de la presente invención, el elemento difusor 32 es estacionario, mientras que el elemento difusor 34 puede ser estacionario o móvil para introducir variaciones de fase aleatorias entre la luz incidente en diferentes posiciones en el elemento difusor. Ventajosamente, dicho movimiento está en el plano perpendicular al eje longitudinal 13 o al rayo láser y puede controlarse mediante un controlador 35 de movimiento.

Ventajosamente, las superficies de difusión de los difusores o elementos 32, 34 de refracción se seleccionan de manera que la distribución angular y la intensidad resultantes sean uniformes (W/sr) sustancialmente en toda la extensión del proyector. Se pueden usar difusores, conjuntos de lentes, conjuntos de prismas u otros componentes de refracción o difracción de diseño. Distribuciones menos uniformes también pueden dar como resultado una supresión satisfactoria del moteado.

Los dos elementos integradores 31, 33 tienen preferiblemente una forma o relación r diferente. En las realizaciones de la presente invención, se puede hacer uso de un prehomogeneizador que sea ahusado, mientras que el segundo integrador es una barra recta. Cuando la forma y la relación r de los integradores 32 y 33 son idénticas, las propiedades de difusión de la luz del elemento difusor 34 deben seleccionarse para evitar la formación de imágenes de la entrada del integrador 32 en la salida del integrador 33.

Con referencia a las Figuras 10 y 11, con un difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentillas o conjunto de prismas refractivos estáticos y un solo haz de láser, en la entrada del integrador óptico habrá un pequeño punto desde el cual se emite luz en un intervalo continuo de ángulos $\pm \theta$. Mediante una serie de reflexiones diferenciadas en la primera parte del integrador óptico, esa distribución de la luz se transformará para llenar toda la sección transversal del integrador en la posición del difusor 34 o elemento refractivo o conjunto de lentillas o conjunto de prismas refractivos; la energía de la luz se igualará sustancialmente a través de esta sección transversal; los ángulos seguirán estando entre $\pm \theta$. Sin embargo, en cualquier posición seleccionada, la luz será incidente solo en un número discreto de ángulos (en el caso de un integrador de barra definido, por ejemplo, por el número de reflejos y el tamaño del punto de luz en la entrada). Para una longitud limitada de la barra integradora, este número de ángulos discretos será bastante limitado. Mediante la operación difusa 34 del difusor o elemento refractivo o conjunto de lentillas o conjunto de prismas refractivos, estos espacios se pueden llenar y se puede llenar todo el espacio angular. Sin embargo, dado que todos los rayos de luz son originados por una sola fuente láser, los rayos en diferentes ángulos tienen una relación de fase fija.

La Figura 11 muestra una realización del conjunto integrador 30 según la invención. El conjunto integrador comprende o consiste en elementos integradores 31 y 33 con una óptica de formación de imágenes en medio para formar una imagen de la salida del prehomogeneizador 31 en la entrada del homogeneizador 33. Un difusor se coloca preferiblemente delante de cualquier o de cada elemento integrador. Por ejemplo, un segundo difusor 34 puede ser opcionalmente amovible, pudiendo ser estático el primer difusor 32.

En la parte inferior de la Figura 11 se muestran 2 gráficos para diferentes posiciones a lo largo del conjunto integrador 30. En el gráfico superior se ilustra cómo se distribuye la intensidad de la luz a través de la sección transversal del conjunto integrador, mientras que los gráficos inferiores muestran el ángulo distribución de la luz en el punto central de la intersección. El gráfico superior muestra la intensidad de luz I , que representa la energía total promediada sobre los diferentes ángulos entre las posiciones $-d$ y $+d$ a través de la sección transversal del conjunto integrador. El gráfico inferior muestra la intensidad de la luz I en una dirección angular muy específica para ángulos entre $+\theta$ y $-\theta$, representando los ángulos $\pm \theta$ los ángulos limitantes de aceptación angular del sistema óptico de los proyectores. Este ángulo θ está determinado por la extensión aceptada por el modulador de luz o válvula de luz. El ángulo θ puede mantenerse más pequeño de lo requerido por el modulador de luz o la válvula de luz para mejorar el diseño óptico; por ejemplo, en términos de relación de contraste.

En la entrada del conjunto integrador inciden varios rayos láser; su tamaño de punto es muy pequeño y, por lo tanto, la intensidad se concentra en un pequeño punto alrededor del eje óptico. Aquí se muestran tres rayos láser diferentes con una separación angular β . Se pueden agregar más módulos, de la misma longitud de onda, pero también de diferentes longitudes de onda como se ilustra en la Figura 1, siendo entonces β_1 la separación angular entre módulos adyacentes y siendo β_2 la separación angular entre módulos adyacentes de la misma longitud de onda. Sin embargo, todos los módulos deben combinarse en un espacio angular que sea más pequeño que $\pm \theta$.

En ausencia del primer difusor 32, el prehomogeneizador 31 produciría menos homogeneización cuando los rayos láser están bien colimados. El rayo láser orientado a lo largo del eje óptico pasaría directamente, los otros dos rayos

saldrían después de un número discreto de reflexiones del prehomogeneizador en una posición definida y bajo los mismos ángulos. El primer difusor 32 distribuirá la luz láser a través de un intervalo más amplio de ángulos de manera que tenga lugar una mejor homogeneización en el prehomogeneizador. Idealmente, el difusor llenará sustancialmente el espacio angular disponible para cada longitud de onda. Preferiblemente, el difusor tiene una distribución de sombrero de copa y una intensidad de difusión suficiente para llenar el espacio angular entre los emisores láser en diferentes equipos de la misma longitud de onda. Suponiendo que todos los emisores produzcan aproximadamente el mismo brillo, esto es suficiente para garantizar que se llena el espacio angular completo para cada longitud de onda.

Esto significa que el ángulo máximo mitad de anchura total del difusor es aproximadamente $\beta/2$. Preferiblemente aún queda algo de margen angular entre el espacio angular después del primer difusor 32 y el espacio angular máximo aceptado $\pm \theta$. Cuanto más uniformemente se llene el espacio angular, mejor funcionará la eliminación del moteado, pero se podrían tolerar algunas faltas de uniformidad o incluso pequeños espacios angulares, que luego pueden mitigarse aún más con el segundo difusor 34.

El prehomogeneizador 31 mezclará ahora la luz incidente en diferentes ángulos y a la salida del prehomogeneizador 31 la distribución de intensidad a través de la sección transversal es sustancialmente uniforme. Sin embargo, en cierto punto de la salida, solo se representarán los rayos de luz en un número discreto de ángulos. La longitud del prehomogeneizador 31 se determina para garantizar una buena uniformidad de brillo en toda la sección transversal de salida y esto para cada longitud de onda. Cuanto más uniforme sea la distribución del brillo, mejor será la eliminación del moteado que se logrará mediante la diversidad angular.

Es preciso que el segundo difusor 34 llene los espacios angulares entre los ángulos discretos que se ven a la salida del prehomogeneizador. El segundo difusor 34 también puede mitigar algunos espacios angulares y falta de uniformidad residuales. Después del segundo difusor 34, los ángulos deberían abarcar más o menos el espacio angular disponible sin difundir la luz fuera de este espacio (ya que esta luz se perdería). Idealmente, se usa nuevamente un difusor de sombrero de copa con un ángulo máximo mitad de anchura total de al menos α . α es la separación angular aparente entre las diferentes fuentes indicadas en la Figura 2b como el plano aparente de las fuentes.

Es probable que el segundo difusor 34 cause algunas variaciones de brillo a pequeña escala además de algunas faltas de uniformidad de brillo residual después del prehomogeneizador 31. El segundo homogeneizador 33 mezclará aún más la luz para garantizar un alto nivel de uniformidad de brillo a su salida. Dado que esta salida se visualiza en el modulador de luz, la uniformidad de brillo aquí debería estar en línea con la uniformidad de brillo deseada de la imagen proyectada y, por lo tanto, generalmente debería ser mejor que el 70% en la pantalla. Esto significa que en este punto la uniformidad del brillo debería ser aún mejor. El segundo homogeneizador 33 traducirá adicionalmente el perfil de brillo sustancialmente uniforme a su entrada en un perfil angular sustancialmente uniforme a su salida.

Así, finalmente, el sistema integrador producirá un perfil de iluminación con una intensidad uniforme en la sección transversal de su salida y con una distribución angular uniforme en cada punto de esta sección transversal. Y esto para cada longitud de onda individual.

Es importante que la luz en diferentes ángulos no muestre coherencia. Esto no solo reduce el moteado introducido por la pantalla de proyección y visto por un observador, sino que también requiere no introducir lo que se denomina moteado objetivo. Como esta condición puede traducirse en el requisito de que la luz en diferentes posiciones a la entrada del segundo homogeneizador 33 no muestre coherencia, es suficiente mover el primer difusor 32. Solo una pequeña velocidad de movimiento es suficiente para garantizar que la relación espacial de fase está suficientemente rota dentro del periodo más corto de activación del demodulador. Es suficiente un movimiento del orden de magnitud del tamaño de grano del difusor.

Por otro lado, si la luz que incide en el primer difusor 32 ya es suficientemente incoherente entre diferentes posiciones, entonces el primer difusor 32 puede mantenerse estático. Este será el caso cuando se use un gran número de emisores mutuamente incoherentes para cada longitud de onda y cuando estos se distribuyan uniformemente sobre el espacio angular disponible en la entrada del conjunto integrador.

El número de emisores mutuamente incoherentes necesarios para permitir un primer difusor estático 32, depende del ángulo $\pm \theta$ de aceptación angular del sistema, del factor de ampliación desde el modulador de luz hasta la pantalla de proyección, de la distancia desde el espectador hasta la pantalla de proyección y de las características de la pantalla de proyección. Para una pantalla de proyección típica, a una distancia de visualización igual a la altura de la pantalla y usando un proyector DLP con una diagonal de 2,49 cm (0.98 pulgadas (1 pulgada = 2,54 cm) y un ángulo de inclinación de 12 grados, se descubrió que un número mayor de 24 emisores por longitud de onda es suficiente para permitir un primer difusor estático 32 en case de que se usaran 6 longitudes de onda para el primario verde.

En la anterior exposición de la Figura 4, X, Y y Z eran diferentes gamas de longitud de onda para rojo, verde y azul, respectivamente. Dentro de un equipo se proporcionan varios emisores y además se pueden combinar varios equipos de la misma longitud de onda. Se designa M como el número total de emisores de la misma longitud de onda. Suponiendo que todos los emisores M produzcan aproximadamente el mismo brillo, ya no es necesario que cada emisor llene la apertura completa de la lente de proyección, sino que es suficiente que los láseres M de la misma gama

de longitud de onda combinados llenen sustancialmente la apertura completa de la lente de proyección. Cuando se usa un número suficientemente alto M de emisores incoherentes para cada longitud de onda, ya no se requiere que uno de los difusores o elementos refractivos se mueva y los difusores o elementos refractivos pueden mantenerse estáticos.

5 Realización de diversidad de polarización

10 Cuando no se requiere que la luz en el modulador de luz esté polarizada, se puede lograr una mayor eliminación del moteado agregando diversidad de polarización en la fuente 12 de luz. Para que este efecto se añada a los métodos de eliminación del moteado anteriores, se debe lograr una luz incoherente para ambas polarizaciones para todo el espacio angular de la extensión del proyector y esto para cada longitud de onda. La diversidad de polarización podría introducirse antes o dentro del sistema integrador dual (por ejemplo, en la posición del primer elemento difusor 32 o del segundo 34). En realizaciones preferidas de la invención, se propone introducir diversidad de polarización para cada longitud de onda antes o en el primer difusor 32 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos del sistema integrador dual. Esto se puede lograr, por ejemplo, utilizando al menos dos emisores incoherentes con polarizaciones ortogonales e igual brillo para cada intervalo de longitud de onda. Otras posibilidades son usar un difusor 32 o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos en la posición 1 que no conserve la polarización o mediante la introducción de modulaciones de fase aleatorias dependientes de la polarización en los rayos láser, o se podría utilizar un retardador variable en el tiempo después del primer difusor o elemento refractivo o conjunto de lentes o conjunto de prismas refractivos.

20 La invención no se limita a las realizaciones descritas en la presente memoria, que pueden modificarse o variarse sin apartarse del alcance de la invención, definida en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (12) de fuente de luz para usar con un proyector (10) que tiene un modulador (14) de imagen para recibir una pluralidad de haces de luz desde una fuente (24) de luz láser y para proyectar los haces de luz hacia una pantalla (20), que comprende:
- 5 la fuente (24) de luz láser con múltiples longitudes de onda para al menos un color primario dispuesta para emitir un haz de luz láser (25);
- un conjunto integrador (30) que comprende:
- al menos dos elementos integradores (31, 33); y
- 10 un primer elemento difusor (34) de luz, colocado entre dichos dos elementos integradores, estando dispuesto el primer elemento difusor (34) de luz para recibir una luz láser desde la fuente (24) de luz láser y emitir una pluralidad de haces de luz en un intervalo de ángulos,
- un segundo elemento difusor (32) de luz colocado delante del primer elemento integrador (31),
- siendo el conjunto integrador (30) tal que para cada una de las longitudes de onda:
- se logra un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie de un modulador (14) de imagen y
- 15 en cada punto de la superficie del modulador (14) de imagen se consigue un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible.
2. El aparato de fuente de luz de la reivindicación 1 en el que el conjunto integrador está adaptado para proporcionar en cada punto de la superficie del modulador de imagen un llenado sustancialmente uniforme del espacio angular disponible en cada instante.
- 20 3. El aparato de fuente de luz de la reivindicación 1 en el que el primer elemento difusor (34) de luz es un difusor, un conjunto de lentillas, un elemento de difracción, un conjunto de prismas refractivos o un elemento holográfico.
4. El aparato de fuente de luz de cualquier reivindicación anterior en el que cualquiera de los dos elementos integradores son una barra (31) o un integrador de varilla transparente.
- 25 5. El aparato de fuente de luz de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que cualquiera de los dos elementos integradores es un integrador de lente múltiple.
6. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 4 en el que el elemento integrador de barra o de varilla transparente tiene una sección transversal variable a lo largo de su eje longitudinal.
7. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 4 en el que el elemento integrador de barra o de varilla transparente tiene una sección transversal ahusada a lo largo de su eje longitudinal en al menos una dimensión.
- 30 8. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que el primer elemento difusor (34) de luz es amovible.
9. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que el primer elemento difusor (34) de luz es estático.
- 35 10. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que el primer elemento integrador (31) tiene una forma diferente y/o una relación de longitud a anchura diferente en comparación con el segundo elemento integrador (33).
11. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 10 en el que el primer elemento integrador o el segundo elemento integrador tiene una relación de longitud a anchura mayor que 7,5.
- 40 12. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que el primer elemento integrador (31) está ahusado y el segundo elemento integrador (33) no está ahusado o viceversa.
13. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que la fuente de luz láser comprende un conjunto de dispositivos emisores de luz, y en el que uno de los dispositivos emite un haz de luz en una de la pluralidad de longitudes de onda.
- 45 14. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 10 en el que múltiples dispositivos que emiten un haz de luz a la misma longitud de onda están desplazados en el conjunto, y opcionalmente se distribuyen uniformemente a través del conjunto.

15. El aparato de fuente de luz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la pluralidad de longitudes de onda tiene un desplazamiento de menos de 2 nm y, opcionalmente, de más de 0,5 nm.
16. El aparato de fuente de luz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que un haz de luz tiene dos polarizaciones ortogonales.
- 5 17. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 16 en el que el primer o el segundo elemento difusor no mantiene polarizaciones.
18. Aparato de fuente de luz según la reivindicación 16 o 17 en el que se coloca un retardador que varía con el tiempo después del primer y/o del segundo elemento difusor.
- 10 19. El aparato de fuente de luz según cualquier reivindicación anterior en el que las múltiples longitudes de onda son generadas por múltiples emisores láser.
20. El aparato de fuente de luz según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18 en el que las múltiples longitudes de onda son generadas por múltiples equipos láser.
21. El aparato de fuente de luz según la reivindicación 19 o 20 en el que el número de emisores láser individuales que contribuyen a cada longitud de onda es suficientemente alto y los elementos difusores primero y segundo son estáticos.
- 15 22. Un proyector (10) que comprende un aparato (12) de fuente de luz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
23. Un proyector según la reivindicación 22 en el que dicho aparato de fuente de luz está provisto de dos polarizaciones ortogonales para al menos un color primario y que usa un sistema integrador (30) de luz que está concebido de tal manera que, para cada una de las direcciones de polarización,
- 20 v. se logra un brillo sustancialmente uniforme en toda la superficie del modulador de imagen, y
- vi. en cada punto de la superficie del modulador de imagen se consigue un llenado sustancial del espacio angular disponible.

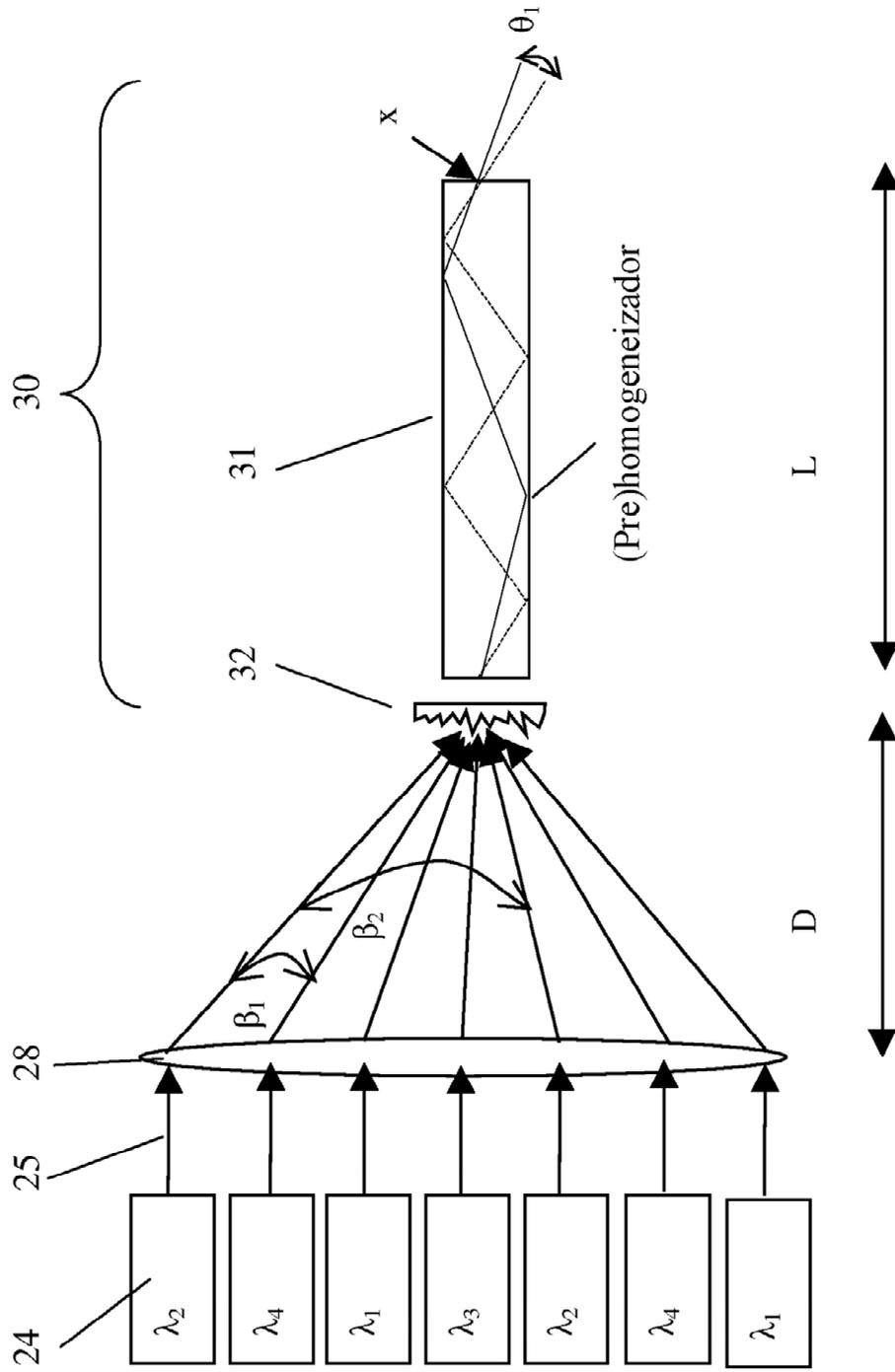


Fig. 1

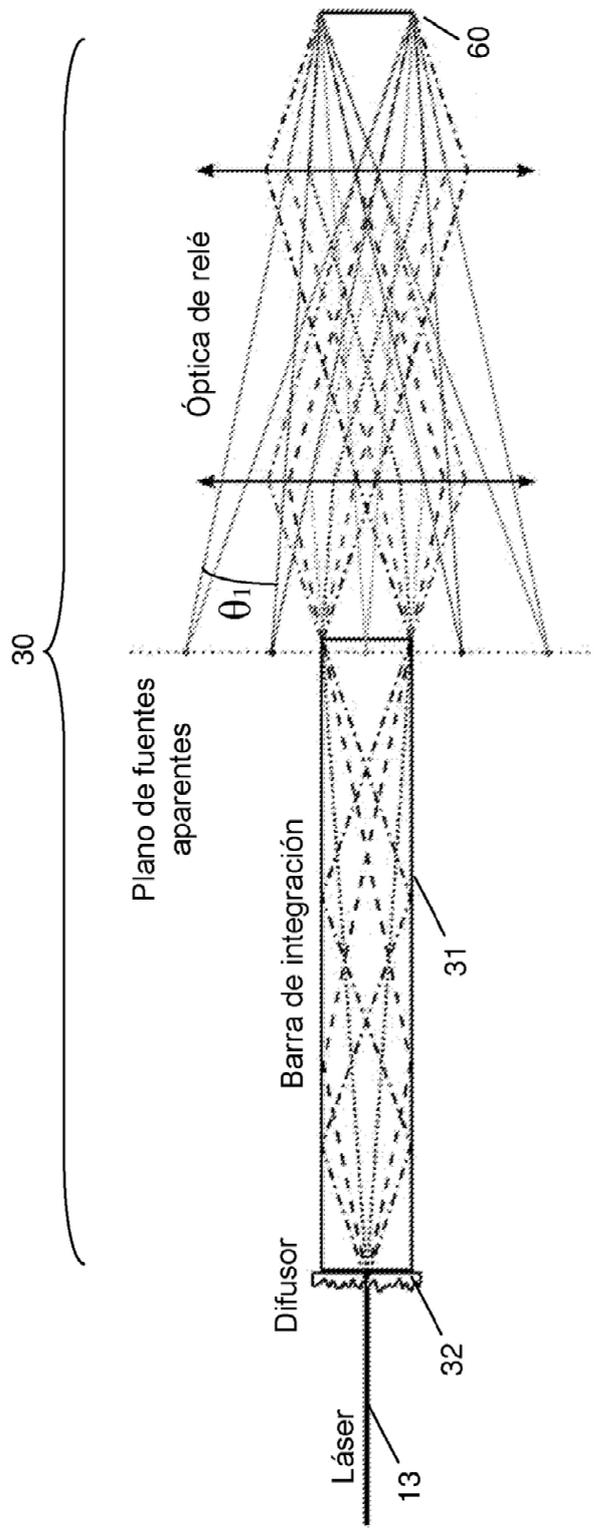


Fig. 2a

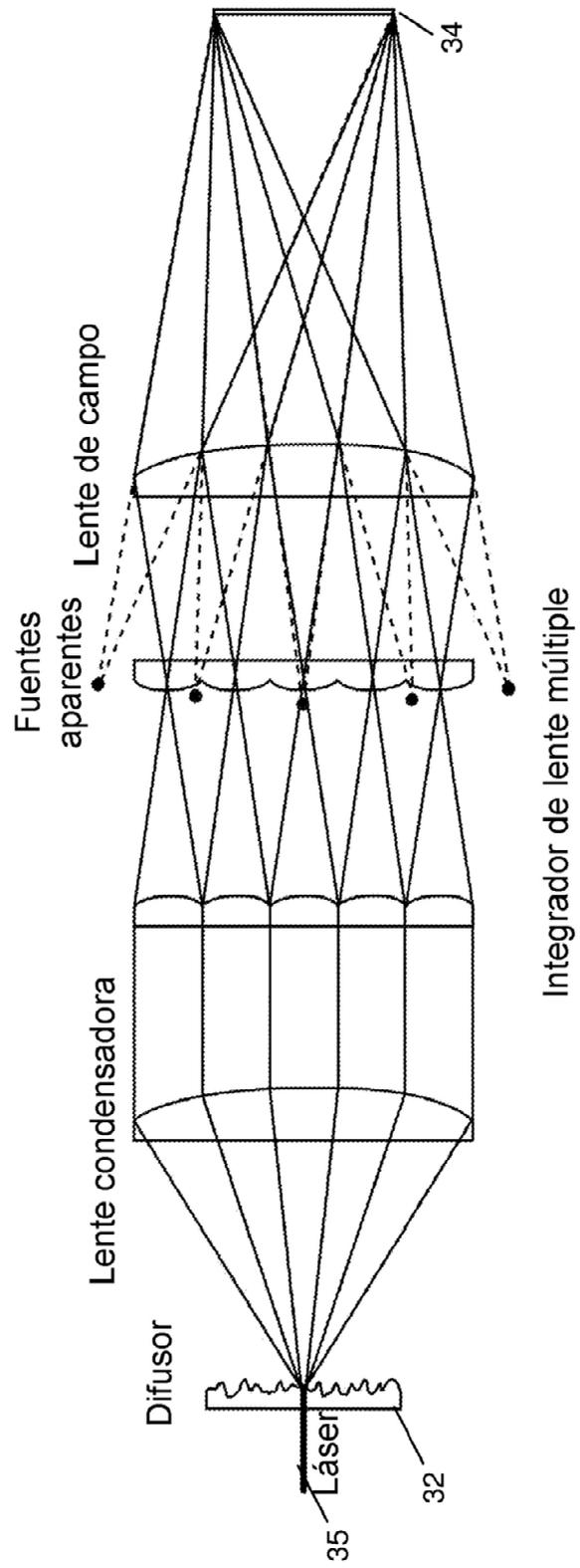


Fig. 2b

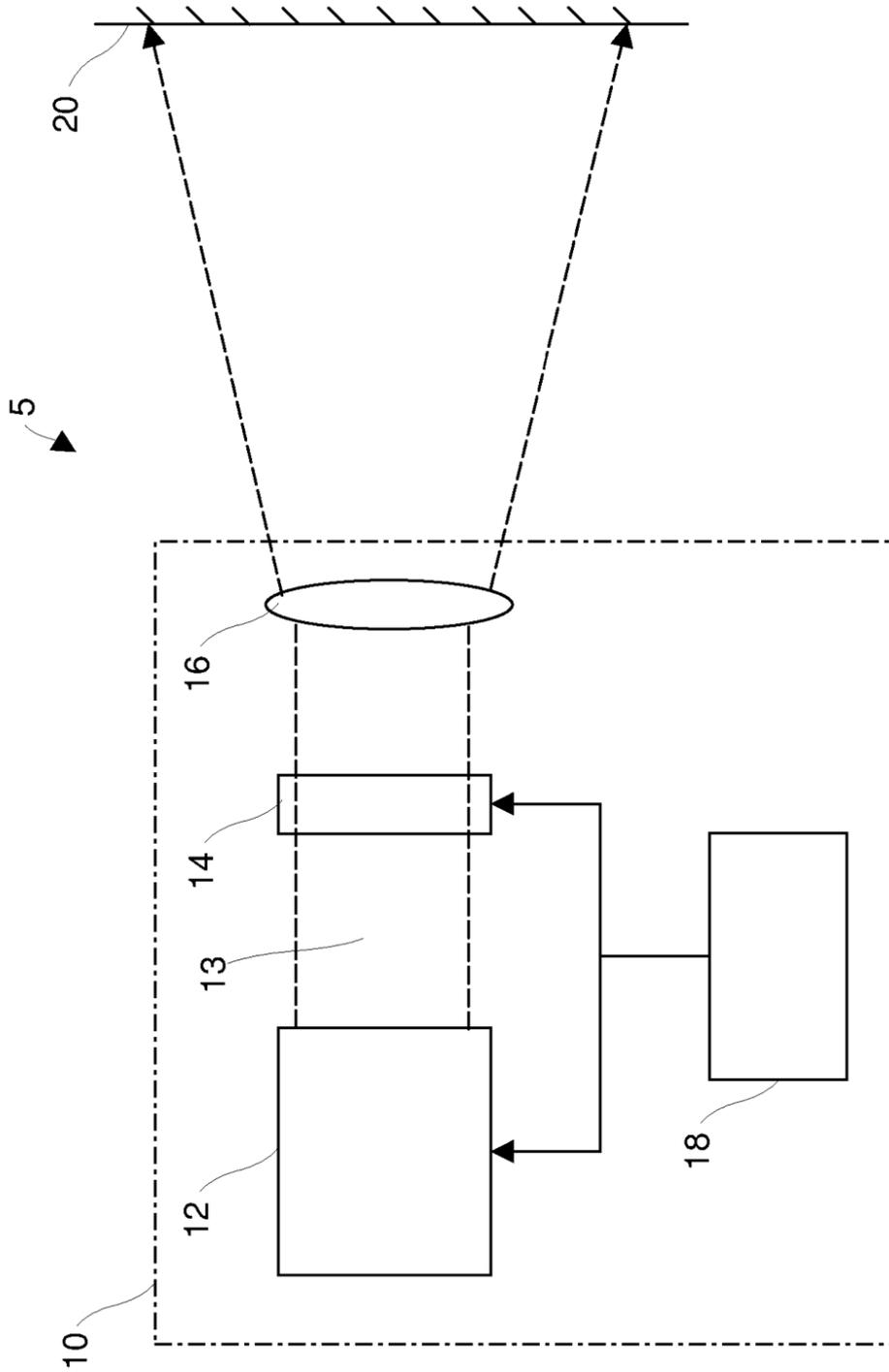


Fig. 3

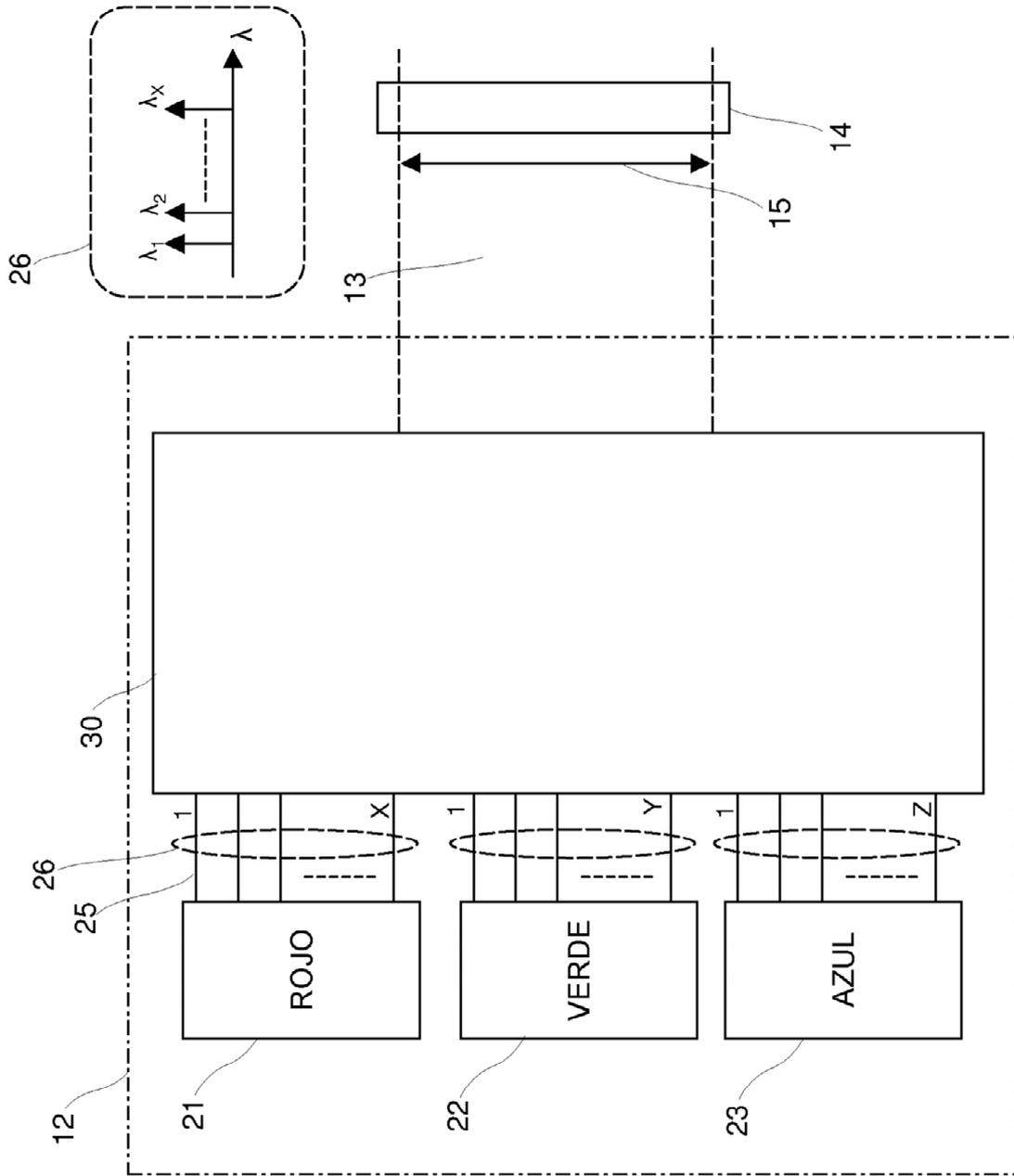


Fig. 4

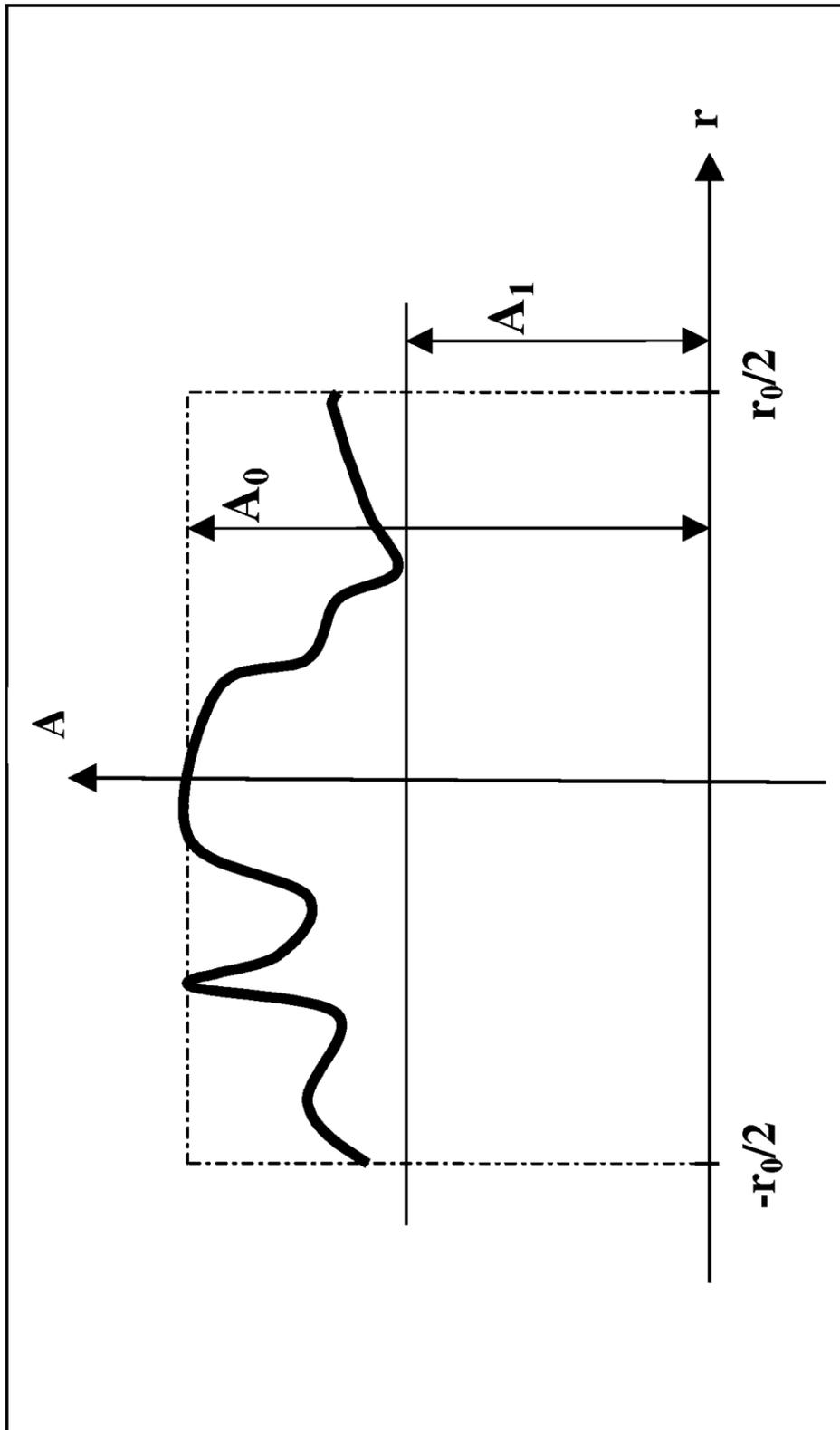


Fig. 6

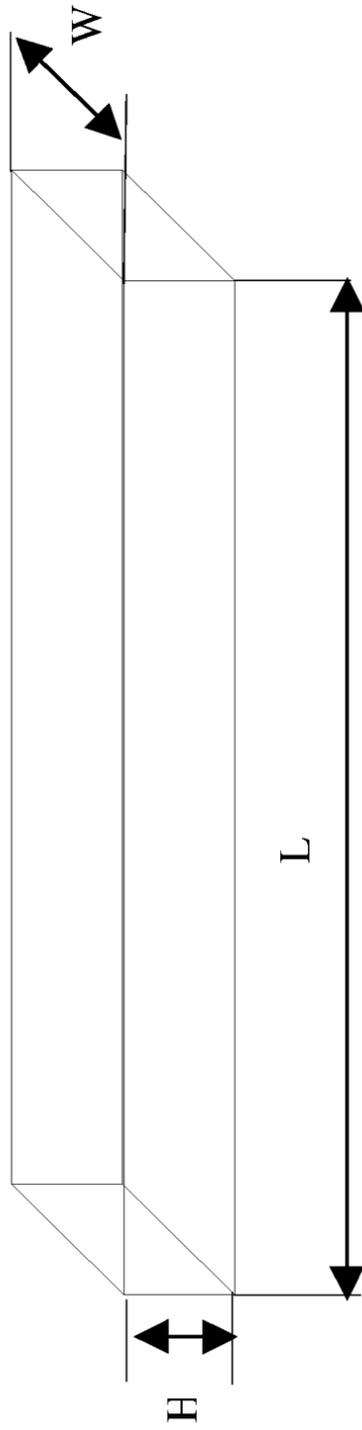


Fig. 7

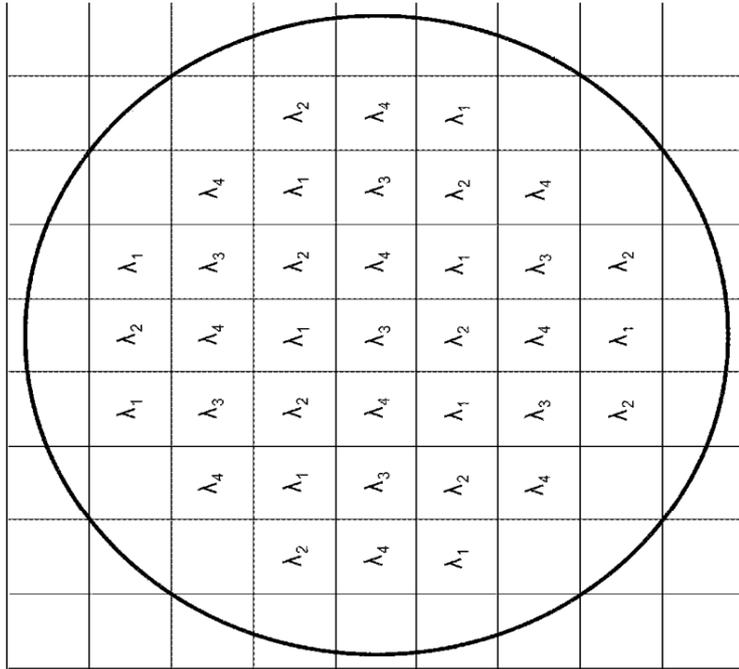


Fig. 8a

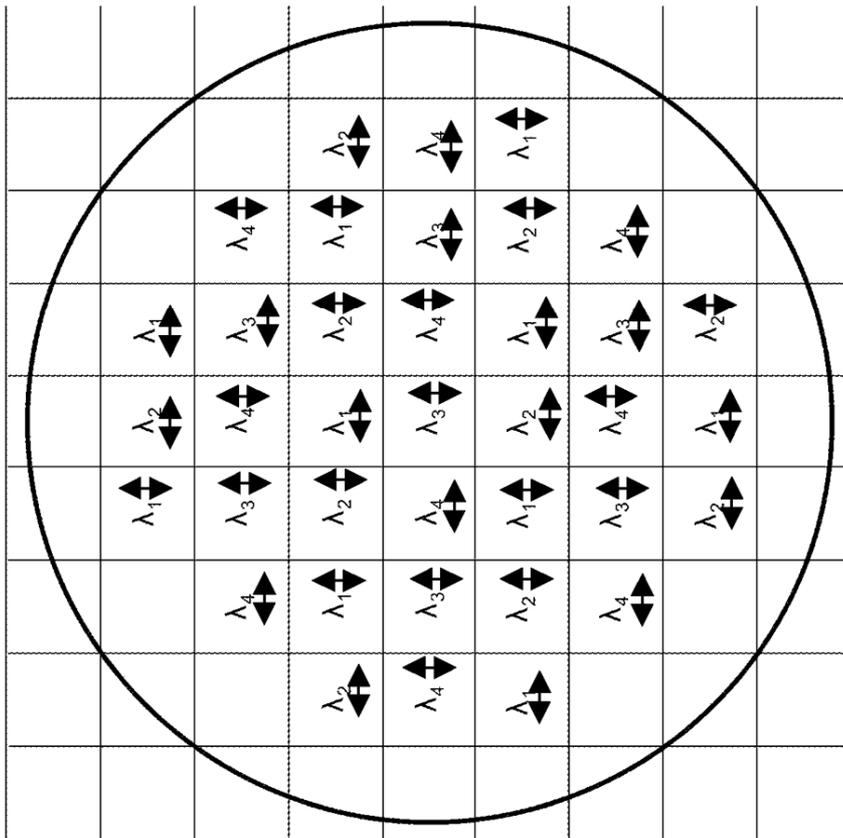


Fig. 8b

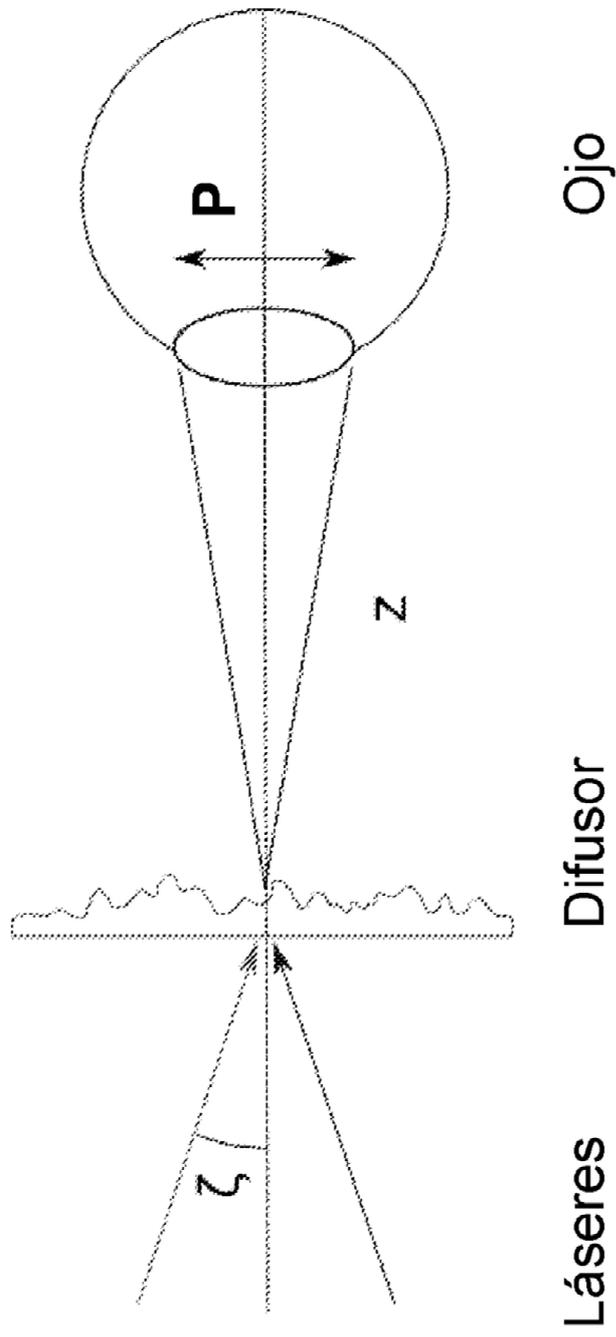


Fig. 9

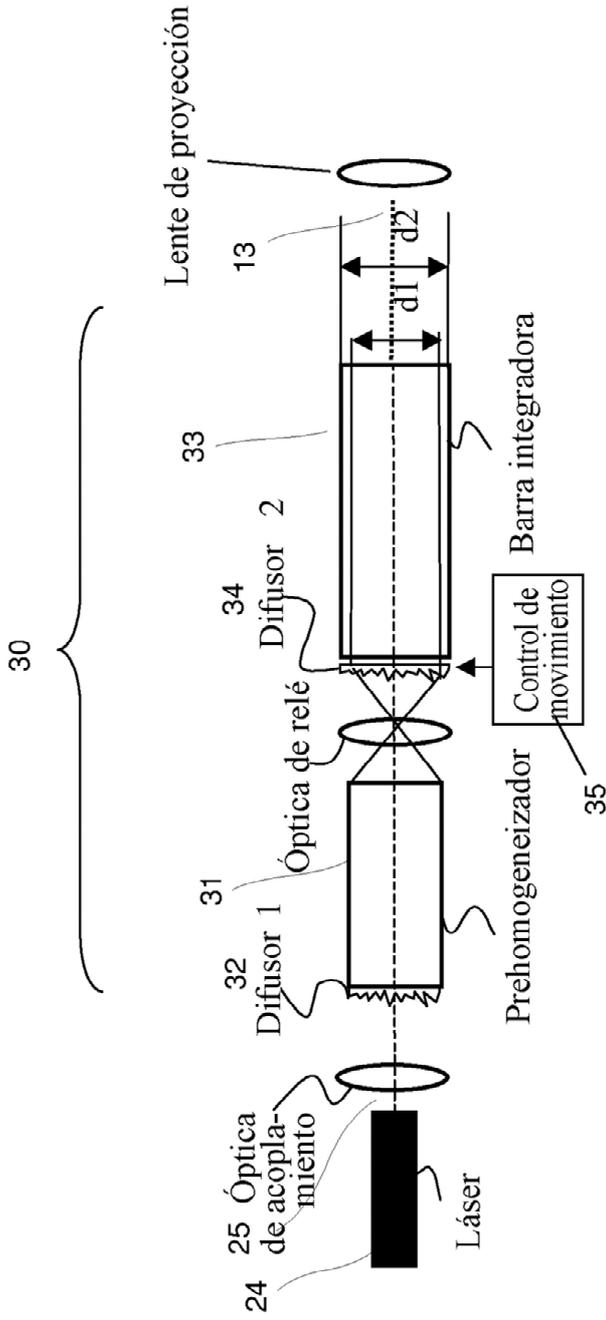


Fig. 10

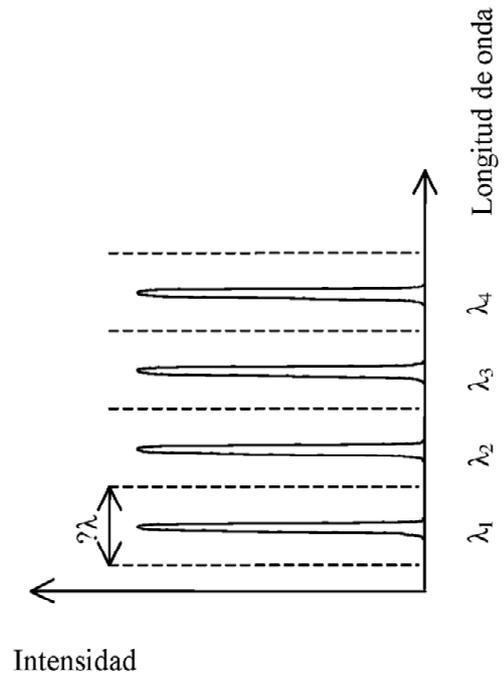


Fig. 5

