

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 983 668**

51 Int. Cl.:

H04N 9/31 (2006.01)

G02B 27/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2020 PCT/US2020/022867**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.09.2020 WO20190823**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2020 E 20716151 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2024 EP 3939254**

54 Título: **Método y sistema de modulación dual**

30 Prioridad:

15.03.2019 EP 19163175
15.03.2019 US 201962818934 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.10.2024

73 Titular/es:

DOLBY LABORATORIES LICENSING CORPORATION (100.0%)
1275 Market Street
San Francisco, CA 94103, US

72 Inventor/es:

PERTIERRA, JUAN P.;
RICHARDS, MARTIN J. y
KHAYDAROV, DZHAKHANGIR V.

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 983 668 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

Método y sistema de modulación dual

5 **Campo técnico**

La presente solicitud se refiere a proyectores de láser y cine digital.

10 **Antecedentes**

10

La mayoría de las películas se distribuyen ahora en formato digital, y los cines usan proyectores digitales para proyectar imágenes digitales en la pantalla de la película. Proyectores digitales son usados incluso por algunos consumidores en cines caseros como una alternativa superior a un visualizador de televisión. Los proyectores digitales emplean una fuente de luz brillante (o varias fuentes de luz brillante), un modulador espacial de luz (SLM) digital, y lentes de proyección. El SLM modula espacialmente la luz emitida por la fuente de luz de tal modo que la luz modulada, cuando se proyecta sobre la pantalla por las lentes de proyección, forma las imágenes deseadas. El SLM puede ser una matriz de cristal líquido o una matriz de microespejos.

15

20

En los proyectores digitales más directos, cada píxel del SLM ajusta la amplitud de la luz que se propaga desde ese píxel hacia el proyector. En tales proyectores digitales, una gran porción de la luz generada por la fuente de luz se pierde en el SLM. Algunos proyectores digitales usan una fuente de luz potente para producir imágenes brillantes a pesar de esta pérdida de luz. Los láseres se consideran una solución particularmente atractiva, al menos en parte porque la luz de láser generalmente puede recogerse de la fuente y propagarse a través del sistema óptico de un proyector digital más eficientemente que, por ejemplo, luz de fuentes de luz incandescentes o diodos emisores de luz, produciendo de este modo mayor brillo.

25

30

El documento US 2017/099466 A1 se refiere a un sistema de modulación dual, que comprende un divisor de haz de polarización para dividir luz de láser en unos haces polarizados primero y segundo que tienen polarizaciones mutuamente ortogonales, un modulador espacial de luz de fase, sensible a la polarización, para direccionamiento por haz del segundo haz polarizado, un modulador de amplitud de luz espacial mecánico para modulación de amplitud de una combinación del primer haz polarizado y un haz polarizado direccionado por haz como haz direccionado por el modulador espacial de luz de fase, estando configurado el modulador de amplitud de luz espacial mecánico para recibir los haces polarizados primero y direccionado por haz, como para formar una combinación modulada en amplitud de los haces polarizados primero y direccionado por haz.

35

40

El documento US 2003/231373 A1 se refiere a un sistema de proyección mejorado que incluye un dispositivo conforme de sistema electromecánico de rejilla (GEMS) para formar una imagen en un medio, y que incluye también: una fuente de luz que proporciona iluminación; una matriz lineal de dispositivos conformes de GEMS que reciben la iluminación; un elemento de obstrucción para bloquear que un haz de luz reflejado de orden cero alcance el medio; un filtro de orden cruzado colocado sustancialmente cerca de un plano de Fourier de un sistema de lentes para bloquear que una pluralidad de haces de luz de orden cruzado difractados alcancen el medio; un elemento de escaneado para mover haces de luz difractados no obstruidos con relación al medio; y un controlador para proporcionar un flujo de datos a los dispositivos operables individualmente.

45

Sumario

La invención se define por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones ventajosas.

50

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un sistema de modulación dual para modular luz de láser para generar un campo de luz que puede proyectarse sobre una pantalla para formar una imagen en pantalla, de acuerdo con una realización.

55

La figura 2 ilustra un sistema de modulación dual con dos moduladores de luz espaciales (SLM) reflectantes y un combinador de haz de polarización que combina dos trayectorias de polarización después del direccionamiento por haz de una de las dos trayectorias de polarización por el primero de los SLM reflectantes y antes de la modulación de amplitud espacial de la luz combinada por el segundo de los dos SLM reflectantes, de acuerdo con una realización.

60

La figura 3 ilustra otro sistema de modulación dual con dos SLM reflectantes, en el que dos trayectorias de polarización diferentes se combinan directamente en un segundo de los SLM reflectantes después del direccionamiento por haz de una de las trayectorias de polarización por un primero de los SLM reflectantes, de acuerdo con una realización.

65

Las figuras 4 y 5 son vistas frontal y lateral en corte transversal, respectivamente, de un dispositivo de

microespejo digital (DMD), de acuerdo con una realización.

La figura 6 ilustra, en vista lateral en corte transversal, un filtro de Fourier configurado para filtrar espacialmente luz modulada recibida de SLM mecánico de amplitud, de acuerdo con una realización.

5 Las figuras 7 y 8 ilustran un ejemplo de comportamiento de difracción por un DMD.

Las figuras 9 y 10 son gráficos de intensidad de ejemplos de patrones de difracción de Fraunhofer.

10 Las figuras 11 a 16 son vistas frontales de ejemplos de una máscara del filtro de Fourier de la figura 6.

La figura 17 ilustra un proyector de láser policromático que tiene modulación dual y filtrado de orden de difracción en cada canal de color individual antes de la combinación de los diferentes colores, de acuerdo con una realización.

15 La figura 18 ilustra un método de proyección de láser de modulación dual, de acuerdo con una realización.

La figura 19 ilustra un método de proyección de láser de modulación dual, policromático, de acuerdo con una realización.

20 La figura 20 ilustra un sistema de modulación dual con modulación de fase separada y resultante pre-direccionamiento por haz de ambos componentes de polarización de la luz de láser de entrada, de acuerdo con una realización.

25 La figura 21 ilustra otro sistema de modulación dual, de acuerdo con una realización que no está de acuerdo con la invención y está presente únicamente con fines ilustrativos.

30 La figura 22 ilustra un sistema de modulación dual que tiene solo una trayectoria de modulación simple, de acuerdo con una realización que no está de acuerdo con la invención y está presente únicamente con fines ilustrativos.

Descripción de realizaciones de ejemplo

35 La figura 1 ilustra un sistema de modulación dual 102 para modular luz de láser 180 para generar un campo de luz 192 que puede proyectarse sobre una pantalla 152 para formar una imagen en la pantalla 152. La figura 1 representa el sistema de modulación dual 102 en un escenario de uso de ejemplo. En este escenario, el sistema de modulación dual 102 se implementa en un proyector de láser digital de modulación dual 100 que, además del sistema de modulación dual 102, incluye ópticas de proyección 150 para proyectar el campo de luz 192 sobre la pantalla 152 como iluminación de pantalla 194. La iluminación de pantalla 194 produce una imagen en la pantalla 152. El proyector de láser 100 puede incluir además un módulo de iluminación basado en láser 160 para generar luz de láser 180.

45 La luz de láser 180 puede ser sustancialmente monocromática. Un proyector de láser policromático puede incluir una pluralidad de proyectores de láser 100 para producir una pluralidad respectiva de campos de luz monocromáticos 192, cada uno de los cuales tiene un color diferente (por ejemplo, rojo, verde y azul). En este proyector de láser policromático, la pluralidad de proyectores de láser 100 puede compartir unas ópticas de proyección 150 comunes.

50 El sistema de modulación dual 102 permite contraste y brillo mejorados de las imágenes proyectadas sobre la pantalla 152 mediante ópticas de proyección 150 en el proyector de láser 100, en comparación con un sistema de modulación convencional de etapa simple. La relación de contraste máxima que se puede conseguir incluso con proyectores de láser de alto rendimiento que emplean un sistema de modulación de etapa simple es generalmente no mayor que aproximadamente 2000:1, que es varios órdenes de magnitud menor que el intervalo de luminancias detectables por el sistema visual humano. De este modo, tal proyector de láser no es capaz de producir imágenes que contienen tanto áreas de alto brillo como regiones que son realmente negras, como lo percibe un observador humano. El proyector de láser 100 que emplea el sistema de modulación dual 102 puede producir una relación de contraste de 200.000:1 o más.

60 El sistema de modulación dual 102 tiene dos etapas de modulación. Sin embargo, el sistema de modulación dual 102 somete solo un componente de polarización de la luz de láser 180 a ambas etapas de modulación primera y segunda, mientras que el componente de polarización ortogonal sortea la primera etapa de modulación. La segunda etapa de modulación es común a ambos componentes de polarización. El sistema de modulación dual 102 incluye un divisor de haz de polarización (PBS) 110, un modulador espacial de luz (SLM) de fase 120 digital, un SLM mecánico de amplitud 130 digital y un filtro 140. El PBS 110 divide la luz de láser 180 en dos haces polarizados 182 y 184 que tienen polarizaciones mutuamente ortogonales. El SLM de fase 120 modula fases del haz polarizado 184 para direccionar por haz un haz polarizado resultante 186 antes de que el SLM mecánico de

amplitud 130 module amplitudes de la combinación de haces polarizados 182 y 186 para generar la luz modulada combinada 190. El SLM mecánico de amplitud 130 causa difracción de los haces polarizados 182 y 186, de tal modo que la luz modulada combinada 190 incluye una pluralidad de órdenes de difracción. El filtro 140 elimina, de la luz modulada combinada 190, uno o más de estos órdenes de difracción, como para generar luz de salida modulada, filtrada, que forma el campo de luz 192.

El sistema de modulación dual 102 puede incluir un controlador 170 que controla el funcionamiento del SLM de fase 120 y del SLM mecánico de amplitud 130 para producir un campo de luz deseado 192. En realizaciones del sistema de modulación dual 102 donde el filtro 140 es ajustable, el controlador 170 puede controlar además el funcionamiento del filtro 140. El controlador 170 puede incluir un procesador e instrucciones legibles por máquina codificadas en memoria no transitoria. Tras la ejecución de las instrucciones legibles por máquina por el procesador, el controlador 170 controla el SLM de fase 120 y el SLM mecánico de amplitud 130 (y opcionalmente el filtro 140) para producir un campo de luz 192 deseado especificado por una entrada externa al controlador 170.

Cada píxel del SLM mecánico de amplitud 130 es accionado mecánicamente para modular la amplitud de la luz incidente sobre el píxel. Como se implementa en el sistema de modulación dual 102, cada píxel del SLM mecánico de amplitud 130 modula una correspondiente porción espacial de la combinación de haces polarizados 182 y 186, para transferir una fracción deseada del mismo a la luz modulada combinada 190. Cuando esta fracción es menor que 1, la fracción restante se pierde (por ejemplo, se dirige a un vertedero de haz). De este modo, la modulación de amplitud realizada por el SLM mecánico de amplitud 130 conduce a pérdida de luz en el sistema de modulación dual 102. En contraste, la modulación de fase realizada por los píxeles del SLM de fase 120 redistribuye espacialmente (es decir, direcciona por haz) luz dentro del haz polarizado 186, en comparación con la distribución espacial de luz dentro del haz polarizado 184. Este proceso no conduce inherentemente a pérdida de luz, aunque las no idealidades en el SLM de fase 120 (tales como huecos entre los píxeles) pueden conducir a una pequeña pérdida de luz.

En funcionamiento, el sistema de modulación dual 102 puede usar la capacidad de direccionamiento por haz del SLM de fase 120 para optimizar la distribución espacial del haz polarizado 186 incidente en el SLM mecánico de amplitud 130. Por ejemplo, el SLM de fase 120 puede en cualquier momento dado (a) direccionar menos luz sobre píxeles del SLM mecánico de amplitud 130 configurados para transferir solo una pequeña fracción (o nada) de la luz incidente a la luz modulada combinada 190 y (b) direccionar más luz sobre píxeles del SLM mecánico de amplitud 130 configurados para transferir una gran fracción (o la totalidad) de la luz incidente a la luz modulada combinada 190. De este modo, el SLM de fase 120 puede funcionar para reducir la pérdida de luz causada por modulación de amplitud por el SLM mecánico de amplitud 130. En virtud de esta reducción de la pérdida de luz, el sistema de modulación dual 102 permite, para una potencia dada de la luz de láser 180, mayor brillo de las imágenes proyectadas sobre la pantalla 152 por la óptica de proyección 150 del proyector de láser 100. Además, dado que el SLM de fase 120 ayuda a direccionar luz lejos de píxeles del SLM mecánico de amplitud 130 donde se desea menos luz, el sistema de modulación dual 102 permite una extinción de luz mejorada en regiones de imágenes, proyectadas sobre la pantalla 152 por la óptica de proyección 150 del proyector de láser 100, que están destinadas a ser oscuras. De este modo, el sistema de modulación dual 102 también permite un contraste mejorado de imágenes proyectadas sobre la pantalla 152 por la óptica de proyección 150 del proyector de láser 100.

Se entiende que la contribución del haz polarizado 186 al campo de luz 192 es una función no sólo de la distribución de amplitud del haz polarizado 186 sobre el SLM mecánico de amplitud 130 sino también de la distribución de dirección de propagación del haz polarizado 186 incidente en el SLM mecánico de amplitud 130.

El SLM de fase 120 es sensible a la polarización. El desplazamiento de fase impuesto por un píxel del SLM de fase 120 a luz incidente en el mismo depende de la polarización de la luz. Por lo tanto, es difícil optimizar modulación de fase por el SLM de fase 120 para luz no polarizada o parcialmente polarizada. El sistema de modulación dual 102 resuelve este problema dirigiendo solo una componente de polarización (haz polarizado 184) al SLM de fase 120, maximizando mediante ello el control de direccionamiento por haz proporcionado por el SLM de fase 120.

En el presente documento, luz "no polarizada" se refiere a luz que, cuando se descompone en dos componentes de polarización ortogonales, contiene aproximadamente el 50 por ciento de cada componente de polarización, independientemente de la orientación de los dos componentes de polarización ortogonales; luz "polarizada" se refiere a luz que es toda de la misma polarización; y luz "parcialmente polarizada" se refiere a luz que contiene una combinación de luz no polarizada y luz polarizada.

Cuando la luz de láser 180 no está polarizada, sólo la mitad de la luz de láser 180 se somete a modulación de etapa dual. Sin embargo, el grado de control proporcionado por el SLM de fase 120, en virtud de que la luz incidente en el mismo está polarizada, puede permitir que el sistema de modulación dual 102 produzca una relación de contraste más alta que si toda tal luz de láser no polarizada 180 se dirigiera al SLM de fase 120. En una realización, el módulo de iluminación basado en láser 160 incluye un láser de fibra para producir luz de láser

180. En esta realización, la luz de láser 180 puede estar no polarizada o parcialmente no polarizada.

El SLM de fase 120 puede ser un SLM de cristal líquido. En una realización tal, el SLM de fase 120 incluye un modulador reflectante de cristal líquido sobre silicio (LCOS). En otra realización tal, el SLM de fase 120 incluye un panel de cristal líquido (LC) transmisor similar al encontrado en un visualizador de cristal líquido (LCD). En cada una de estas dos realizaciones, cada píxel del SLM de cristal líquido tiene un índice refractivo ajustable, y el SLM de cristal líquido direcciona el haz polarizado 186 modulando espacialmente los índices refractivos de los píxeles del SLM de cristal líquido como para modular espacialmente la fase de luz sacada por los píxeles.

El SLM mecánico de amplitud 130 puede incluir una matriz de espejo. En una realización tal, el SLM mecánico de amplitud 130 es un dispositivo de microespejo digital (DMD), por ejemplo un SLM de sistema micro-optoelectromecánico (MOEMS).

La difracción por el SLM mecánico de amplitud 130 puede, en ausencia del filtro 140, reducir la relación de contraste de proyector (PCR) del proyector de láser 100. La PCR de un proyector se define en el presente documento como la relación de intensidades luminosas de encendido a apagado (o, de manera equivalente, luminancias fotométricas primera y segunda) medidas en una pantalla de proyección iluminada por el proyector (tal como la pantalla 152). Las intensidades luminosas de encendido y apagado se generan cuando el proyector se controla para sacar su salida más brillante (por ejemplo, blanco) y su salida más oscura (por ejemplo, negro), respectivamente. Las intensidades luminosas de encendido y apagado del proyector de láser 100 se definen como las intensidades luminosas dirigidas hacia la pantalla 152 cuando todos los píxeles del SLM mecánico de amplitud 130 se establecen en posiciones de encendido y apagado respectivas. La PCR del sistema de modulación dual 102 se define de forma similar como la relación de intensidades luminosas de encendido a apagado sacadas por el sistema de modulación dual 102 y, cuando el sistema de modulación dual 102 se implementa en el proyector de láser 100, se dirige hacia la óptica de proyección 150. Remitiendo solo un subconjunto de los órdenes de difracción a las ópticas de proyección 150, el filtro 140 puede configurarse para mejorar la PCR del sistema de modulación dual 102 y el proyector 100 láser en comparación con sistemas similares que no incluyen el filtro 140.

En una realización, el filtro 140 está configurado para sacar el campo de luz 192 como luz colimada. En otra realización, el campo de luz 192 no está colimado, por ejemplo, divergente, en la salida del filtro 140. En esta realización, el sistema de modulación dual 102 puede incluir además unas lentes de colimación (no mostradas en la figura 1). Alternativamente, el sistema de modulación dual 102 puede sacar el campo de luz 192 como luz no colimada. La luz de láser 180 puede ser colimada sustancialmente en la entrada al sistema de modulación dual 102. La luz de láser 180 puede caracterizarse por una apertura numérica de menos de 0,2 en la entrada al sistema de modulación dual 102.

La figura 2 ilustra un sistema de modulación dual 200 con dos SLM reflectantes y un combinador de haz de polarización que combina dos trayectorias de polarización después del direccionamiento por haz de una de las dos trayectorias de polarización por el primero de los SLM reflectantes y antes de la modulación de amplitud espacial de la luz combinada por el segundo de los dos SLM reflectantes. El sistema de modulación dual 200 es una realización del sistema de modulación dual 102 que (a) implementa el SLM de fase 120 como un SLM de LCOS 220, (b) implementa el SLM mecánico de amplitud 130 como DMD 230, y (c) incluye un combinador de haz de polarización 222.

El SLM de LCOS 220 modula fases del haz polarizado 184 para direccionar por haz un haz polarizado 286 resultante. El combinador de haz de polarización 222 combina el haz polarizado 286 con el haz polarizado 182 para formar un haz combinado 288. El DMD 230 modula amplitudes de la combinación de haces polarizados 182 y 286 para generar luz modulada combinada 290. El DMD 230 causa difracción del haz combinado 288, de tal manera que la luz modulada combinada 290 incluye una pluralidad de órdenes de difracción. El filtro 140 elimina, de la luz modulada combinada 290, uno o más de estos órdenes de difracción, como para generar luz de salida modulada, filtrada, que forma un campo de luz 292, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1.

En ciertas realizaciones, la luz sacada por el SLM de LCOS 220 se distribuye sobre una pluralidad de órdenes de difracción de tal manera que al menos un orden de difracción, además de un orden de difracción dominante asociado con el haz polarizado 286, contiene una cantidad de luz no despreciable. Tal difracción está causada, por ejemplo, por pequeños huecos entre píxeles del SLM de LCOS 220 y/o reflexiones de diferentes interfaces del SLM de LCOS 220. En una realización, el orden de difracción dominante está separado de los otros órdenes de difracción no despreciable por un ángulo suficiente que los otros órdenes de difracción no despreciable puedan bloquearse mediante un vertedero de haz. En el ejemplo representado en la figura 2, el SLM de LCOS 220 produce un orden de difracción dominante que se dirige al combinador de haz de polarización 222 como haz polarizado 286. El orden de difracción dominante usado como haz polarizado 286 puede ser el orden de difracción cero del SLM de LCOS 220. En un ejemplo, al menos el 90% de la luz sacada por el SLM de LCOS 220 está en el orden de difracción dominante. En una realización, el factor de relleno del SLM de LCOS 220 es al menos 90%, tal como aproximadamente 95%, como para asegurar que al menos el 90% de la luz sacada por el

SLM de LCOS 220 está en el orden de difracción dominante.

En un escenario, el SLM de LCOS 220 direcciona el haz polarizado 286 en un ángulo de 262 a reflexión especular de orden cero por debajo del SLM de LCOS 220. En este escenario, el sistema de modulación dual 200 puede incluir un vertedero de haz 228 que bloquea la luz reflejada especularmente desde el SLM de LCOS 220, tal como una fracción del haz polarizado 184 reflejada por un vidrio de protección, y/u otras interfaces, del SLM de LCOS 220. El ángulo 262 puede estar en el intervalo de uno a cinco grados. En otro escenario, no representado en la figura 2, el SLM de LCOS 220 se modula para suprimir el direccionamiento del haz polarizado 286 en la misma dirección que la dirección de reflexión especular del haz polarizado 184 fuera del SLM de LCOS 220, pero permite el direccionamiento del haz polarizado 286 en múltiples otras direcciones o intervalos de dirección lejos de la dirección de reflexión especular. En este escenario, el sistema de modulación dual 200 puede incluir óptica de retransmisión entre el SLM de LCOS 220 y el DMD 230, en el que la óptica de retransmisión tiene un plano de Fourier en un filtro espacial que bloquea la luz reflejada especularmente del SLM de LCOS 220.

Cada espejo del DMD 230 es ajustable entre dos orientaciones diferentes: una orientación encendida y una orientación apagada. El DMD 230 modula espacialmente la amplitud del haz combinado 288 orientando adecuadamente sus espejos. La distribución de potencia a través de diferentes órdenes de difracción del DMD 230 depende de la orientación de los espejos del DMD 230.

En una implementación del sistema de modulación dual 200, el SLM DE LCOS 220 tiene una matriz de 1920x1200 de píxeles cuadrados configurada con un paso de 8 micrómetros entre píxeles en cada dimensión, y el DMD 230 tiene una matriz de 4096x2160 de espejos cuadrados configurada con un paso de 7-8 micrómetros entre espejos en cada dimensión. En una modificación de esta implementación, la resolución de la matriz de píxeles del SLM de LCOS 220 se incrementa para tener al menos 3500 píxeles en la dimensión larga, un paso entre píxeles de menos de 7 micrómetros, y una relación de aspecto que es similar pero no necesariamente idéntica a la relación de aspecto de la matriz de espejos del DMD 230. Las relaciones de aspecto de SLM de LCOS 220 y del DMD 230 pueden estar dentro del 20% entre sí. En otra implementación, el SLM de LCOS 220 tiene una matriz de 1920x1200 de píxeles cuadrados configurada con un paso de 8 micrómetros entre píxeles en cada dimensión, y el DMD 230 tiene una matriz de 2048x1080 de espejos cuadrados configurada con un paso de 10-14 micrómetros entre espejos en cada dimensión. Realizaciones del sistema de modulación dual 200 caracterizadas por que la resolución de píxeles del DMD 230 supera la resolución de píxeles del SLM de LCOS 220 puede ayudar a reducir o evitar la aparición de halos en imágenes formadas a partir del campo de luz 292. Tales halos pueden aparecer si las características espaciales introducidas por el direccionamiento por haz por el SLM de LCOS 220 son más pequeñas que los espejos del DMD 230.

El sistema de modulación dual 200 puede incluir una óptica de atenuación 212 en la trayectoria del haz polarizado 182 entre el PBS 110 y el combinador de haz de polarización 222. En una realización, la óptica de atenuación 212 es un filtro de densidad neutra variable. En otra realización, la óptica de atenuación 212 es un rotador de polarización variable que coopera con el combinador de haz de polarización 222 para definir la fracción del haz polarizado 182 que está acoplada en el haz combinado 288. Este rotador de polarización variable puede ser un rotador de Faraday, o una placa de media onda con orientación ajustable. Sin salir del alcance del presente documento, la óptica de atenuación 212 puede estar en la trayectoria del haz polarizado 286 en lugar de en la trayectoria del haz polarizado 182, o una óptica de atenuación 212 puede estar en la trayectoria del haz polarizado 182 mientras que otra óptica de atenuación 212 está en la trayectoria del haz polarizado 286.

El sistema de modulación dual 200 puede incluir uno o más espejos y/u otro elemento o elementos de direccionamiento por haz para dirigir los haces polarizados 182 y 286 al combinador de haz de polarización 222. En el ejemplo representado en la figura 2, el sistema de modulación dual 200 incluye espejos plegables 224 y 226 en la trayectoria del haz polarizado 286, así como el espejo plegable 225 en la trayectoria del haz combinado 288. Aunque no se representa en la figura 2, el sistema de modulación dual 200 puede incluir lentes y/u otros elementos refractivos para cambiar el tamaño de uno cualquiera de entre el haz polarizado 182, el haz polarizado 286 y el haz combinado 288. Sin salir del alcance del presente documento, el sistema de modulación dual 200 puede configurarse con rotación de polarización (por ejemplo, placas de media onda) en cada uno de (a) la trayectoria asociada con el haz polarizado 182 y (b) la trayectoria asociada con los haces polarizados 184 y 286, de tal modo que uno del PBS 110 y el combinador de haz de polarización 222 refleja el haz polarizado 182 y el otro del PBS 110 y el combinador de haz de polarización 222 transmite el haz polarizado 182.

La figura 3 ilustra otro sistema de modulación dual 300 con dos SLM reflectantes en el que dos trayectorias de polarización diferentes se combinan directamente en un segundo de los SLM reflectantes después del direccionamiento por haz de una de las trayectorias de polarización a un primero de los SLM reflectantes. El sistema de modulación dual 300 es una realización del sistema de modulación dual 102 que (a) implementa el SLM de fase 120 como un SLM de LCOS 220 y (b) implementa el SLM mecánico de amplitud 130 como el DMD 230. El sistema de modulación dual 300 es similar al sistema de modulación dual 200 excepto que el sistema de modulación dual 300 combina los haces polarizados 182 y 286 directamente en el DMD 230. Los ángulos de

incidencia de los haces polarizados 182 y 286 sobre el DMD 230 pueden diferir entre sí en un ángulo 364 que es menor de diez grados.

5 Como remplazo para la óptica de atenuación opcional 212, el sistema de modulación dual 300 puede incluir una unidad de atenuación 310. Aunque se representa en la trayectoria del haz polarizado 182, la unidad de atenuación opcional 310 puede estar en la trayectoria del haz polarizado 286, o el sistema de modulación dual 300 puede incluir dos unidades de atenuación 310 situadas en las trayectorias de los haces polarizados 182 y 286, respectivamente. La unidad de atenuación 310 puede ser un filtro de densidad neutra variable. Alternativamente, la unidad de atenuación 310 incluye un rotador de polarización variable 312 y un polarizador 10 314 que cooperan para ajustar la fracción del haz polarizado 182 entregada al DMD 230. El rotador de polarización variable 312 es, por ejemplo, una placa de media onda con orientación ajustable o un rotador de Faraday.

15 En una realización, el sistema de modulación dual 300 está configurado con polarización de noventa grados en una de las dos trayectorias de polarización, de tal manera que los haces polarizados 182 y 286 tienen la misma polarización cuando inciden sobre el DMD 230. Esta realización elimina diferencias inducidas por polarización en la difracción impuesta por el DMD 230 en los haces polarizados 182 y 286. Por ejemplo, el polarizador 314 puede configurarse de tal manera que la dirección de polarización del haz polarizado 182, después del polarizador 314, gire noventa grados en comparación con la dirección de polarización del haz polarizado 182 en la salida del PBS 20 110. En otro ejemplo, se inserta una placa de media onda en (a) la trayectoria del haz polarizado 182 o (b) en la trayectoria de uno de los haces polarizados 184 y 286.

Sin salir del alcance del presente documento, el DMD 230 puede implementarse en otras realizaciones del sistema de modulación dual 102 distintas de aquellas representadas en las figuras 2 y 3.

25 Las figuras 4 y 5 son vistas frontal y lateral en corte transversal, respectivamente, del DMD 230. Las figuras 4 y 5 se ven mejor juntas en la siguiente descripción. El DMD 230 incluye una pluralidad de microespejos 420 dispuestos en una matriz rectangular bidimensional. Los microespejos 420 pueden ser cuadrados, como se representa en la figura 4. Para mayor claridad, la figura 4 solo muestra microespejos 420 representativos en las esquinas y el centro del DMD 230, y no todos los microespejos 420 están etiquetados en la figura 5. La 30 orientación de cada microespejo 420 es ajustable, por ejemplo, mediante accionamiento electrostático, para direccionar la luz de entrada 480. La luz de entrada 480 es un ejemplo de uno cualquiera de (a) una combinación de haces polarizados 182 y 186 mostrados en la figura 1, (b) el haz combinado 288 mostrado en la figura 2, y (c) una combinación de haces polarizados 182 y 286 mostrados en la figura 3.

35 En una implementación, cada microespejo 420 puede inclinarse respecto a un eje de rotación 430. El eje de rotación 430 puede orientarse a -45 grados con respecto al eje x, como se representa en la figura 4. Sin salir del alcance del presente documento, la orientación y ubicación del eje de rotación 430 pueden ser diferentes de aquellas mostradas en la figura 4. El DMD 230 puede ser un procesador de luz digital (DLP) de Texas Instruments.

40 Los microespejos 420 pueden montarse sobre un sustrato 410 que se encuentra en el plano x-y (véase el sistema de coordenadas 490 de la derecha). Para mayor claridad, estructuras mecánicas que acoplan físicamente los microespejos 420 al sustrato 410 no se representan en las figuras 4 y 5.

45 La figura 5 muestra microespejos 420 inclinados para direccionar la luz de entrada 480. El microespejo 420(1) es accionado en una posición de encendido para reflejar especularmente la luz de entrada 480 en la luz reflejada 582 de encendido paralela al eje z (véase el sistema de coordenadas 490). El microespejo 420(2) es accionado en una posición de apagado para reflejar especularmente la luz de entrada 480 en la luz reflejada 584 de apagado. En un escenario de uso, aplicable a uno cualquiera de los sistemas de modulación dual 102, 200, y 300, el controlador 170 modula en amplitud la luz incidente sobre el DMD 230, para cada microespejo 420, estableciendo la orientación de ese microespejo 420 particular a una deseada de entre la posición de encendido y la posición de apagado. El microespejo 420(3) no está accionado, y se encuentra en el plano x-y (por ejemplo, paralelo al sustrato 410) en un estado plano. Alternativamente, el DMD 230 puede configurarse de tal manera 50 que los microespejos 420, cuando no están accionados, están en un ángulo con respecto al plano x-y. Por ejemplo, una elegida de las posiciones de encendido o apagado puede corresponder a microespejos 420 que no están accionados.

55 Una cara frontal 522 de cada microespejo 420 puede estar recubierta con una capa de metal depositado (por ejemplo, aluminio) que actúa como una superficie reflectante para reflejar la luz de entrada 480. El hueco 524 entre los microespejos 420 puede ser absorbente. Por ejemplo, la luz de entrada 480 que entra en el hueco 524 puede ser absorbida por el sustrato 410. Sin salir del alcance del presente documento, el DMD 230 puede implementarse para dirigir la luz reflejada 582 de encendido y la luz reflejada 584 de apagado en respectivas direcciones diferentes de aquellas mostradas en la figura 5.

60 Los microespejos 420 y los huecos 524 entre ellos cooperan para formar una rejilla bidimensional que difracta la

- 5 luz de entrada 480. Por lo tanto, luz modulada que se propaga lejos del DMD 230 puede formar una pluralidad de órdenes de difracción observables como un patrón de difracción de Fraunhofer (véanse los patrones de difracción 900 y 1000 de las figuras 9 y 10, respectivamente) en una región de campo lejano del DMD 230 o en un plano focal de una lente montada después del DMD 230. Cada orden de difracción corresponde a un haz de luz que se propaga lejos del DMD 230 en una dirección respectiva única. Por diseño, la mayor parte de la potencia óptica de luz modulada desde el DMD 230 puede estar en el orden de difracción cero, que corresponde a las luces reflejadas especularmente de encendido y apagado 582 y 584.
- 10 La difracción de la luz de entrada 480 por el DMD 230 puede reducir la PCR de un proyector de láser usando el DMD 230 (por ejemplo, el proyector de láser 100 sin filtro 140). Cómo el DMD 230 difracta la luz de entrada 480 puede determinarse por una variedad de parámetros, tales como (1) la longitud de onda de la luz de entrada 480, (2) la dirección de la luz de entrada 480, (3) el paso 464 del DMD 230, (4) una anchura 462 de los huecos 524, y (5) los ángulos de inclinación de encendido y apagado de los microespejos 420. Tanto en las dimensiones x como en las y, el paso 464 es igual a una suma de la anchura 462 y de la longitud 460 de borde de microespejo, como se muestra en la figura 4 para la dimensión y. El paso 464 puede ser de entre 5 y 15 micrómetros. La anchura 462 puede ser menor de 1 micrómetro. En un ejemplo, el paso 464 es de entre 7 y 8 micrómetros y la anchura 462 es de entre 0,7 y 0,9 micrómetros.
- 15 Sin salir del alcance del presente documento, el DMD 230 puede disponer microespejos 420 en una matriz irregular, uno o más microespejos 420 pueden tener tamaño y/o forma diferentes a los de otros microespejos 420, y/o la anchura 462 puede depender de la ubicación sin el DMD 230. Otras realizaciones del SLM mecánico de amplitud 130 pueden exhibir comportamiento de difracción similar al del DMD 230.
- 20 La figura 6 ilustra, en vista lateral en corte transversal, un filtro de Fourier 600 configurado para filtrar espacialmente luz modulada 602 recibida del SLM mecánico de amplitud 130, como para incrementar la PCR de una realización del proyector de láser 100. El filtro de Fourier 600 es una realización del filtro 140 y puede implementarse en uno cualquiera de los sistemas de modulación dual 102, 200 y 300 para filtrar la luz modulada combinada 190 o 290.
- 25 El filtro de Fourier 600 incluye una lente 604 y una máscara 612. La lente 604 transforma por Fourier espacialmente la luz modulada 602 enfocando la luz modulada 602 sobre un plano de Fourier 608. La lente 604 tiene una distancia focal 610, y el plano de Fourier 608 coincide con un plano focal de la lente 604. La luz modulada 602 se representa en la figura 6 como una pluralidad de flechas que corresponden cada una a un orden de difracción respectivo y apuntan en una dirección única a lo largo de la cual el orden de difracción se propaga. La transformación de Fourier espacial impuesta por la lente 604 convierte el ángulo de propagación de cada orden de difracción de la luz modulada 602 a una posición espacial respectiva en el plano de Fourier 608. La lente 604 permite mediante ello la selección de órdenes de difracción deseados, y el rechazo de órdenes de difracción no deseados. Por consiguiente, una máscara 612 en el plano de Fourier 608 filtra espacialmente la luz modulada 602, como transformada por Fourier por la lente 604, para seleccionar uno o más órdenes de difracción de la luz modulada 602 mientras bloquea los órdenes de difracción restantes de la luz modulada 602. La transformada de Fourier espacial de la luz modulada 602 en el plano de Fourier 608 es equivalente a un patrón de difracción de Fraunhofer de la luz modulada 602.
- 30 La lente 604 define un eje óptico 622. En una implementación, el SLM mecánico de amplitud 130 está centrado en el eje óptico 622, como se muestra en la figura 6. En otra implementación, el SLM mecánico de amplitud 130 está descentrado del eje óptico 622.
- 35 La máscara 612 tiene al menos una región transmisora 616 configurada para transmitir total o parcialmente al menos un orden de difracción de la luz modulada 602 a través de la máscara 612 como luz filtrada 614. En ciertas realizaciones, la máscara 612 es sustancialmente opaca cuando inciden órdenes de difracción no deseados de la luz modulada 602. En algunas realizaciones, la máscara 612 es sustancialmente opaca donde la máscara 612 no tiene una región transmisora 616. En otras realizaciones, la máscara 612 está configurada para reflejar, en lugar de transmitir, órdenes de difracción deseados como para separar espacialmente órdenes de difracción deseados de órdenes de difracción no deseados.
- 40 La máscara 612 puede estar formada de metal, tal como aluminio o acero inoxidable. El metal puede anodizarse o ennegrecerse para potenciar absorción de luz bloqueada por la máscara 612. Alternativamente, la máscara 612 puede estar formada a partir de un sustrato semiconductor, tal como silicio, en el que la región transmisora 616 está grabada o amolada. En otra realización, la máscara 612 está formada a partir de un sustrato ópticamente transparente (por ejemplo, vidrio) que está recubierto con un material ópticamente absorbente (por ejemplo, pintura negra) para bloquear luz en áreas que no coinciden con la región o regiones transmisoras 616. En otra realización, la máscara 612 es una máscara activa que tiene regiones transmisoras 616 configurables dinámicamente, tal como una matriz de espejos controlados electrónicamente.
- 45 En una realización, el filtro de Fourier 600 está configurado con una lente de colimación 618 que colima la luz filtrada 614 en luz colimada 620. La lente de colimación 618 puede facilitar la integración del filtro de Fourier 600

con otros elementos ópticos o sistemas ópticos. Por ejemplo, la lente de colimación 618 puede acoplar ópticamente la luz filtrada 614 a óptica adicional ubicada después del filtro de Fourier 600 (por ejemplo, la óptica de proyección 150, o el combinador de haz 1704 analizado más adelante en referencia a la figura 17). La lente de colimación 618 tiene una distancia focal 624, y está situada de tal manera que un plano focal de la lente de colimación 618 coincide con el plano de Fourier 608. Aunque las distancias focales 610 y 624 se muestran en la figura 6 como iguales, las distancias focales 610 y 624 pueden diferir entre sí en determinadas realizaciones.

Para mayor claridad, la figura 6 solo muestra haces de difracción que difractan en una dimensión (por ejemplo, la dimensión x). Sin embargo, el SLM mecánico de amplitud 130 difracta en dos dimensiones, de tal manera que la luz modulada 602 también incluye haces de difracción que han sido difractados, por el SLM mecánico de amplitud 130, en una segunda dimensión perpendicular al eje óptico 622 (por ejemplo, la dimensión y). Cada haz difractado en un patrón de difracción bidimensional puede estar etiquetado por un par de números enteros que identifican el orden de difracción del haz difractado para cada una de las dos dimensiones. Aquí, "orden cero" se refiere al haz difractado que tiene orden cero en ambas dos dimensiones.

Las figuras 7 y 8 ilustran comportamiento de difracción de ejemplo por el DMD 230. Las figuras 7 y 8 se ven mejor juntas en la siguiente descripción. Las figuras 7 y 8 muestran, por ejemplo, cómo órdenes de difracción de luz modulada sacada por el DMD 230 reducen la PCR de un proyector de láser no equipado con el filtro 140.

La figura 7 muestra, en vista lateral, el DMD 230 sacando intensidad luminosa de encendido mediante el accionamiento de todos los microespejos 420 del DMD 230 en la posición de encendido (véase el microespejo 420(1) en la vista aumentada 716). La figura 8 muestra, también en vista lateral, el DMD 230 sacando intensidad luminosa de apagado mediante el accionamiento de todos los microespejos 420 del DMD 230 en la posición de apagado (véase el microespejo 420(2) en la vista aumentada 816).

En la figura 7, el DMD 230 difracta la luz de entrada 480 en la luz modulada 702 de encendido que tiene una pluralidad de haces de difracción 704 de encendido. En la figura 8, el DMD 230 difracta la luz de entrada 480 en luz modulada 802 de apagado que tiene una pluralidad de haces de difracción 804 de apagado. En una región de campo lejano del DMD 230, cada uno de los haces de difracción 704 de encendido corresponde a un orden o pico de difracción de un patrón de difracción de Fraunhofer formado por la luz modulada 702 de encendido, y cada uno de los haces de difracción 804 de apagado corresponde a un orden o pico de difracción de un patrón de difracción de Fraunhofer formado por la luz modulada 802 de apagado. En la región de campo lejano del DMD 230, cada uno de los haces de difracción 704, 804 de encendido y apagado corresponden a un vector k que tiene una de una pluralidad de direcciones de propagación 710. En el ejemplo de las figuras 7 y 8, las direcciones de propagación 710 se representan como líneas discontinuas; cada uno de los haces de difracción 704, 804 de encendido y apagado está alineado con una de las direcciones de propagación 710 y está representado por una flecha continua que tiene una longitud que corresponde a una potencia o intensidad del haz difractado.

Para una dirección fija de la luz de entrada 480, la potencia de los haces de difracción 704, 804 de encendido y apagado cambia cuando los microespejos 420 del DMD 230 conmutan entre las posiciones de encendido y apagado, mientras que las direcciones de propagación 710 de los haces de difracción 704, 804 de encendido y apagado permanecen iguales cuando los microespejos 420 del DMD 230 conmutan entre las posiciones de encendido y apagado. En otras palabras, la configuración del DMD 230 y la dirección de la luz de entrada 480 definen el conjunto de posibles direcciones de propagación 710 de los haces de difracción 704 de encendido y los haces de difracción 804 de apagado, y las posiciones de los microespejos 420 determinan la distribución de potencia de la luz de salida del DMD 230 a través de las direcciones de propagación 710.

Las figuras 7 y 8 representan un escenario de uso, en el que la óptica de proyección 150 recoge la luz de salida del DMD 230 y proyecta iluminación de pantalla resultante sobre una pantalla de proyección. Más específicamente, la óptica de proyección 150 recoge luz sacada por el DMD 230 que cae dentro de una abertura transparente 708 de la óptica de proyección 150. No todas las posibles direcciones de propagación 710 caen dentro de la abertura transparente 708. Este escenario de uso, representado en las figuras 7 y 8, puede producirse en una modificación del proyector de láser 100 que implementa el DMD 230 pero omite el filtro 140.

En el ejemplo mostrado en las figuras 7 y 8, la luz modulada 702 de encendido tiene potencia significativa en varios haces de difracción 704 de encendido, y la luz modulada de apagado tiene potencia significativa en varios haces de difracción 804 de apagado. Sólo algunos de los haces de difracción 704 de encendido que transportan energía significativa caen dentro de la abertura transparente 708, mientras que otros caen fuera de la abertura transparente 708. Por ejemplo, un haz de difracción 704(1) de encendido dominante cae dentro de la abertura transparente 708, mientras que dos haces de difracción 704(2) y 704(3) de encendido menos potentes caen dentro y fuera, respectivamente, de la abertura transparente 708. Por el contrario, solo algunos de los haces de difracción 804 de apagado que transportan potencia significativa caen fuera de la abertura transparente 708, mientras que otros caen dentro de la abertura transparente 708. Por ejemplo, un haz de difracción 804(3) de apagado dominante cae fuera de la abertura transparente 708, mientras que dos haces de difracción 804(1) y 804(2) de apagado menos potentes caen ambos dentro de la abertura transparente 708. En resumen, menos del 100% de la luz modulada 702 de encendido es proyectada por la óptica de proyección 150 como luz proyectada

714 de encendido que resulta en una intensidad luminosa de encendido, y una fracción distinta de cero de la luz modulada 802 de apagado es proyectada por la óptica de proyección 150 como luz proyectada 814 de apagado que resulta en una intensidad luminosa de apagado distinta de cero. Cada uno de estos dos factores disminuye la PCR del proyector de láser de este escenario de uso. Generalmente, se espera que la intensidad luminosa de apagado distinta de cero tenga el impacto más perjudicial sobre la PCR.

Para mayor claridad, las figuras 7 y 8 muestran solamente haces de difracción 704, 804 que difractan en una dimensión (la dimensión x). Sin embargo, el DMD 230 difracta la luz de entrada 480 en dos dimensiones, de tal manera que la luz modulada 702 y 802 también incluye haces de difracción que han sido difractados, por el DMD 230, en una segunda dimensión perpendicular al eje óptico 722 (la dimensión y).

Haciendo referencia ahora a las figuras 1, 7 y 8 en combinación, otras realizaciones del SLM mecánico de amplitud 130 pueden presentar comportamiento de difracción similar al ilustrado por las figuras 7 y 8, y el filtro 140 selecciona qué direcciones de propagación 710 se remiten a la óptica de proyección 150. Mediante la selección del orden de difracción apropiado, el filtro 140 puede incrementar la PCR del sistema de modulación dual 102 y, en consecuencia, el proyector de láser 100, en comparación con los sistemas que no incluyen el filtro 140.

Para identificar órdenes de difracción a filtrar con el filtro 140, se puede usar relación de contraste de orden de difracción (DOCR). Para cada una de las direcciones de propagación 710 que pasan a través de la abertura transparente 708, la DOCR puede definirse como una relación de las potencias ópticas de un par de correspondientes haces de difracción de encendido y apagado del mismo orden de difracción y dirección de propagación. Por ejemplo, el orden de difracción que corresponde a los haces de difracción 704(1) y 804(1) de encendido y apagado de las figuras 7 y 8 tiene una DOCR alta. Órdenes de difracción con DOCR alta son beneficiosos para incrementar la PCR, y pueden seleccionarse ventajosamente para la proyección a la pantalla de proyección. Por otra parte, los haces de difracción 704(2) y 804(2) de encendido y apagado corresponden a un orden de difracción con una DOCR baja. Órdenes de difracción con DOCR baja disminuyen la PCR, y pueden retirarse por filtración ventajosamente para incrementar la PCR.

Las figuras 9 y 10 son gráficos de intensidad de patrones de difracción 900 y 1000 de Fraunhofer de ejemplo de luz modulada 702 y 802 de encendido y apagado, respectivamente. Los patrones de difracción 900 y 1000 corresponden a transformadas de Fourier producidas por un ejemplo de lente 604 del filtro de Fourier 600 (figura 6) en el plano de Fourier 608. Los patrones de difracción 900 y 1000 son ejemplos de patrones de difracción producidos en el plano de Fourier 608 cuando el filtro de Fourier 600 se implementa en el sistema de modulación dual 102, 200 o 300. Los patrones de difracción 900 y 1000 ilustran de este modo, por ejemplo, cómo la máscara 612 del filtro de Fourier 600 puede configurarse para mejorar la PCR.

Cada uno de los patrones de difracción 900 y 1000 incluye una pluralidad de picos de difracción igualmente espaciados que corresponden cada uno a uno respectivo de los haces de difracción 704 u 804 de las figuras 7 y 8, respectivamente. Un eje horizontal 904 y un eje vertical 906 de las figuras 9 y 10 indican cosenos de dirección de picos de difracción con relación a ejes x e y, respectivamente, del sistema de coordenadas 490. Las figuras 9 y 10 indican intensidades de los patrones de difracción 900 y 1000 de acuerdo con una escala de intensidad 908.

El círculo 902 de las figuras 9 y 10 representa la abertura transparente 708 de las figuras 7 y 8. Los picos de difracción que se encuentran dentro del círculo 902 representan haces de difracción 718, 818 que, en ausencia del filtro de Fourier 600 u otra realización del filtro 140, se proyectarían por la óptica de proyección 150 como luz proyectada 714 y 814 de encendido y apagado, respectivamente. En la figura 9, un pico de difracción 910 más brillante (por ejemplo, mayor intensidad) en un centro del círculo 902 corresponde al haz de difracción 704(1) de encendido de la figura 7 y/o un orden cero de la luz modulada 702 de encendido. Picos de difracción que se encuentran fuera del círculo 902 no se proyectarán sobre la pantalla de proyección.

En la figura 10, un pico de difracción 1010 más brillante, que corresponde al haz de difracción 804(3) de apagado, está a valores más altos de cosenos direccionales fuera del círculo 902 y, por lo tanto, no se proyectará sobre la pantalla de proyección. Sin embargo, al menos en ausencia del filtro de Fourier 600 u otra realización del filtro 140, una pluralidad de picos de difracción 1012 de baja potencia en el círculo 902 se proyectaría sobre la pantalla de proyección como luz proyectada 814 de apagado, incrementando la intensidad luminosa de apagado y disminuyendo la PCR.

Para incrementar la PCR, el filtro de Fourier 600 puede reducir la intensidad luminosa de apagado bloqueando los órdenes de difracción que se encuentran dentro del círculo 902 que contribuyen relativamente más a la intensidad luminosa de apagado que la intensidad luminosa de encendido. Los patrones de difracción Fraunhofer 900 y 800 son representativos de transformadas de Fourier de la luz modulada 602, e ilustran cómo las regiones transmisoras 616 pueden configurarse de modo que la máscara 612 transmite órdenes de difracción deseados para proyección, y bloquea todos los demás órdenes de difracción no deseados que de otro modo se proyectarían. Específicamente, usando parámetros de la lente 604, los cosenos de dirección asociados con cada pico de difracción deseado pueden convertirse en una posición espacial en la máscara 612 en la que una región

transmisora 616 puede estar situada como para transmitir el pico de difracción deseado a través de la máscara 612. De manera similar, los cosenos de dirección asociados con cada pico de difracción no deseado pueden convertirse en una posición espacial en la máscara 612 en la que la máscara 612 es opaca, como para bloquear (por ejemplo, filtrar) el pico de difracción no deseado.

5

En una realización del filtro de Fourier 600, la máscara 612 incluye una región transmisora 616 que tiene tamaño, geometría, ubicación y orientación seleccionados para optimizar la PCR y/o la eficiencia de potencia óptica del sistema de modulación dual 102 y el proyector de láser 100. En otra realización del filtro de Fourier 600, la máscara 612 tiene una pluralidad de regiones transmisoras 616, y se seleccionan tamaño, geometría, ubicación y orientación para cada región transmisora 616 para optimizar la PCR y/o la eficiencia de potencia óptica del sistema de modulación dual 102 y el proyector de láser 100.

10

Las figuras 11 a 16 son vistas frontales de ejemplos de la máscara 612 de la figura 6, que muestran configuraciones de ejemplo de región o regiones transmisoras 616. En cada una de las figuras 11 a16, una pluralidad de ubicaciones de órdenes de difracción, tales como órdenes de difracción asociados con diferentes pares de correspondientes haces de difracción 704 y 804 de encendido y apagado, se indican mediante equis que forman una cuadrícula bidimensional. Por ejemplo, en la figura 11, la ubicación 1102(2) indica un orden de difracción bloqueado por una máscara 1100, mientras que la ubicación 1102(1) indica un orden de difracción transmitido por la máscara 1100.

15

20

Las figuras 11 y 12 muestran máscaras 1100 y 1200 de ejemplo que tienen regiones transmisoras circulares 1104 y 1204, respectivamente. Cada una de las regiones de transmisión circulares 1104 y 1204 pueden ser un orificio o un material que es al menos parcialmente transmisor de luz. Las regiones transmisoras circulares 1104 y 1204 son ejemplos de la región transmisora 616. La región transmisora circular 1104 está dimensionada para transmitir un orden de difracción a través de la máscara 1100. La región transmisora circular 1204 está dimensionada para transmitir una pluralidad de órdenes de difracción a través de la máscara 1200, por ejemplo nueve órdenes de difracción que forman una cuadrícula de 3 por 3, como se muestra en la figura 12. Aunque las figuras 11 y 12 muestran regiones transmisoras circulares 1104 y 1204 centradas en las máscaras 1100 y 1200, respectivamente, las regiones transmisoras circulares 1104 y 1204 pueden estar descentradas sin salir del alcance del presente documento.

25

30

Las figuras 13 y 14 muestran máscaras 1300 y 1400 de ejemplo que tienen regiones transmisoras cuadradas 1304 y 1404, respectivamente. Cada una de las regiones de transmisión cuadradas 1304 y 1404 puede ser un orificio o un material que es al menos parcialmente transmisor de luz. Las regiones transmisoras cuadradas 1304 y 1404 son ejemplos de la región transmisora 616. La región transmisora cuadrada 1304 está centrada en la máscara 1300 y está dimensionada para transmitir una pluralidad de órdenes de difracción a través de la máscara 1300, tales como nueve órdenes de difracción que forman una cuadrícula de 3 por 3, como se muestra en la figura 13. La región transmisora cuadrada 1404 está descentrada en la máscara 1400 y está dimensionada para transmitir una pluralidad de órdenes de difracción a través de la máscara 1400, tales como cuatro órdenes de difracción que forman una cuadrícula de 2 por 2.

35

40

La figura 15 muestra una máscara 1500 de ejemplo que tiene una región de transmisora poligonal irregular 1504 configurada para transmitir tres órdenes de difracción de vecindario a través de la máscara 1500. La región transmisora poligonal irregular 1504 es un ejemplo de región transmisora 616 y puede ser un orificio o un material que es al menos parcialmente transmisor de luz.

45

La figura 16 muestra una máscara 1600 de ejemplo que tiene una pluralidad de regiones transmisoras circulares 1604, cada una situada y dimensionada para transmitir un orden de difracción a través de la máscara 1600, tal como cuatro regiones transmisoras 1604. Las regiones transmisoras circulares 1604 son un ejemplo de una pluralidad de regiones transmisoras 616.

50

La región transmisora 616 puede tener otra forma, tamaño y ubicación que las mostradas en los ejemplos de las figuras 11 a 16 sin salir del alcance del presente documento. En una clase de implementaciones, cada uno de los ejemplos de regiones transmisoras 616 mostrados en las figuras 11 a16 es un orificio formado en la máscara 612 (por ejemplo, mediante perforación, fresado o grabado). En otra clase de implementaciones, cada uno de los ejemplos de regiones transmisoras 616 mostrados en las figuras 11 a 16 es una ventana ópticamente transparente, una ventana ópticamente semitransparente, o un filtro de color (por ejemplo, filtro dicróico o filtro de película fina) acoplado físicamente a la máscara 612 o empotrado dentro de la máscara 612. En los ejemplos de las figuras 11 a 16, las máscaras (por ejemplo, la máscara 1100) tienen forma circular. Cada una de estas máscaras puede tener por el contrario otra forma (por ejemplo, cuadrada o rectangular) sin salir del alcance del presente documento. Cuando se implementa en el filtro de Fourier 600, las máscaras de las figuras 11 a 16 pueden estar centradas en el eje óptico 622 o descentradas del eje óptico 622.

55

60

La figura 17 ilustra un proyector de láser policromático 1700 que tiene modulación dual y filtrado de orden de difracción en cada canal de color individual antes de la combinación de los diferentes colores. El proyector de láser 1700 es una extensión del proyector de láser 100 configurado para procesar múltiples colores y sacar luz

65

policromática. La figura 17 muestra el proyector de láser 1700 como que tiene tres canales 1710(1), 1710(2) y 1710(3) de color. Estos tres canales de color pueden ser rojo, verde y azul. Sin embargo, sin salir del alcance del presente documento, el proyector de láser 1700 puede configurarse con solo dos canales de color 1710 o más de tres canales de color 1710. Cada canal de color 1710 incluye una instancia respectiva del sistema de modulación dual 102. Cada canal de color 1710 individual del proyector de láser 1700 se beneficia, por tanto, de la modulación dual y el filtrado proporcionados por el sistema de modulación dual 102. Cada canal de color 1710 incluye además una lente de colimación 1720 respectiva o, alternativamente, el filtro 140 de cada sistema de modulación dual 102 incluye una lente de colimación (por ejemplo, la lente de colimación 618). De este modo, cada canal de color 1710 saca luz 1780 filtrada modulada monocromática que está colimada. En ciertas realizaciones, cada canal de color 1710 incluye además un módulo de iluminación basado en láser 160 respectivo que proporciona luz de láser 180 a la correspondiente instancia del sistema de modulación dual 102. Alternativamente, el proyector de láser 1700 está configurado para recibir luz de láser 180 desde fuentes de iluminación basadas en láser de terceras partes.

El proyector de láser 1700 también incluye un combinador de haz 1704 y una única instancia de óptica de proyección 150. El combinador de haz 1704 combina la luz 1780 de cada canal de color 1710 para producir luz policromática 1782. La óptica de proyección 150 proyecta luz policromática 1782 sobre una pantalla no mostrada en la figura 17, tal como la pantalla 152. Aunque se muestra en la figura 17 como un prisma dicróico transversal (o cubo x), el combinador de haz 1704 puede ser otro tipo de combinador de haz conocido en la técnica, tal como un primer combinador de haz dicróico que combina dos canales de color 1710 seguidos por un segundo combinador de haz dicróico que se acopla adicionalmente en un tercer canal de color 1710. El proyector de láser 1700 puede incluir además espejos 1730, u otros elementos de direccionamiento por haz, para dirigir la luz 1780 al combinador de haz 1704.

Cada canal de color 1710 puede optimizarse específicamente para procesar su color respectivo. En una realización, cada instancia del filtro 140 está configurada específicamente para filtrar órdenes de difracción del color que está procesándose por esta instancia del filtro 140, como para tener en cuenta la naturaleza sensible a la longitud de onda de la difracción. Por ejemplo, cuando se implementa el filtro de Fourier 600 en cada instancia del sistema de modulación dual 102, cada correspondiente instancia de la máscara 612 puede configurarse específicamente para filtrar de manera óptima los órdenes de difracción del color particular que está procesándose por el canal de color.

Sin salir del alcance del presente documento, cierta funcionalidad de los sistemas de modulación dual 102 puede moverse fuera de los casos individuales del sistema de modulación dual 102 y por el contrario colocarse entre el combinador de haz 1704 y la óptica de proyección 150. En una de tales realizaciones, cada sistema de modulación dual 102 omite el SLM mecánico de amplitud 130 y el filtro 140, y un único SLM mecánico de amplitud 130 y un único filtro 140 están situados en la trayectoria de luz combinada entre el combinador de haz 1704 y la óptica de proyección 150 para procesar los tres colores juntos. También sin salir del alcance del presente documento, el proyector de láser 1700 policromático puede proporcionarse sin ninguna instancia del filtro 140.

La figura 18 ilustra un método de proyección de láser de modulación dual 1800. El método 1800 puede ser realizado por el sistema de modulación dual 102 o el proyector de láser 100. El método 1800 incluye los pasos 1810, 1820, 1850, 1860 y 1870.

El paso 1810 divide la luz de láser en unos haces polarizados primero y segundo que tienen polarizaciones mutuamente ortogonales. En un ejemplo del paso 1810, el PBS 110 divide la luz de láser 180 en haces polarizados 182 y 184, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1.

El paso 1820 modula en fase el segundo haz polarizado de una manera no uniforme espacialmente para pre-direccionar por haz el segundo haz polarizado. En un ejemplo del paso 1820, el SLM de fase 120 modula el haz polarizado 184 para producir el haz polarizado 186 pre-direccionado por haz, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1.

El paso 1850 combina los haces polarizados primero y segundo en luz combinada. En un ejemplo del paso 1850, el sistema de modulación dual 102 combina los haces polarizados 182 y 186 sobre o antes del SLM mecánico de amplitud 130, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1. En otro ejemplo del paso 1850, el combinador de haz de polarización 222 combina los haces polarizados 182 y 286 para producir el haz combinado 288, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 2. En aún otra realización más, los haces polarizados 182 y 286 se combinan directamente en el DMD 230, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 3.

El paso 1860 modula mecánicamente en amplitud la luz combinada, formada en el paso 1850, de una manera no uniforme espacialmente. En un ejemplo del paso 1860, el SLM mecánico de amplitud 130 modula una combinación de los haces polarizados 182 y 186 para producir luz modulada combinada 190, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1. En otro ejemplo del paso 1860, el DMD 230 modula una

combinación de haces polarizados 182 y 286 para producir luz modulada combinada 290, como se ha analizado anteriormente en referencia a las figuras 2 y 3.

5 El paso 1870 elimina, de la luz combinada producida en el paso 1850, uno o más de una pluralidad de órdenes de difracción introducidos en el paso 1860, como para generar luz de salida modulada filtrada. En un ejemplo del paso 1870, el filtro 140 elimina uno o más órdenes de difracción de la luz modulada combinada 190, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1 y se elabora adicionalmente en referencia a las figuras 7 y 8. En otro ejemplo del paso 1870, el filtro de Fourier 600 filtra espacialmente la luz modulada 602 para producir luz filtrada 614, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 6 y se elabora adicionalmente en referencia a las figuras 7 a 16.

15 En una realización, el paso 1870 incluye los pasos 1872 y 1874. El paso 1872 transforma por Fourier espacialmente ángulos de los órdenes de difracción en posiciones de los órdenes de difracción en un plano de Fourier. En un ejemplo del paso 1872, la lente 604 transforma por Fourier la luz modulada 602 en el plano de Fourier 608, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 6 y se elabora adicionalmente en referencia a las figuras 9 y 10. El paso 1874 transmite, en el plano de Fourier, solo una porción de la luz combinada que tiene posición en el plano de Fourier que corresponde a un primer subconjunto de los órdenes de difracción, y bloquea una porción restante de la luz combinada. En un ejemplo del paso 1874 la máscara 612 (a) transmite órdenes de difracción asociados con una o más, pero no todas, las direcciones de propagación 710 y (b) bloquea órdenes de difracción restantes, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 6 y se elabora adicionalmente en referencia a las figuras 9 a 16.

25 El método 1800 puede incluir además un paso 1890 de proyectar la luz de salida modulada filtrada, generada en el paso 1870, a una pantalla. En un ejemplo del paso 1890, la óptica de proyección 150 proyecta el campo de luz 192 sobre la pantalla 152. El método 1800 también puede incluir un paso 1880 que colima la luz de salida modulada, filtrada, generada en el paso 1870. En un ejemplo del paso 1880, la lente de colimación 618 colima la luz filtrada 614, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 6. En otro ejemplo del paso 1880, el campo de luz 192 es colimado por una lente de colimación incorporada en el filtro 140 o situada entre el filtro 140 y la óptica de proyección 150, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1.

30 En ciertas realizaciones, el método 1800 incluye además un paso 1830 y el paso 1850 implementa un paso 1852. El paso 1830 rota la polarización del primer haz polarizado para ajustar la potencia de un primer componente de polarización lineal del primer haz polarizado. El paso 1852 combina el segundo haz polarizado sólo con el primer componente de polarización lineal del primer haz polarizado. En un ejemplo de los pasos 1830 y 1852, la óptica de atenuación 212 se implementa como un rotador de polarización variable que, en el paso 1830, rota la polarización del haz polarizado 182 para ajustar la potencia de un primer componente de polarización lineal del haz polarizado 182 antes de polarizar el combinador de haz 222, en el paso 1852 y en virtud de ser selectivo en polarización, combina el haz polarizado 286 con solo el primer componente de polarización lineal del haz polarizado 182, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 2. En otro ejemplo de los pasos 1830 y 1852, el rotador de polarización variable 312, en el paso 1830, rota la polarización del haz polarizado 182 para ajustar la potencia de un primer componente de polarización lineal del haz polarizado 182 antes del polarizador 314, en el paso 1852, transmite sólo el primer componente de polarización lineal del haz polarizado 182 al DMD 230, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 3.

45 El método 1800 puede incluir un paso 1840 que se realiza después del paso 1810 y antes del paso 1850, por ejemplo, pero no necesariamente entre los pasos 1820 y 1850 como se muestra en la figura 18. El paso 1840 rota la polarización de uno de los haces polarizados primero y segundo de tal manera que los haces polarizados primero y segundo tienen la misma polarización durante el paso 1860. En un ejemplo del paso 1840, el polarizador 314 del sistema de modulación dual 300 está configurado de tal manera que la dirección de polarización del haz polarizado 182, después del polarizador 314, rota noventa grados en comparación con la dirección de polarización del haz polarizado 182 en la salida del PBS 110, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 3. En otro ejemplo del paso 1840, el sistema de modulación dual 300 implementa una placa de media onda en (a) la trayectoria del haz polarizado 182 o (b) la trayectoria de uno de los haces polarizados 184 y 286, como también se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 3.

60 La figura 19 ilustra un método de proyección de láser de modulación dual policromático 1900. El método 1900 es una extensión del método 1800 y se realiza, por ejemplo, mediante el proyector de láser policromático 1700. El método 1900 incluye los pasos 1910 y 1930. El paso 1910 realiza una realización del método 1800 para tres colores diferentes de luz de láser separadamente para producir luz de salida modulada, filtrada, de cada uno de los tres colores diferentes. La realización del método 1800 realizada en el paso 1910 concluye con el paso 1870 y no incluye los pasos 1880 y 1890. El paso 1910 puede incluir uno o ambos pasos 1830 y 1840. En un ejemplo del paso 1910, cada instancia del sistema de modulación dual 102 modula y filtra la luz de láser 180 de uno respectivo de los tres colores para la luz 1780 del respectivo de los tres colores, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 17.

El paso 1930 combina la luz de salida modulada, filtrada, de los tres colores diferentes (como se genera en el paso 1910), para formar luz de salida policromática. En un ejemplo del paso 1930, el combinador de haz 1704 combina los tres colores diferentes de la luz 1780 recibidos de los canales de color 1710 para formar la luz policromática 1782, tal como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 17.

5

En una realización, el método 1900 incluye un paso 1920. El paso 1920 colima la luz de salida modulada, filtrada, para cada uno de los tres colores, separadamente. En un ejemplo del paso 1920, cada color de la luz 1780 se colima mediante una instancia respectiva de la lente de colimación 1720 o mediante una lente de colimación incluida en la instancia respectiva del sistema de modulación dual 102, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 17.

10

El procedimiento 1900 puede incluir además un paso 1940 de proyección de la luz de salida policromática sobre una pantalla. En un ejemplo de el paso 1940, la óptica de proyección 150 proyecta la luz policromática 1782 sobre una pantalla, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 17.

15

El método 1900 se extiende fácilmente al procesamiento de solo dos colores diferentes o más de tres colores diferentes.

20

La figura 20 ilustra un sistema de modulación dual 2002 con modulación de fase separada y resultante pre-direccionamiento por haz de ambos componentes de polarización de la luz de láser de entrada. El sistema de modulación dual 2002 es una extensión del sistema de modulación dual 102 que incluye además un segundo SLM de fase 2020 en la trayectoria del haz polarizado 182. El SLM de fase 2020 es similar al SLM de fase 120 y modula fases del haz polarizado 182 para direccionar por haz un haz polarizado resultante 2082 antes de que el SLM mecánico de amplitud 130 module amplitudes de la combinación de haces polarizados 2082 y 186. Cada uno de los SLM de fase 120 y 2020 recibe luz de entrada polarizada, y el sistema de modulación dual 2002 consigue mediante ello el pre-direccionamiento por haz de ambos componentes de polarización de la luz de láser 180 mientras que evita los problemas asociados con la modulación de fase de luz polarizada parcialmente o no polarizada usando un SLM de fase simple.

25

30

La figura 20 representa el sistema de modulación dual 2002 en un ejemplo de escenario de uso. En este escenario, el sistema de modulación dual 2002 se implementa en un proyector de láser digital 2000 de modulación dual que, además del sistema de modulación dual 2002, incluye óptica de proyección 150 para proyectar el campo de luz 192 sobre la pantalla 152 como iluminación 194 de pantalla. La iluminación 194 de pantalla produce una imagen en la pantalla 152. El proyector de láser 2000 puede incluir además un módulo de iluminación basado en láser 160 para generar luz de láser 180.

35

En comparación con el sistema de modulación dual 102, el sistema de modulación dual 2002 ofrece un mayor grado de direccionamiento por haz, ya que ambos componentes de polarización de la luz de láser 180 están sometidos a modulación de fase. Sin embargo, cuando son deseables un coste y/o simplicidad más menores, el sistema de modulación dual 102 puede preferirse sobre el sistema de modulación dual 2002.

40

El sistema de modulación dual 2002 reemplaza el controlador opcional 170 del sistema de modulación dual 102 por un controlador 2070 opcional que es similar al controlador 170 excepto por el control adicional del SLM de fase 2020.

45

La figura 21 ilustra otro sistema de modulación dual 2102. Esta realización no está de acuerdo con la invención y está presente únicamente con fines ilustrativos. El sistema de modulación dual 2102 es similar al sistema de modulación dual 102 excepto que (a) el filtro 140 puede omitirse en algunas realizaciones y (b) el SLM mecánico de amplitud 130 se reemplaza por un SLM de amplitud 2130 que puede ser mecánico o no mecánico.

50

Cuando no es mecánico, el SLM de amplitud 2130 puede ser un SLM de cristal líquido, tal como un LCOS o un panel LC transmisor configurado para modulación de amplitud. Realizaciones no mecánicas del SLM de amplitud 2130 pueden causar menos difracción que el SLM mecánico de amplitud 130. Por lo tanto, en una realización del sistema de modulación dual 2102, el SLM de amplitud 2130 es no mecánico y el filtro 140 se omite y el sistema de modulación dual 2102 saca luz modulada combinada 190. En otra realización del sistema de modulación dual 2102, el SLM de amplitud 2130 se implementa como el SLM mecánico de amplitud 130 y no obstante se omite el filtro 140, por ejemplo para reducir el coste y/o la complejidad cuando es aceptable una PCR más baja. En otra realización más del sistema de modulación dual 2102, el SLM de amplitud 2130 es no mecánico y el sistema de modulación dual 2102 incluye el filtro 140 para eliminar uno o más órdenes de difracción de la luz modulada combinada 190.

55

60

La figura 21 representa el sistema de modulación dual 2102 en un escenario de uso, en el que el sistema de modulación dual 2102 se implementa en un proyector de láser digital de modulación dual 2100 que, además del sistema de modulación dual 2102, incluye óptica de proyección 150 para proyectar el campo de luz 192 o luz modulada combinada 190 sobre la pantalla 152 como iluminación de pantalla 194. La iluminación de pantalla 194 produce una imagen en la pantalla 152. El proyector de láser 2100 puede incluir además un módulo de

65

iluminación basado en láser 160 para generar luz de láser 180.

5 La figura 22 ilustra un sistema de modulación dual 2202 que tiene solo una única trayectoria de modulación. Esta realización no está de acuerdo con la invención y está presente únicamente con fines ilustrativos. El sistema de modulación dual 2202 es similar al sistema de modulación dual 102 aparte de omitir el PBS 110 y, opcionalmente, reemplazar el PBS 110 con un polarizador 2210.

10 En realizaciones del sistema de modulación dual 2202 que no incluyen el polarizador 2210, el SLM de fase 120 modula en fase la luz de láser 180 para producir luz modulada en fase 2286. A continuación, el SLM mecánico de amplitud 130 modula en amplitud la luz modulada en fase 2286 para producir luz modulada dual 2290. El filtro 140 filtra entonces órdenes de difracción de la luz modulada dual 2290 para sacar un campo de luz modulada dual, filtrada, 2292. Cuando la luz de láser 180 no está polarizada o está parcialmente polarizada, el control de modulación de fase conseguido por el SLM de fase 120 puede ser inferior al óptimo. Sin embargo, para algunas aplicaciones, un control de modulación de fase inferior al óptimo puede ser suficiente, en cuyo caso el sistema de modulación dual 2202 es una solución más simple que el sistema de modulación dual 102.

20 En ciertas realizaciones, particularmente adecuadas para su uso con luz no polarizada o parcialmente polarizada, el sistema de modulación dual 2202 incluye el polarizador 2210. En tales realizaciones, el polarizador 2210 selecciona un único componente de polarización de la luz de láser 180 para formar el haz polarizado 184. A continuación, el haz polarizado 184 se somete a modulación de fase por el SLM de fase 120 para formar el haz polarizado 186, y el haz polarizado 186 se somete a modulación de amplitud por el SLM mecánico de amplitud 130 para formar el campo de luz 2292. El campo de luz 2292 es filtrado entonces por el filtro 140, como se ha analizado anteriormente en referencia a la figura 1 para la luz modulada combinada 190.

25 En escenarios en los que la luz de láser 180 está polarizada, el control de modulación de fase del SLM de fase 120 no está comprometido por la omisión del PBS 110, y el polarizador 2210 puede omitirse sin afectar al rendimiento del sistema de modulación dual 2202.

30 La figura 22 representa el sistema de modulación dual 2202 en un escenario de uso, en el que el sistema de modulación dual 2202 se implementa en un proyector de láser digital de modulación dual 2200 que, además del sistema de modulación dual 2202, incluye óptica de proyección 150 para proyectar el campo de luz 2292 sobre la pantalla 152 como iluminación de pantalla 194. La iluminación de pantalla 194 produce una imagen en la pantalla 152. El proyector de láser 2200 puede incluir además un módulo de iluminación basado en láser 160 para generar luz de láser 180.

35

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de modulación dual (102, 200, 300, 2002) para modular luz de láser (180) que comprende:
- 5 un divisor de haz de polarización (110) para dividir dicha luz de láser (180) en haces polarizados primero (182) y segundo (184) que tienen polarizaciones mutuamente ortogonales;
- un modulador espacial de luz de fase (120, 220), sensible a la polarización, para direccionar por haz el segundo haz polarizado (184);
- 10 un modulador mecánico espacial de luz de amplitud (130, 230) para modular en amplitud una combinación de (i) el primer haz polarizado (182) y (ii) un haz polarizado direccionado por haz (186, 286) como haz direccionado por el modulador espacial de luz de fase (120, 220), estando configurado el modulador mecánico espacial de luz de amplitud (130, 230) para recibir los haces polarizados primero (182) y direccionado por haz (186, 286) desde dos
- 15 direcciones respectivas diferentes, como para formar una combinación modulada en amplitud (190, 290, 390) de los haces polarizados primero y direccionado por haz;
- una placa de media onda para rotar la polarización de uno de los haces polarizados primero (182) y direccionado por haz (186, 286), antes de la combinación de los mismos en el modulador mecánico espacial de luz de amplitud (130, 230),
- 20 de tal manera que los haces polarizados primero (182) y direccionado por haz (186, 286) tienen la misma polarización cuando son recibidos por el modulador mecánico espacial de luz de amplitud (130, 230); y
- 25 un filtro (140, 600) para eliminar, de la combinación modulada en amplitud (190, 290, 390) de los haces polarizados primero y direccionado por haz, uno o más de una pluralidad de órdenes de difracción introducidos por el modulador mecánico espacial de luz de amplitud (130, 230), para generar luz de salida modulada, filtrada (192, 292).
- 30 2. El sistema de modulación dual de la reivindicación 1, que comprende además un combinador de haz de polarización para formar, y dirigir hacia el modulador mecánico espacial de luz de amplitud, la combinación de los haces polarizados primero y direccionado por haz.
3. El sistema de modulación dual de la reivindicación 2, que comprende además una placa de onda, entre el
- 35 divisor de haz de polarización y el combinador de haz de polarización, para cambiar la polarización del primer haz polarizado, para ajustar una fracción del primer haz polarizado que se dirige hacia el modulador mecánico espacial de luz de amplitud por el combinador de haz de polarización.
4. El sistema de proyección de láser de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el
- 40 que el filtro está configurado para generar la luz de salida como luz colimada, o en el que el sistema de modulación dual comprende además una lente de colimación.
5. El sistema de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además un controlador configurado para controlar una operación del modulador espacial de luz de fase, el modulador
- 45 mecánico espacial de luz de amplitud, y el filtro para producir una luz de salida deseada especificada por una entrada externa al controlador.
6. El sistema de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo el filtro:
- 50 una lente para transformar por Fourier espacialmente los órdenes de difracción; y
- una máscara, situada en el plano de Fourier de la lente, para transmitir al menos uno de los órdenes de difracción mientras bloquea los órdenes de difracción restantes.
- 55 7. El sistema de proyección de láser de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, incluyendo el modulador mecánico espacial de luz de amplitud una matriz de espejos para modular la amplitud de respectivos componentes espaciales de la combinación de los haces polarizados primero y direccionado por haz.
- 60 8. El sistema de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, incluyendo el modulador espacial de luz de fase una matriz de cristales líquidos para modular la fase de respectivos componentes espaciales del segundo haz polarizado para inducir dicho direccionamiento por haz del segundo haz polarizado.
9. Un sistema de proyección de láser de modulación dual (100, 2000) que comprende el sistema de modulación
- 65 dual (102, 200, 300, 2002) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además un módulo de iluminación (160) para sacar la luz de láser (180) como luz no polarizada.

- 5 10. Un método de modulación dual (1800) que comprende: dividir (1810) luz de láser en haces polarizados primero y segundo que tienen polarizaciones mutuamente ortogonales; modulación en fase (1820), mediante un modulador espacial de luz de fase, sensible a la polarización, el segundo haz polarizado de una manera espacialmente no uniforme para direccionar por haz el segundo haz polarizado; y después del paso de modular el segundo haz polarizado:
- 10 rotar (1840) la polarización de uno de los haces polarizados primero y direccionado por haz de tal manera que los haces polarizados primero y direccionado por haz tienen la misma polarización,
- combinar (1850) los haces polarizados primero y direccionado por haz en luz combinada,
- modular mecánicamente en amplitud (1860) la luz combinada de manera espacialmente no uniforme, y
- 15 eliminar (1870), de la luz combinada modulada en amplitud, uno o más de una pluralidad de órdenes de difracción introducidos en el paso de modular mecánicamente en amplitud la luz combinada, como para generar luz de salida modulada filtrada.
- 20 11. El método de modulación dual de la reivindicación 10, comprendiendo el paso de modular mecánicamente en amplitud ajustar la orientación de una pluralidad de espejos de una matriz de espejos.
12. El método de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11, en el paso de división, cada una de las polarizaciones mutuamente ortogonales es lineal.
- 25 13. El método de modulación dual de la reivindicación 12, que comprende además,
- antes del paso de combinar, rotar la polarización del primer haz polarizado para ajustar la potencia de un primer componente de polarización lineal del primer haz polarizado; y
- 30 el paso de combinar comprende combinar el haz polarizado direccionado por haz con solo el primer componente de polarización lineal del primer haz polarizado.
- 35 14. El método de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que comprende además el paso de generar la luz de salida como luz colimada.
- 40 15. El método de modulación dual de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, comprendiendo el paso de eliminar:
- transformar por Fourier espacialmente ángulos de los órdenes de difracción en posiciones de los órdenes de difracción en un plano de Fourier; y
- en el plano de Fourier:
- 45 transmitir solo una porción de la luz combinada modulada en amplitud que tiene una posición en el plano de Fourier que corresponde a un primer subconjunto de los órdenes de difracción, y
- bloquear una porción restante de la luz combinada modulada en amplitud.

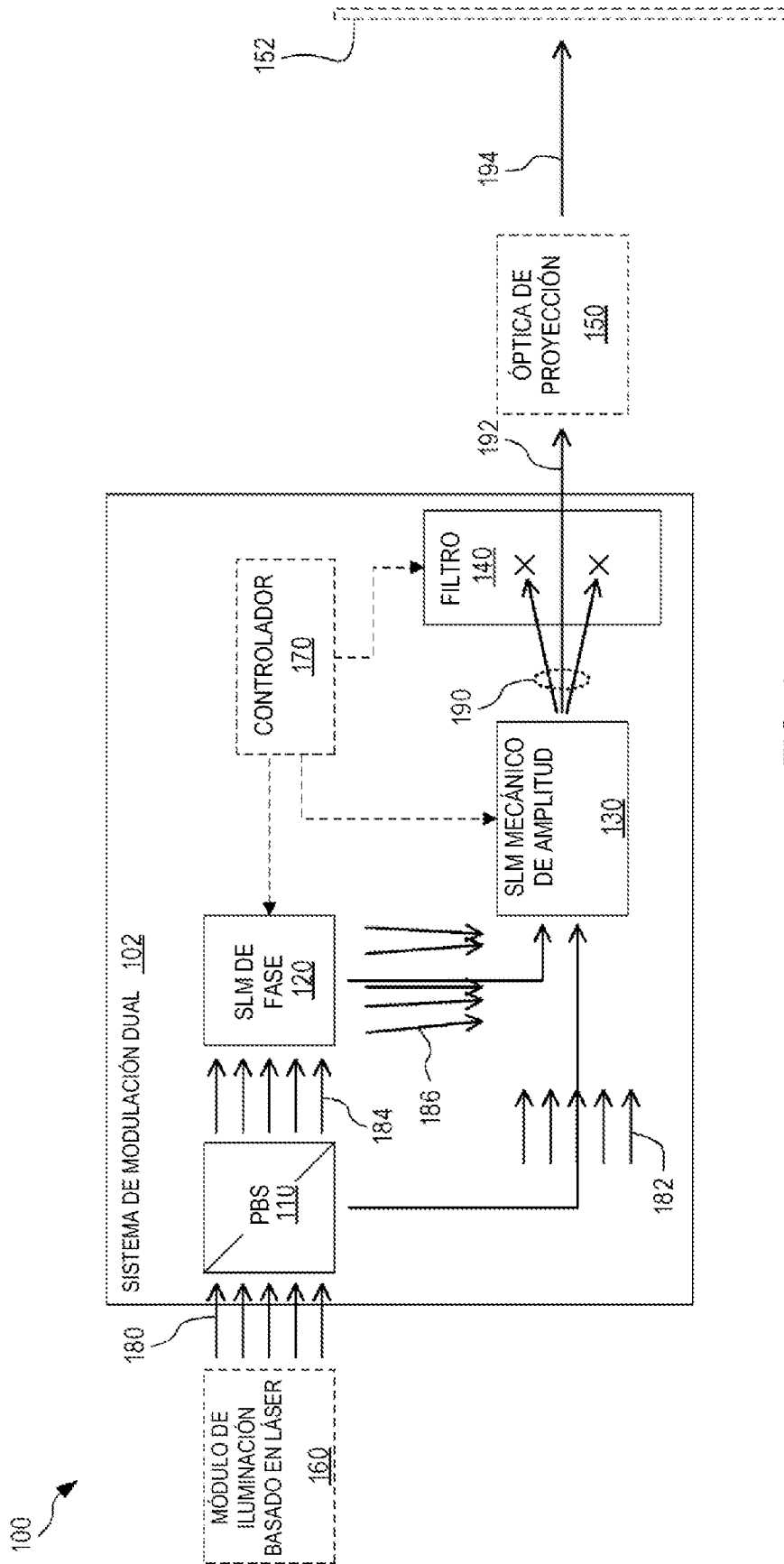


FIG. 1

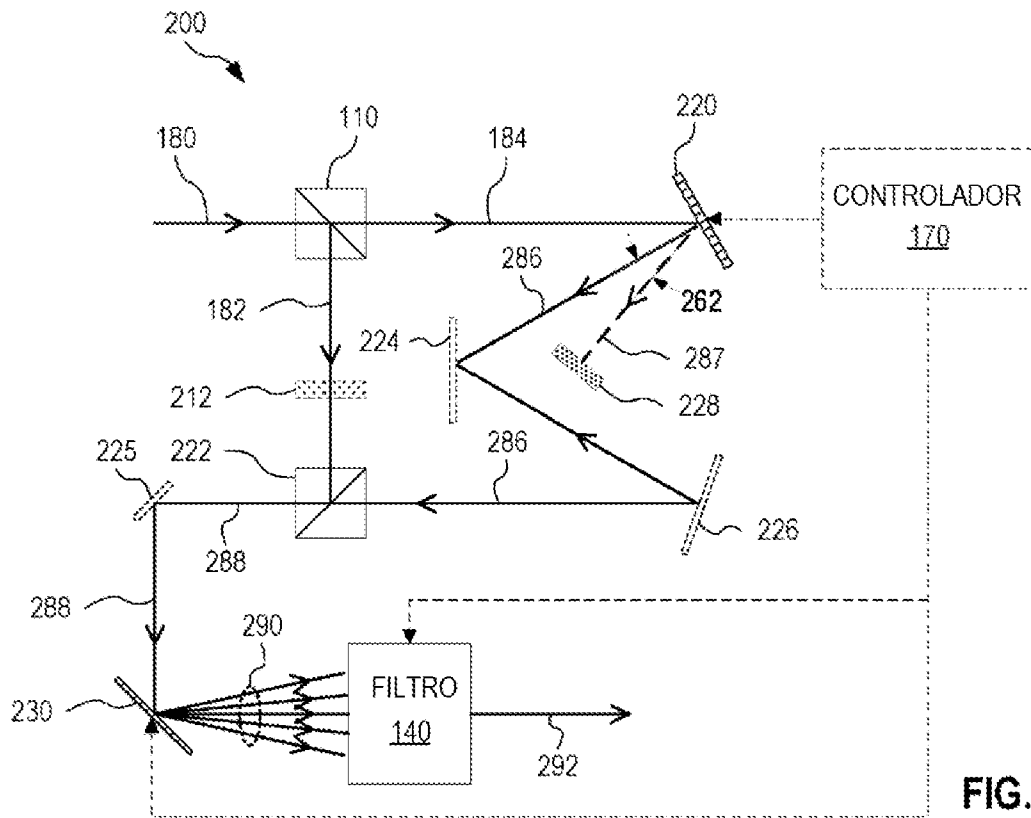


FIG. 2

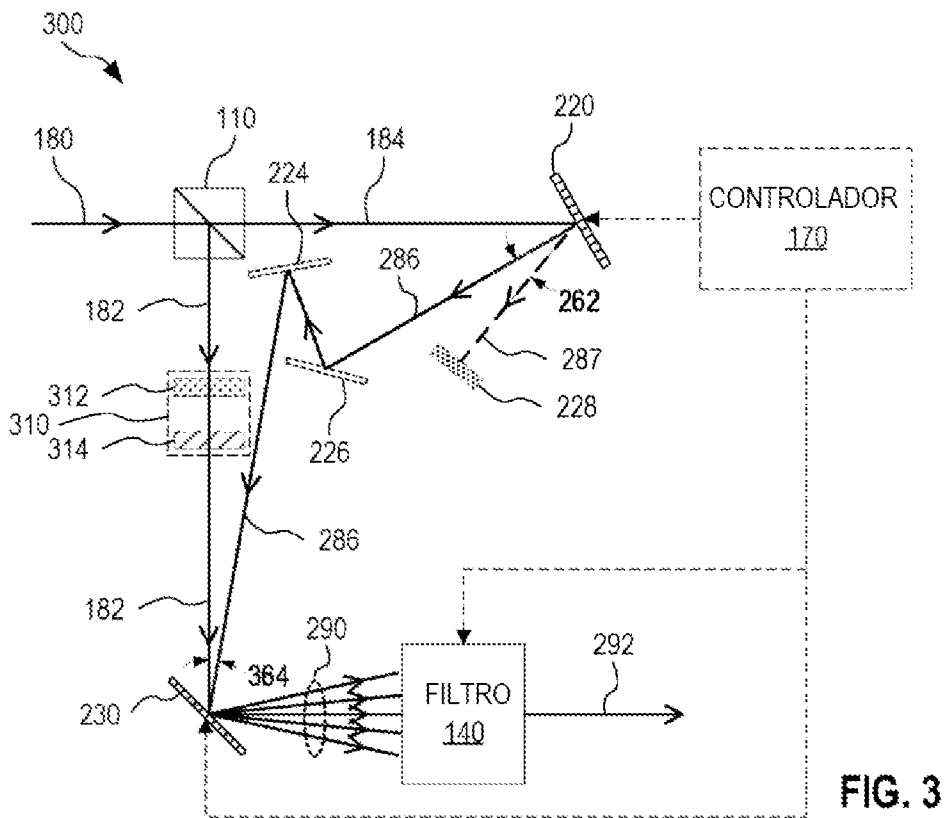
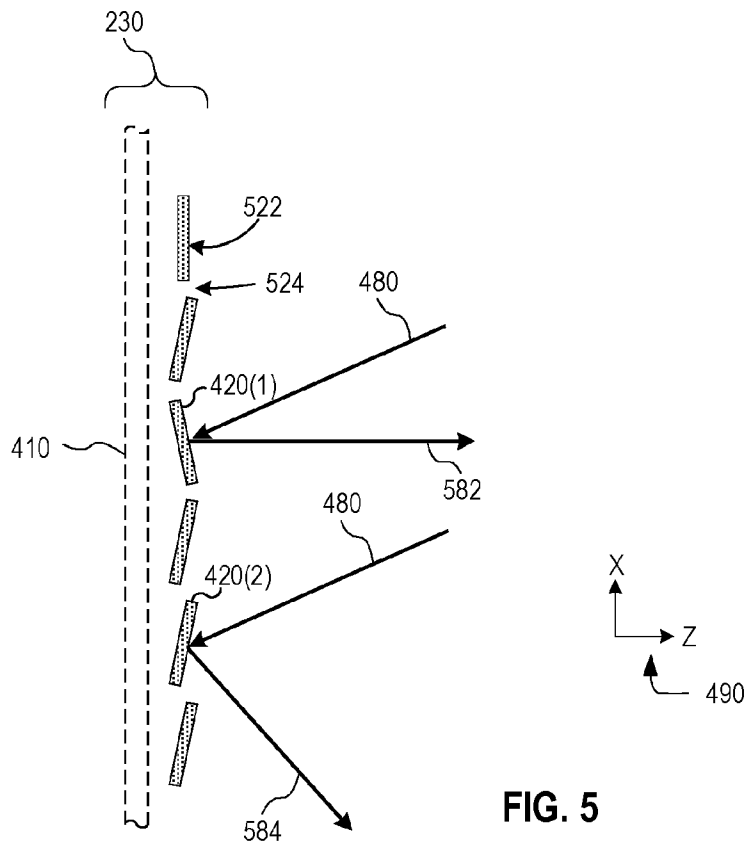
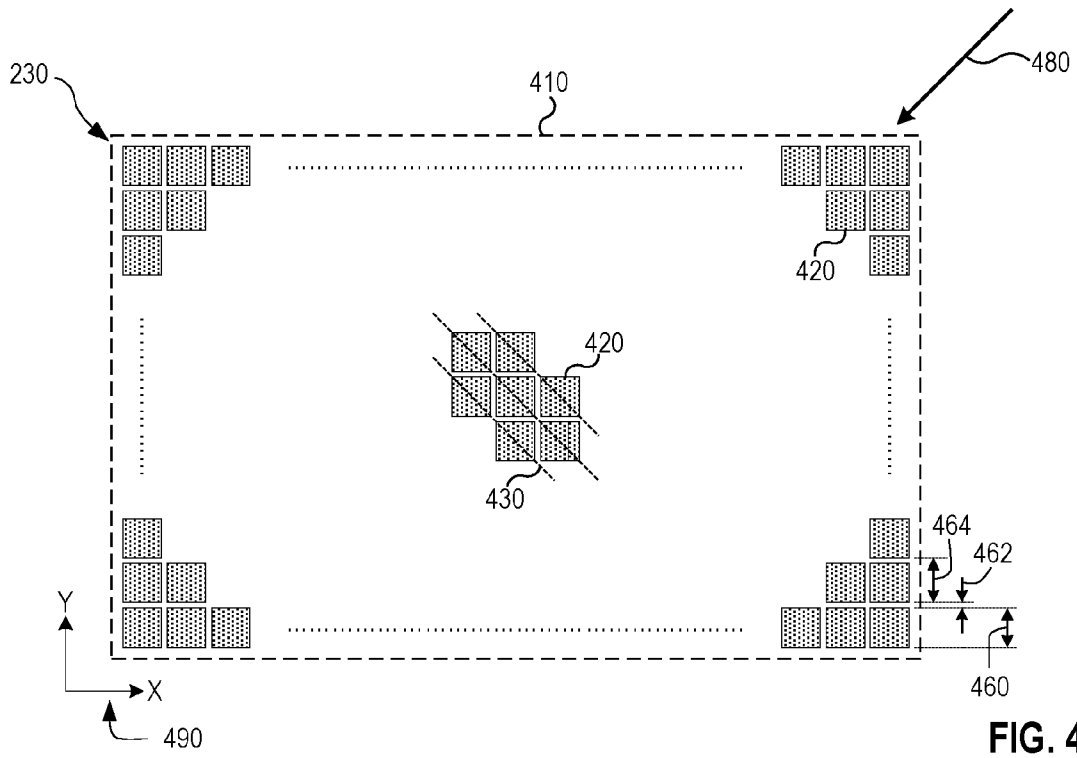


FIG. 3



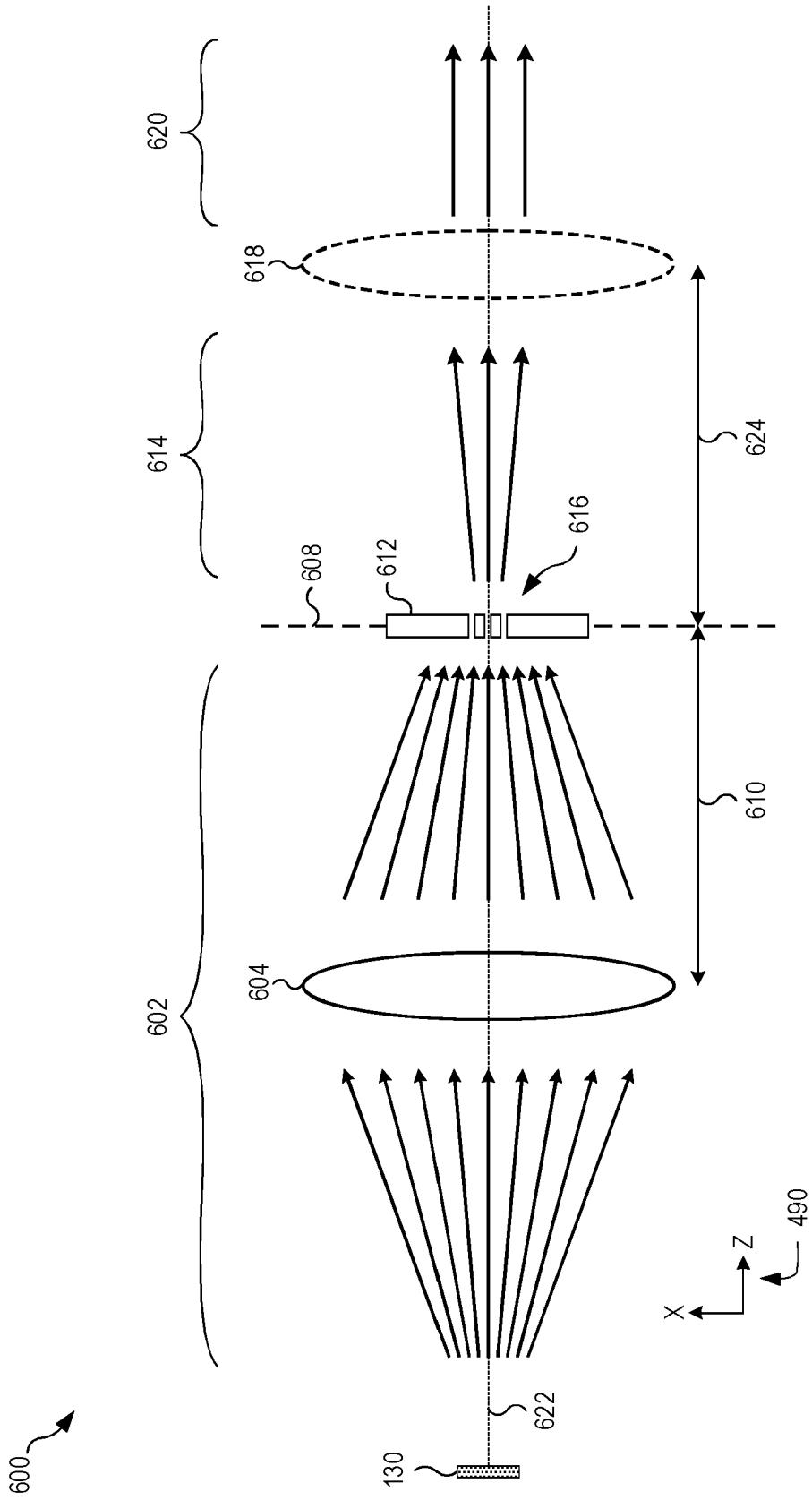


FIG. 6

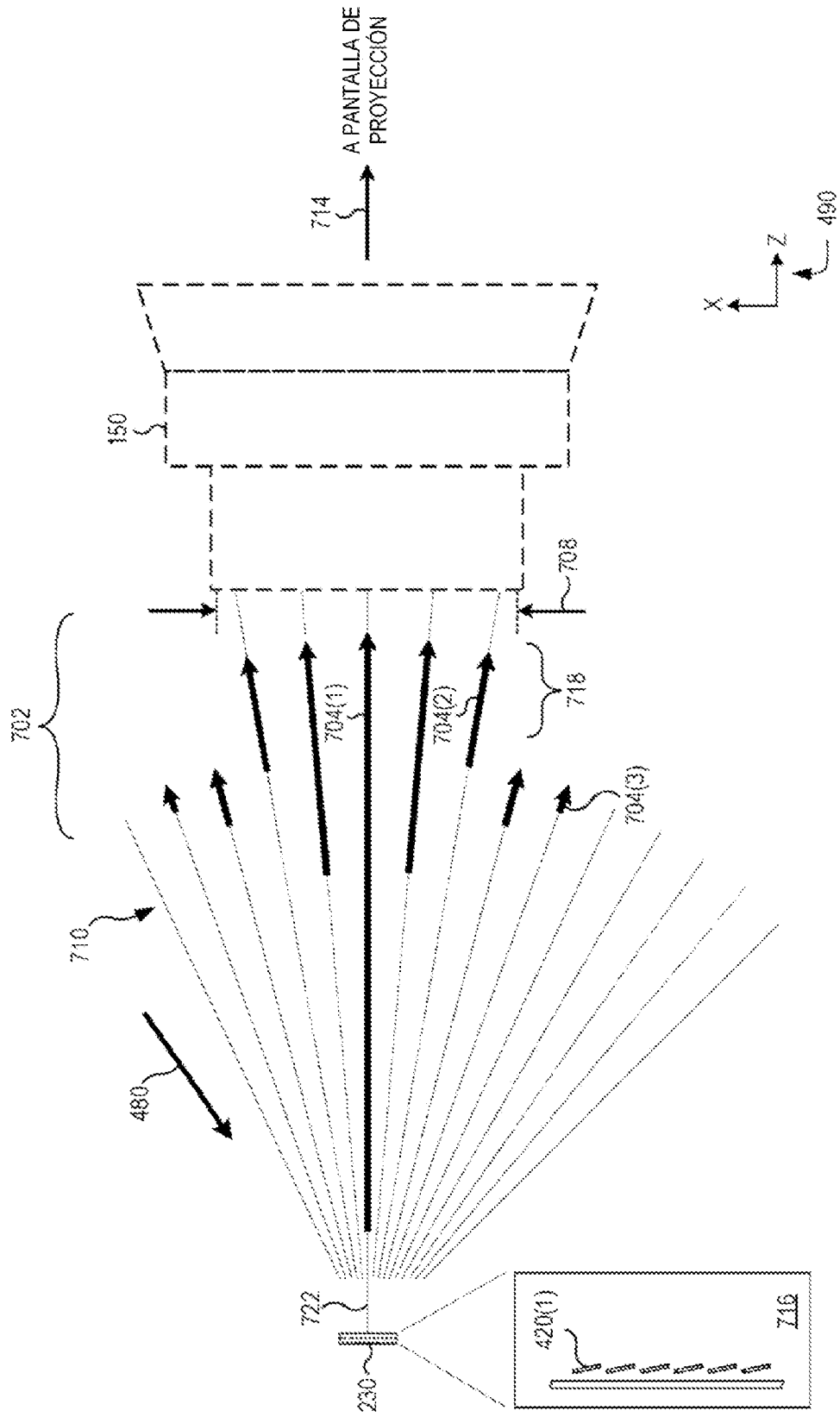


FIG. 7

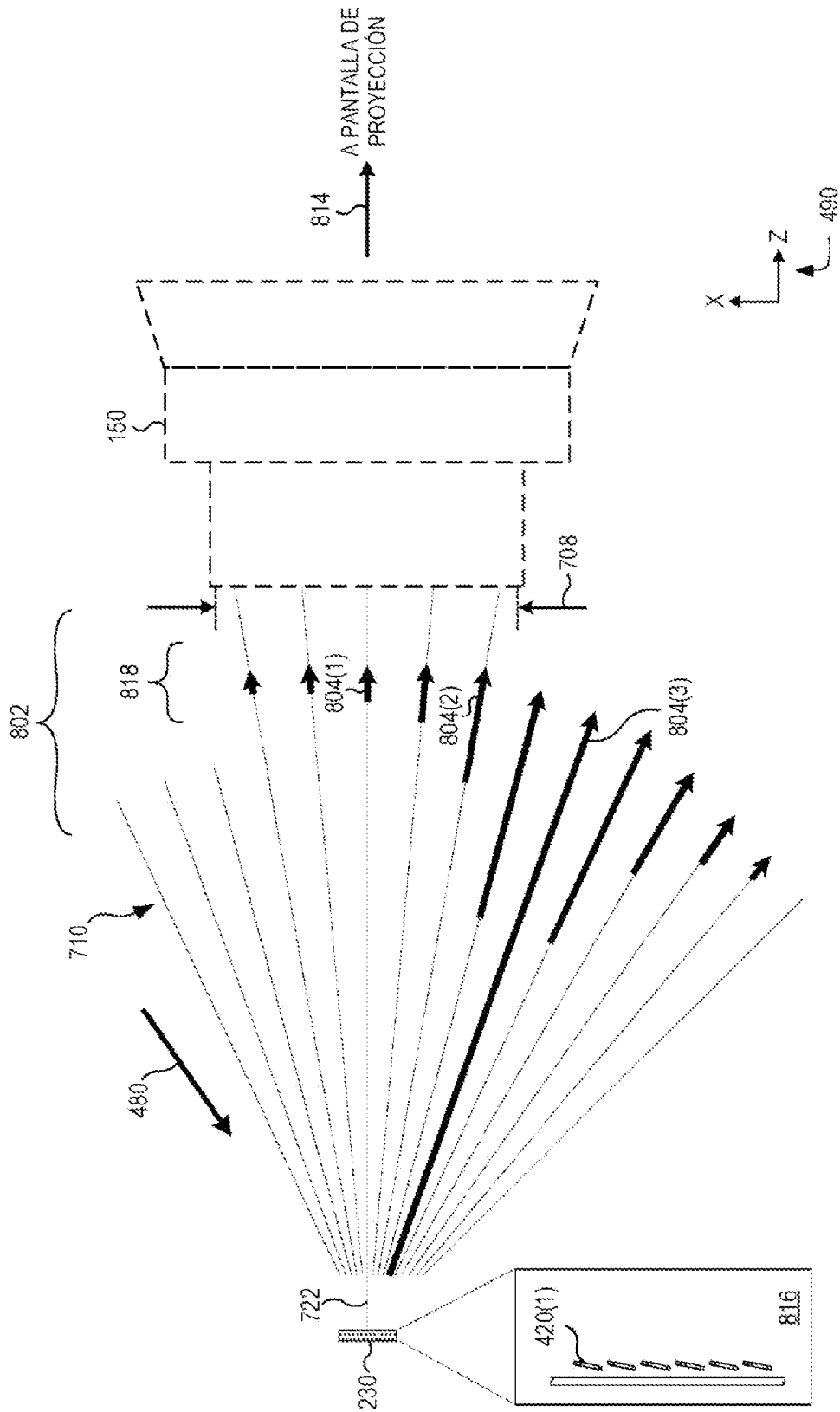


FIG.8

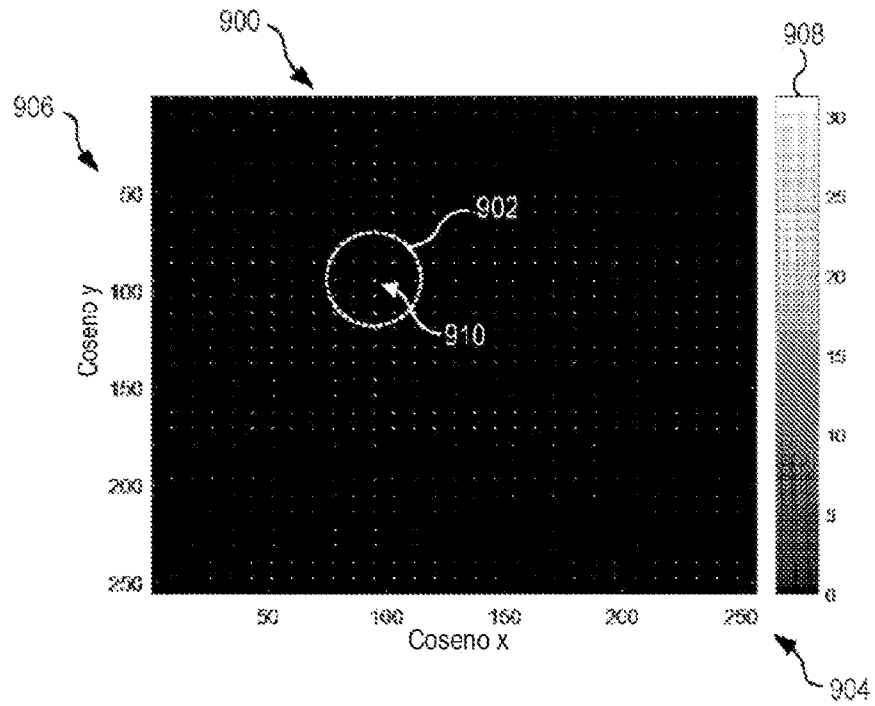


FIG. 9

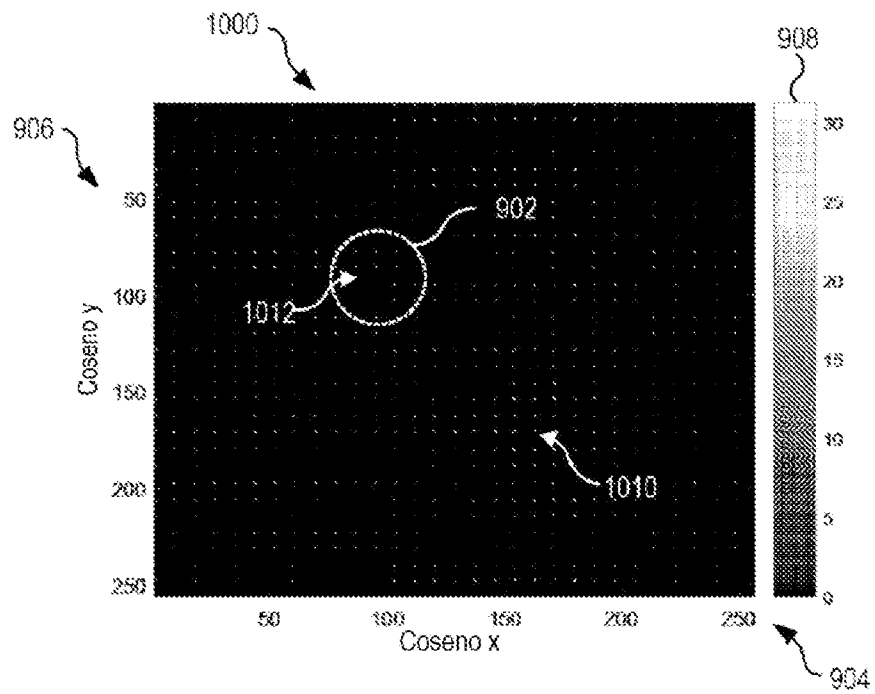


FIG. 10

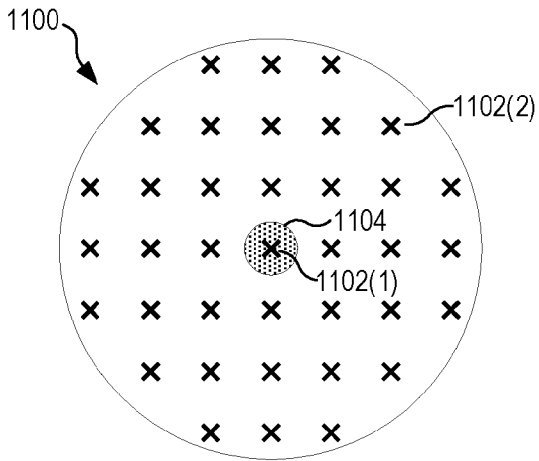


FIG. 11

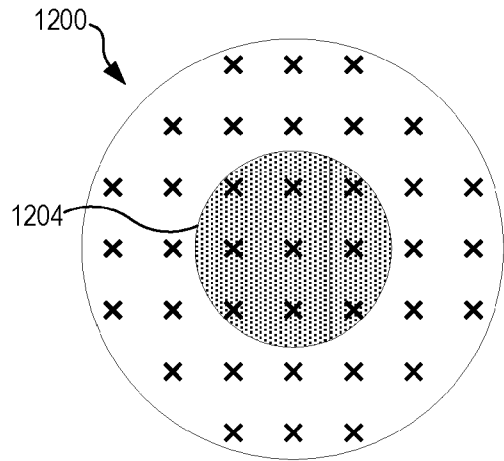


FIG. 12

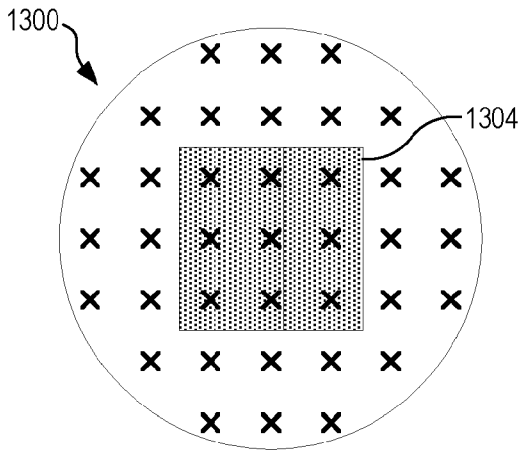


FIG. 13

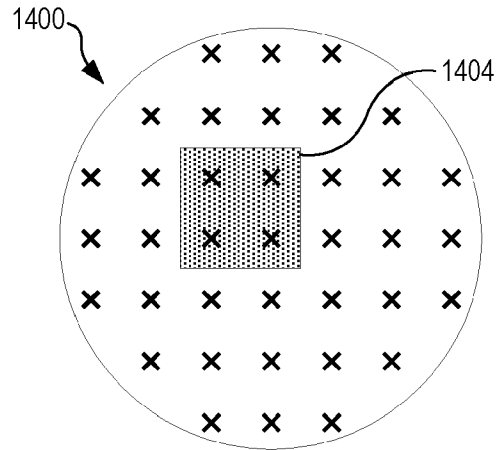


FIG. 14

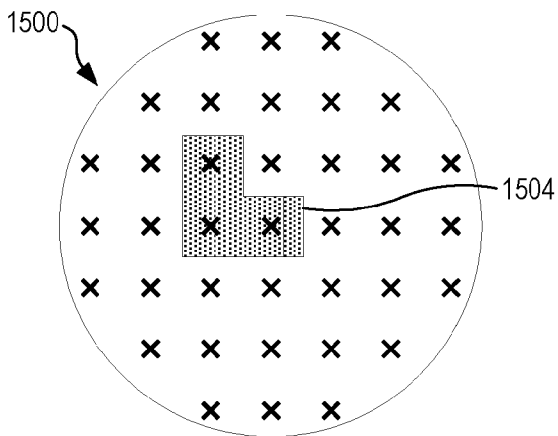


FIG. 15

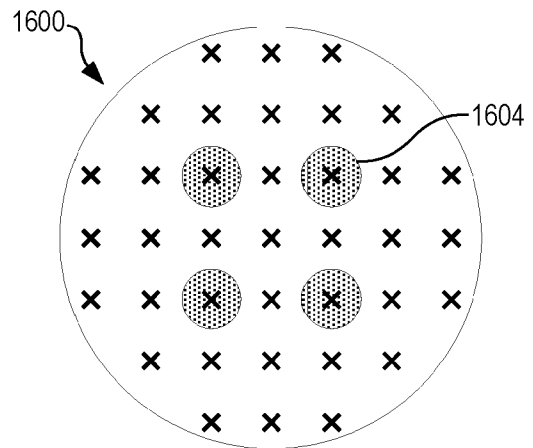


FIG. 16

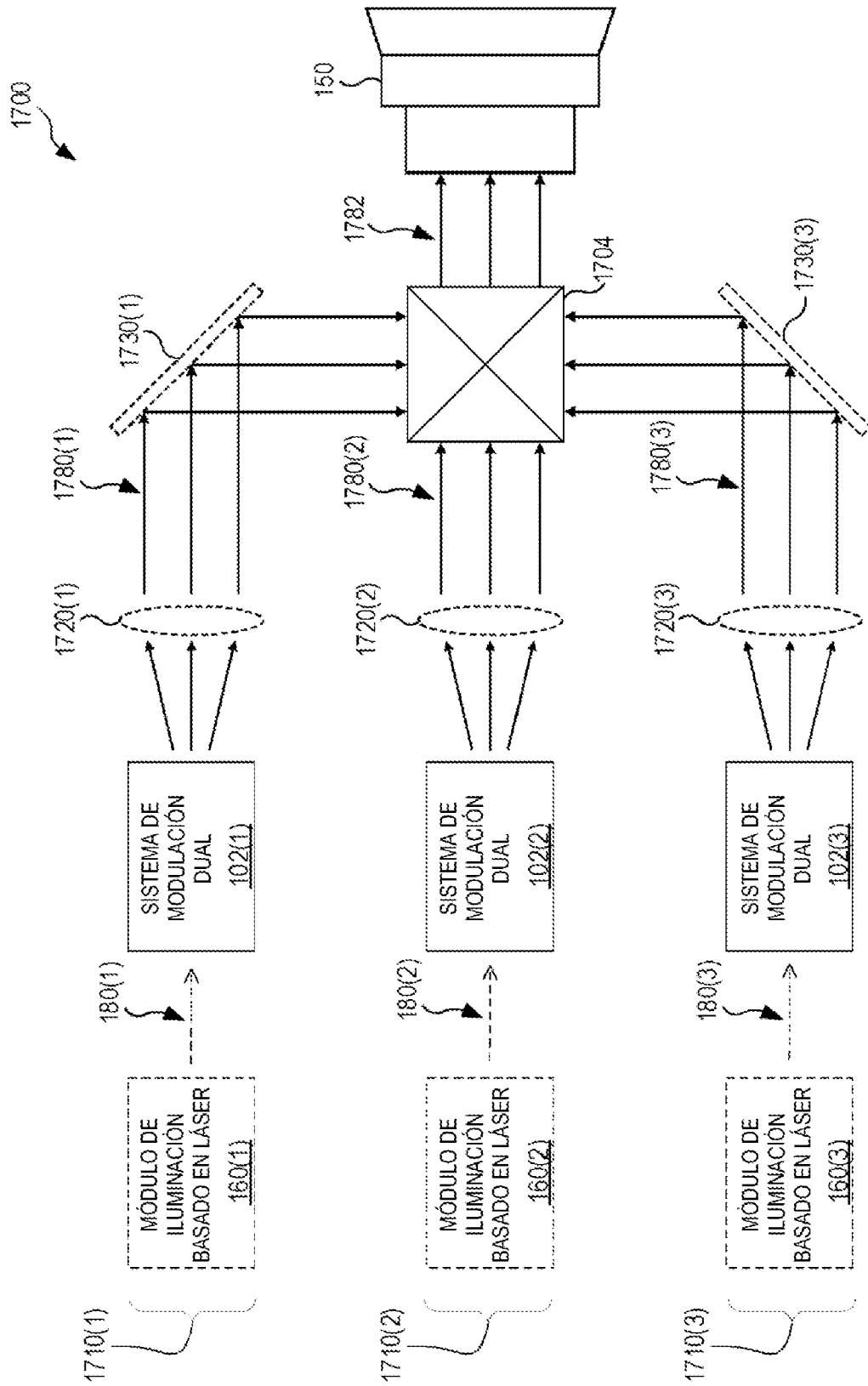


FIG. 17

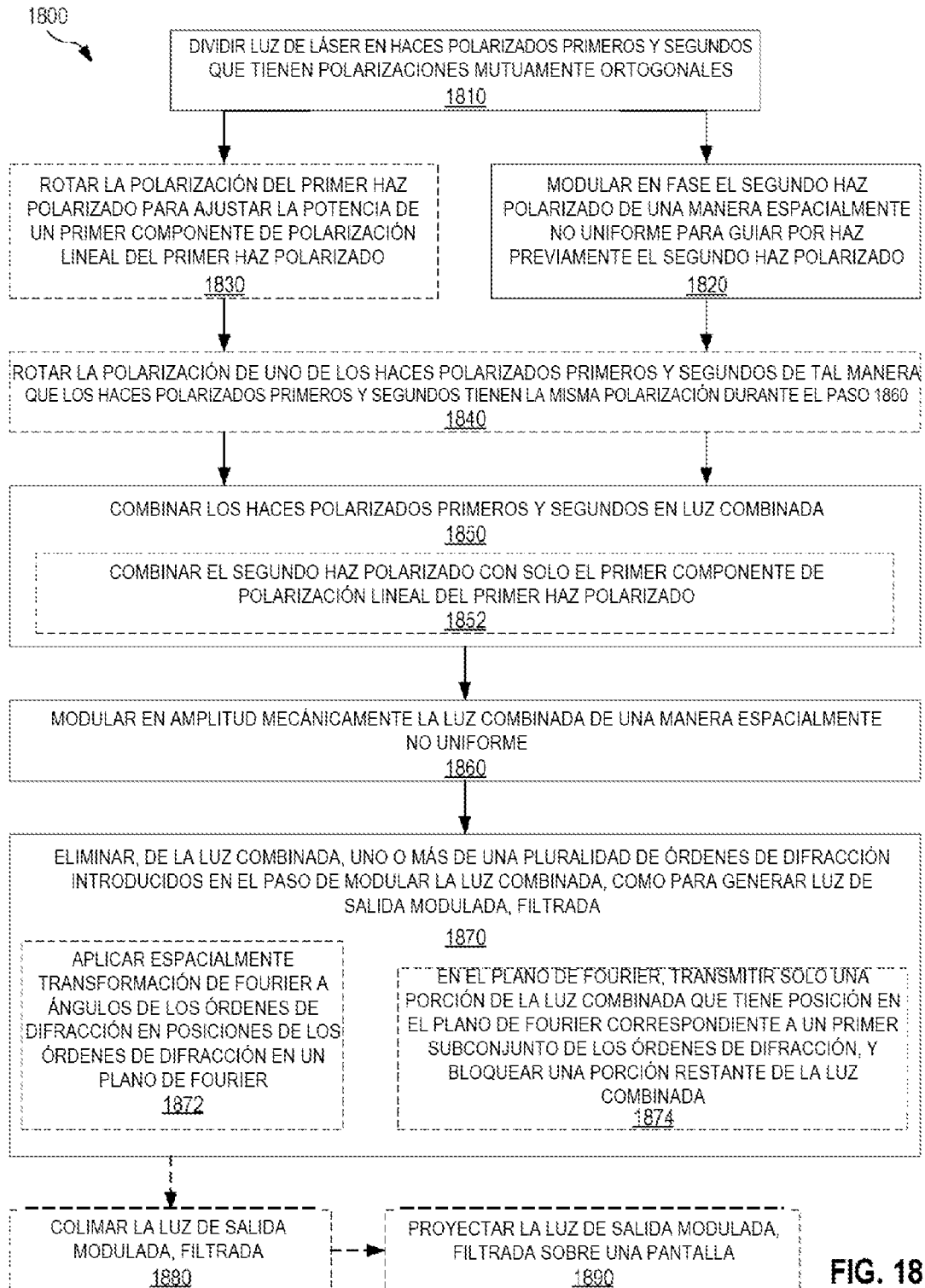


FIG. 18

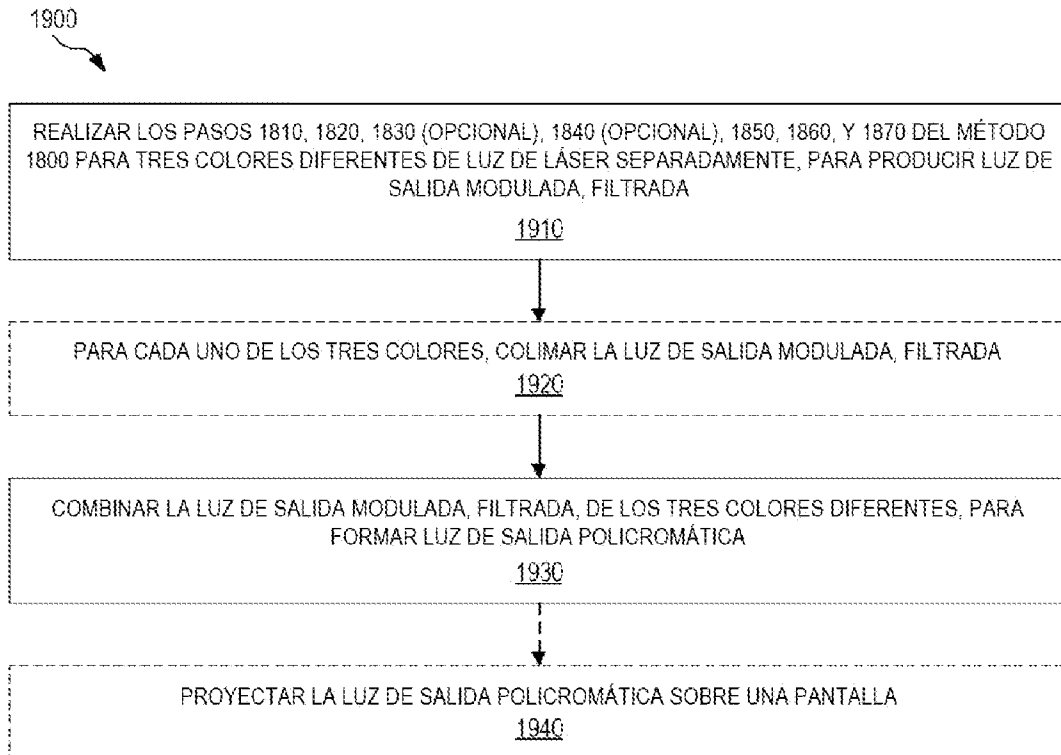


FIG. 19

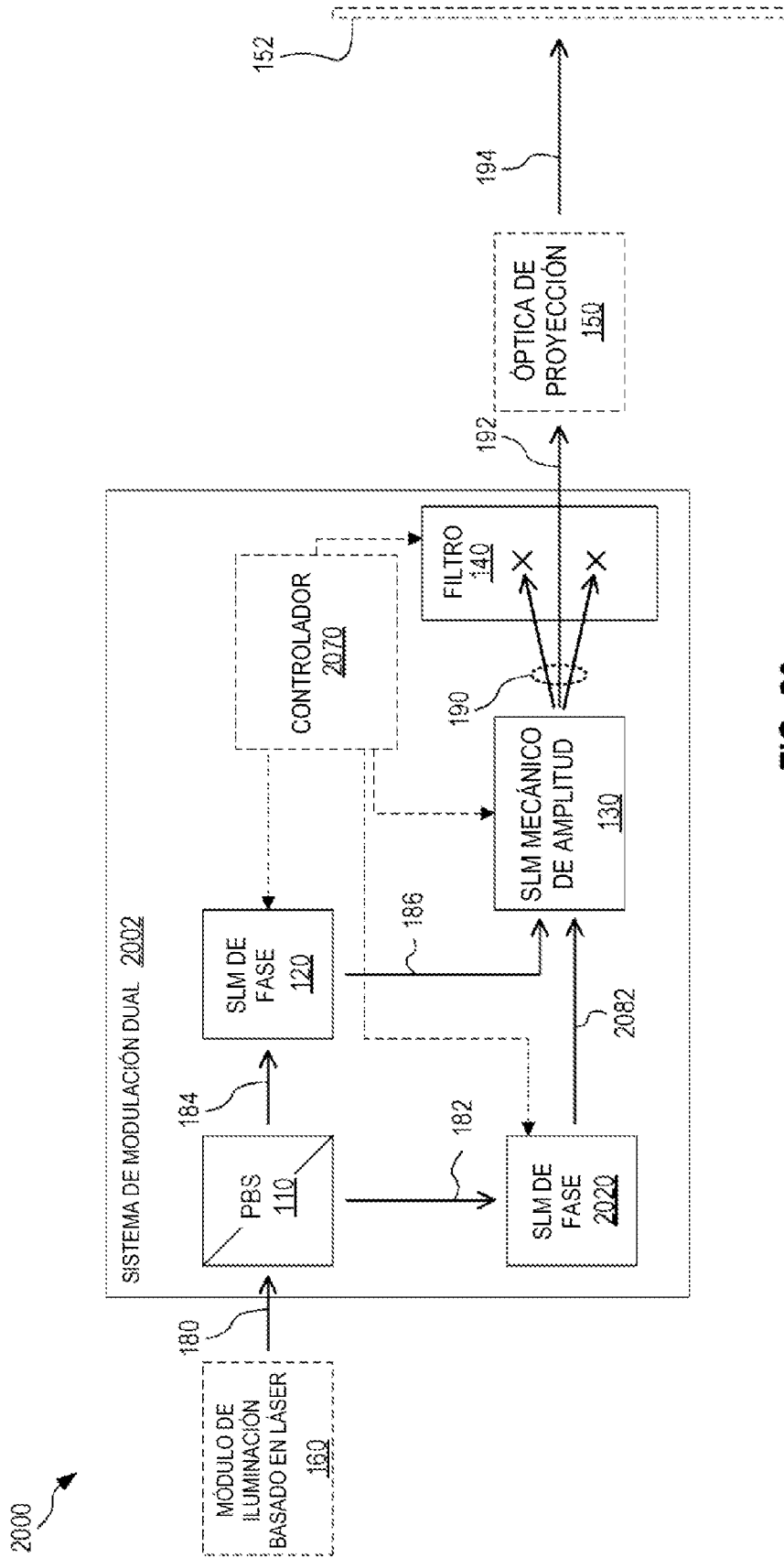


FIG. 20

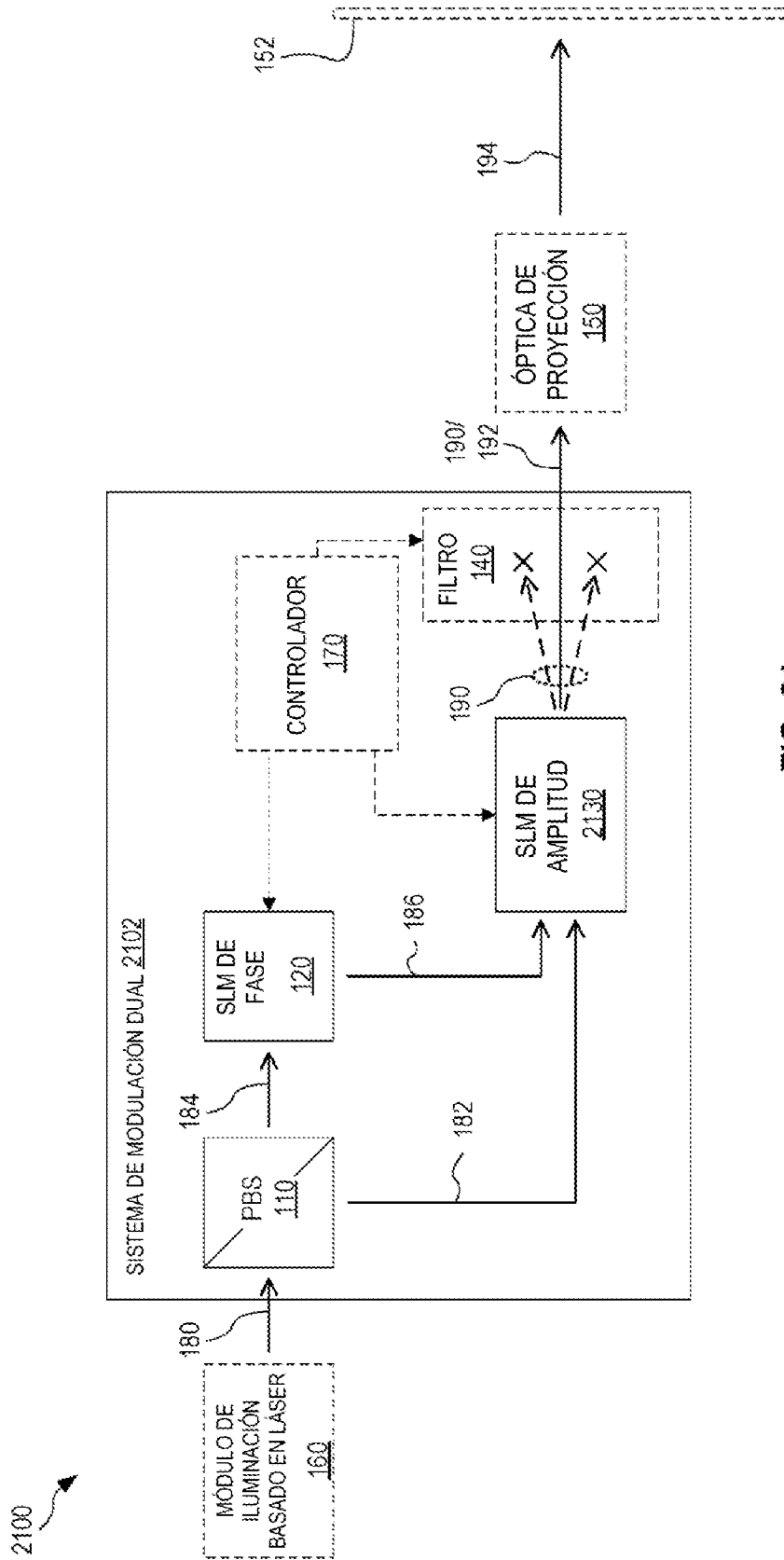


FIG. 21

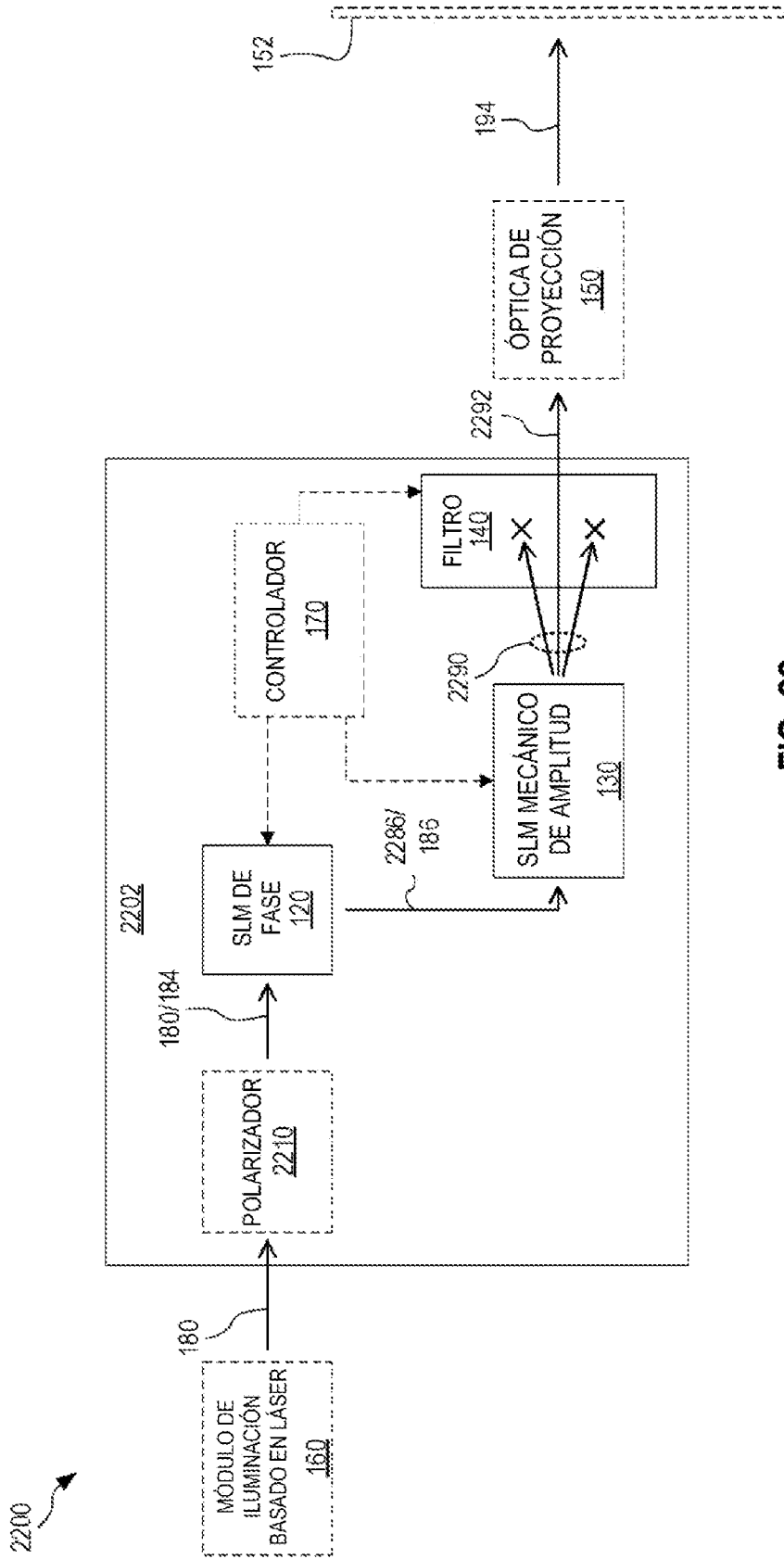


FIG. 22