



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 499**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/10** (2006.01)

**H01S 3/30** (2006.01)

**H01S 3/05** (2006.01)

**G02B 5/00** (2006.01)

**H01S 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04256712 .3**

96 Fecha de presentación : **29.10.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1528645**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.05.2005**

54

Título: **Telescopio retransmisor, amplificador de láser, y método y sistema de granallado con láser que utilizan los mismos.**

30

Prioridad: **30.10.2003 US 515727 P**  
**28.01.2004 US 766224**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.05.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.05.2011**

73

Titular/es:  
**METAL IMPROVEMENT COMPANY, L.L.C.**  
**80 Route 4 East, Suite 310**  
**Paramus, New Jersey 07652, US**  
**LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL SECURITY,**  
**L.L.C.**

72

Inventor/es: **C. Brent, Dane;**  
**Lloyd A., Hackel y**  
**Fritz B., Harris**

74

Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 359 499 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

Telescopio retransmisor, amplificador de láser, y método y sistema de granallado con láser que utilizan los mismos.

### 5 Antecedentes de la invención

#### Campo de la invención

10 La presente invención se refiere a un telescopio retransmisor, a un amplificador de láser, y a un método de granallado con láser que utiliza los mismos.

#### Descripción de la técnica relacionada

15 La utilización de impactos mecánicos para conformar metales y mejorar las propiedades de sus superficies se ha realizado durante mucho tiempo. En la práctica industrial actual, se logra un tratamiento de granallado de superficies metálicas usando granalla a alta velocidad. El tratamiento mejora las propiedades de la superficie y, lo que es muy importante para muchas aplicaciones, da como resultado una pieza que presenta una resistencia significativamente mejorada a la fatiga y al deterioro por corrosión. En las industrias aeroespacial y de automoción se granalla una amplia variedad de componentes. No obstante, para muchas aplicaciones, el granallado no proporciona un tratamiento suficientemente intenso o profundo o no se puede usar debido a su efecto perjudicial sobre el acabado de la superficie.

25 Con la invención del láser, se reconoció rápidamente que los impactos intensos requeridos para el granallado se podrían lograr por medio de un plasma compactado controlado por láser. B.P. Fairand, et al., "Laser Shot Induced Microstructural and Mechanical Property Changes in 7075 Aluminium", *Journal of Applied Physics*, Vol. 43, n.º 9, pág. 3.893, septiembre de 1972. Típicamente, por medio de láseres de alta densidad de energía (aproximadamente 200 J/cm<sup>2</sup>), y corta duración de impulso (aproximadamente 30 nanosegundos), en las superficies metálicas se genera un impacto plasmático de entre 10 kbar y 30 kbar. Una capa fina de cinta metálica, pintura negra u otro material absorbente sobre la superficie metálica proporciona un absorbente para evitar la ablación del metal. Un material de contención o compactación tal como el agua cubre la capa de la superficie proporcionando un impacto de intensidad aumentada. Se ha demostrado que estos impactos comunican tensiones de compresión, más profundas y más intensas, que el granallado convencional. En las pruebas, se ha demostrado que este tratamiento es superior para el refuerzo de componentes con respecto a la fatiga y el deterioro por corrosión. No obstante, ha resultado difícil proporcionar láseres tanto con una energía suficiente como con una velocidad de repetición suficiente para lograr un rendimiento productivo con costes asequibles.

35 En la patente US anterior nº 5.239.408, titulada *HIGH POWER, HIGH BEAM QUALITY REGENERATIVE AMPLIFIER*, se describe un sistema de láser que se ha utilizado con esta finalidad. El sistema de láser descrito en la patente US nº 5.239.408 mencionada anteriormente comprende un amplificador de alta potencia en una configuración MOPA oscilador maestro/amplificador de potencia, con capacidad de producir impulsos de salida superiores a 20 julios por impulso, estando el ancho del impulso comprendido entre 20 y 30 nanosegundos o menor usando una configuración correctora del frente de onda que se basa en un sistema de espejo/conjugador de fase por dispersión de Brillouin estimulada SBS. La patente US nº 5.239.408 se refiere a la patente US nº 5.022.033, titulada *RING LASER HAVING AN OUTPUT AT A SINGLE FREQUENCY*, como una implementación de un oscilador maestro. La geometría del oscilador descrita en la patente 5.022.033 produce impulsos de muy baja energía y, por lo tanto, requiere muchas más pasadas de amplificador que las que se pueden lograr con el sistema de amplificador descrito en la patente US nº 5.239.408. En algunas aplicaciones, el oscilador maestro usado en el sistema de la patente US nº 5.239.408 era un oscilador de ondas estacionarias (resonador lineal de 2 espejos) con un etalón acoplador de salida. Se describe otra configuración de oscilador maestro en nuestra solicitud de patente US nº 40 10/696.989 en trámite, presentada el 30 de octubre de 2003, titulada *SELF-SEEDED SINGLE-FREQUENCY SOLID-STATE RING LASER, AND SINGLE-FREQUENCY LASER PEENING METHOD AND SYSTEM USING SAME*, que se basa en la solicitud provisional US nº 60/471.490 presentada el 16 de mayo de 2003, titulada *SELF-SEEDED SINGLE-FREQUENCY SOLID-STATE RING LASER, AND SINGLE-FREQUENCY LASER PEENING METHOD AND SYSTEM USING SAME*.

55 Un sistema de láser de alta potencia tal como el definido en la patente US nº 5.239.408, y en la patente US nº 5.689.363 "LONG-PULSE-WIDTH NARROW-BANDWIDTH SOLID STATE LASER", utiliza un telescopio retransmisor para retransmitir imágenes del haz desde el extremo de inyección del sistema hacia el extremo del amplificador y vuelta atrás. Durante el proceso de amplificación, el haz pasa a través del telescopio retransmisor, pasa a través de un amplificador, pasa de nuevo a través del telescopio retransmisor y, a continuación, se encamina a través de una rotación de polarización seguida por la reflexión o transmisión saliente de un elemento polarizador. Durante el proceso de división de la polarización, el haz no se separa completamente debido a una rotación de la polarización menor que el 100% y debido a una separación (contraste) por parte del polarizador inferior a 100%. La parte no separada del haz continúa pasando a través del telescopio retransmisor y se vuelve a amplificar, obteniendo, frecuentemente, suficiente energía de manera que se puede convertir en un problema por daños en 65

algún otro lugar del sistema óptico. Las reflexiones parásitas o “fantasma” también pueden ser amplificadas y es necesario separarlas del haz principal. Es necesario algún tipo de configuración de piezas metálicas para permitir una alineación del sistema, y, a continuación, una amplificación y propagación de los haces deseados de alta potencia mientras se eliminan los haces no deseados.

5 Se ha demostrado la importancia de colocar una imagen de retransmisión, de la apertura distorsionada del amplificador, en la entrada al espejo de conjugación de fase por SBS. Esto evita la propagación óptica libre del haz distorsionado, lo cual puede provocar aberraciones de fase que son introducidas por el amplificador para ser convertidas en no uniformidades en el perfil espacial (distribución de irradiancia) del haz. Esto es un punto crítico ya que un conjugador de fase por SBS invierte de manera muy eficaz el frente de ondas óptico del haz de entrada pero frecuentemente no reproduce el perfil de irradiancia con una alta fidelidad. Por lo tanto, los errores de frentes de onda que se convierten en errores de distribución de la irradiancia no se pueden corregir adecuadamente. En el sistema con formación de imágenes por retransmisión, los errores del frente de ondas se transportan de manera precisa al conjugador de fase por SBS. Las no uniformidades introducidas por la reproducción imperfecta de la irradiancia en el espejo no lineal se minimizan entonces en las pasadas del amplificador final debido a la saturación de ganancia en el(los) amplificador(es).

20 No obstante, el sistema amplificador de múltiples pasadas puede generar haces (fantasma) débiles no deseables que son el resultado de pequeños defectos en el control de polarización usado para la conmutación del trayecto del haz. El tren óptico del amplificador se diseña de manera que estos haces fantasma débiles se emitan con ángulos ligeramente diferentes con respecto al haz principal, de modo que teóricamente no deberían interferir con la conjugación de fase por SBS del haz principal mucho más potente. No obstante, cuando el espejo de SBS se hace funcionar a energías muy elevadas, claramente por encima de su umbral, estos haces débiles pueden entrar en la célula y, aun cuando por sí solos se situarían por debajo del umbral, pueden ser reflejados eficazmente por el espejo de SBS en una interacción no lineal de mezcla de cuatro ondas con los haces de salida y de entrada principal. A continuación, dichos haces pueden provocar daños en componentes ópticos del sistema a medida que se propagan dentro del amplificador.

30 Un láser MOPA con conjugación de fase por SBS presenta unas características de alineación muy robustas ya que la aberración de menor orden que es corregida por el espejo de conjugación de fase es la inclinación. Esto significa que el sistema de láser puede ser muy tolerante a derivas pequeñas en la alineación precisa de componentes ópticos sin provocar una pérdida en la potencia de salida o provocando un reapuntamiento de la salida del láser. No obstante, la entrega del láser, que se propaga en la dirección de avance, al espejo de SBS, debe seguir realizándose con cierto grado de precisión. Los sistemas de la técnica anterior han requerido una monitorización y un ajuste de la alineación periódicos por parte de científicos muy cualificados. Por lo tanto, son necesarias herramientas para simplificar la alineación del sistema.

40 Una cuestión importante en el funcionamiento de un láser de estado sólido, de alta potencia media y elevada energía de impulsos, es evitar la posibilidad de daños ópticos internos en el amplificador debido a un autoenfoco no lineal del haz amplificado en el medio de SBS. Esto es debido a que la presencia de una alta irradiancia óptica dentro del medio activo óptico puede provocar cambios pequeños en el índice de refracción efectivo, un efecto gobernado por el índice de refracción no lineal del material. Puesto que esta variación del índice está en correlación con pequeñas variaciones de la irradiancia en el haz, estas variaciones de la irradiancia pueden crecer hasta que el perfil del haz se descomponga en filamentos muy pequeños y muy intensos, que dañan el medio activo. Se hace referencia a este proceso como autoenfoco no lineal y puede plantear una limitación importante sobre la energía máxima de impulso y la potencia de pico disponibles a partir de un láser de estado sólido.

50 Para una aplicación de procesado con láser, tal como el granallado con láser o el conformado por impactos de láser, es importante que los impulsos de láser presenten unas la duración de impulso correcta, lo cual depende del tipo y el espesor de material a tratar. En los sistemas de láser de corta duración de impulso y alta potencia, necesarios para estas aplicaciones, el control de la duración del impulso es complicado. Para dichos sistemas son deseables técnicas para controlar la duración de los impulsos.

55 En una aplicación de granallado por láser y en otras aplicaciones de energía láser de alta potencia sobre piezas de trabajo diana, una salida de láser pulsado es dirigida hacia una diana para su procesado. Las superficies diana están compuestas frecuentemente por superficies reflectantes, tales como cinta metálica usada en una aplicación de granallado por láser. En el granallado por láser, la energía láser incidente descompone la superficie diana y forma rápidamente un plasma de alta temperatura. Cuando se ha formado completamente, este plasma comprende un cuerpo negro ya que es altamente absorbente. No obstante, durante la primera porción de tiempo del impulso, la superficie diana es reflectante y, si su superficie normal se orienta hacia atrás a lo largo del eje óptico del láser, se puede reflejar de vuelta hacia este último una energía significativa del haz. Esta luz reflejada puede dañar la óptica del láser si se deja propagar suficientemente lejos de vuelta por el eje. El haz de láser se enfoca típicamente sobre la superficie diana con un conjunto de lentes usado como óptica de aplicación a diana, según se describe en la patente US nº 6.198.069, titulada “LASER BEAM TEMPORAL AND SPATIAL TAILORING FOR LASER SHOCK PROCESSING”. Si la superficie diana se colocase de forma precisa en el foco de la lente en la óptica de aplicación a diana, el haz reflejado sería devuelto con unas características de enfoque invertidas de forma exacta y coincidiría

con las dimensiones del haz entrante a medida que se propaga en dirección contraria a lo largo del trayecto del haz. No obstante, en la mayoría de los casos, la diana se sitúa antes de que el haz llegue al foco para generar una densidad de energía láser requerida en el tamaño de punto deseado. En esta situación, el haz reflejado regresa con características de propagación diferentes a las del haz entrante. Esto puede provocar que el haz reflejado se enfoque en ubicaciones no deseables en el tren del haz óptico, tal como en las superficies de componentes ópticos críticos, por ejemplo, lentes y espejos. Esto puede provocar como resultado daños permanentes en estos componentes críticos en el tren del haz óptico. Además, la forma y curvatura locales del material diana se pueden sumar a las características de enfoque del haz reflejado, dando como resultado puntos calientes enfocados, no esperados, en el haz reflejado. Finalmente, el granallado por láser usa en general una capa líquida transparente fluyente (tal como agua) sobre la superficie tratada. Las pequeñas ondulaciones y no uniformidades en la superficie del agua también pueden dar como resultado una distorsión de haz en el haz reflejado y características de enfoque no esperadas. Son necesarios unos medios para reducir significativamente la energía láser reflejada de vuelta desde el material diana con el fin de evitar daños.

La patente US nº 5.504.763 da a conocer un sistema para minimizar la despolarización de un haz de láser debida a birrefringencia inducida térmicamente.

### Sumario de la invención

En las reivindicaciones adjuntas se exponen los aspectos particulares y preferidos de la presente invención.

En la presente invención, el telescopio retransmisor intracavidad incluye una primera lente retransmisora y una segunda lente retransmisora dispuesta a continuación para enfocar el haz en un foco del telescopio dentro de una cámara de vacío. Se proporciona una montura cinemática dentro de una cámara de vacío, y la misma está adaptada para afianzar deflectores de haces en la proximidad del foco del telescopio. Un orificio de acceso en la cámara de vacío está adaptado para permitir la inserción y extracción de los deflectores de haces. Durante la alineación del sistema de láser se usa un primer deflector que se forma usando una abertura de microorificio (*pinhole*) de alineación. Un segundo deflector que se estrecha progresivamente sustituye la abertura de alineación durante el funcionamiento y actúa como deflector de campo lejano. El deflector que se estrecha gradualmente comprende un elemento macizo que tiene un canal ópticamente transparente, tal como un hueco perforado a través del elemento. El canal ópticamente transparente presenta aberturas en extremos opuestos del elemento macizo y una cintura en el elemento macizo en la proximidad del foco del telescopio. La cintura es más pequeña que las aberturas de los extremos. El canal presenta unos lados que se estrechan progresivamente en la proximidad de la cintura de manera que los haces fuera de ángulo inciden en el deflector con un ángulo de incidencia rasante. Al incidir en el deflector con un ángulo de incidencia rasante, se reducen los niveles de fluencia en las áreas de impacto de los haces bloqueados, y se evitan daños en el deflector. En algunas formas de realización, se montan también deflectores de campo cercano en el telescopio retransmisor adyacentes a por lo menos una de entre la primera y la segunda lentes retransmisoras.

Una forma de realización de la presente invención da a conocer un amplificador de láser de alta potencia que incluye un medio activo, un rotador de polarización, un polarizador pasivo y una pluralidad de reflectores configurados para definir un trayecto óptico que incluye un anillo a través del medio activo, el polarizador pasivo y el rotador de polarización. Un conjugador de fase está configurado para recibir el haz proveniente del trayecto óptico después de que el impulso haya ejecutado una o más circulaciones a través del trayecto óptico. El conjugador de fase está configurado además para devolver el haz con la fase invertida hacia el trayecto óptico, en el que ejecuta un número igual de circulaciones en la dirección opuesta antes de salir del trayecto óptico por el polarizador pasivo. Un oscilador maestro germina el amplificador con un impulso de una sola frecuencia. Un telescopio retransmisor intracavidad dentro del trayecto óptico forma una imagen de una salida del medio activo en la ubicación de imagen en la proximidad del acoplador de salida. Un deflector que se estrecha progresivamente está posicionado en el foco del telescopio retransmisor tal como se ha descrito anteriormente. De forma adicional, el conjugador de fase se implementa usando un sistema de espejos de SBS según se ha descrito anteriormente. Finalmente, se usa un telescopio retransmisor para formar una imagen de la salida del amplificador en la proximidad de la óptica de aplicación a diana, y el mismo incluye un deflector para bloquear reflexiones devueltas desde el material diana y la óptica de aplicación a diana. El sistema de láser produce y suministra un haz de alta calidad, de corta duración de impulsos, y de alta potencia, para su uso en aplicaciones tales como granallado con láser. La presente invención, en algunas formas de realización, suministra impulsos de salida superiores a 10 julios por impulso, con una anchura de impulso variable de un valor tan pequeño como 30 nanosegundos, 20 nanosegundos e inferiores.

Una forma de realización de la presente invención proporciona un método para el granallado por impactos láser de una pieza de trabajo diana. En una forma de realización, el método incluye el acoplamiento de un impulso germinal (*seed pulse*) a un trayecto óptico con forma de anillo, que incluye un medio de amplificación. A continuación, una imagen de una salida del medio de amplificación se retransmite hacia un sistema conjugador de fase por SBS y se invierte la fase del impulso en el sistema conjugador de fase por SBS después de una o más circulaciones a través del anillo en los cuales el impulso atraviesa el medio de amplificación. A continuación, el método incluye la retransmisión de una imagen de la salida del medio de amplificación hacia un acoplador de salida, después de que el impulso atraviese el medio de amplificación el mismo número de circulaciones a través del anillo en una dirección

opuesta para proporcionar un impulso de salida con frente de onda corregido. El impulso de salida con frente de onda corregido que comprende una imagen de la salida del medio de amplificación se acopla saliendo del anillo en un acoplador de salida. La primera y la segunda etapas de retransmisión se logran usando un telescopio retransmisor intracavidad con un deflector con estrechamiento progresivo en el foco del telescopio para bloquear haces fuera de ángulo. Una forma de realización del método incluye el control de la anchura de impulso correspondiente al impulso de salida con frente de onda corregido mediante el control de un umbral del sistema de conjugación de fase por SBS. Una forma de realización del método incluye el uso de un medio de SBS que tiene un índice de refracción no lineal bajo, el cual se ha filtrado *in situ* para eliminar particulados. Una forma de realización del método incluye la alineación del anillo del amplificador usando una marca fiducial de alineación en el sistema de conjugación de fase por SBS. Una forma de realización del método incluye la retransmisión de una imagen del impulso de salida con frente de onda corregido a través de un telescopio de retransmisión fuera de la cavidad, que presenta un deflector en el foco del telescopio, hacia la óptica de aplicación a diana, la cual, a su vez, aplica el impulso de salida a la pieza de trabajo diana.

En las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas se exponen otros aspectos particulares y preferidos de la presente invención. Las características de las reivindicaciones subordinadas se pueden combinar con características de las reivindicaciones independientes según resulte apropiado, y en combinaciones diferentes a las expuestas explícitamente en las reivindicaciones.

## 20 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá de forma adicional, únicamente a título de ejemplo, haciendo referencia a las formas de realización preferidas de la misma según se ilustra en los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de láser de amplificador de potencia/oscilador maestro según una forma de realización de la presente invención.

la figura 2 es un diagrama esquemático de un sistema de espejos de SBS según formas de realización de la presente invención.

la figura 3 ilustra un telescopio retransmisor intracavidad que incluye un deflector en una montura cinemática según formas de realización de la presente invención, y adecuado para su uso con el sistema de láser de la figura 1.

la figura 4 ilustra el telescopio retransmisor de la figura 3, en el que el deflector en la montura cinemática es un deflector que se estrecha progresivamente, según formas de realización de la presente invención, y adecuado para su uso con el sistema de láser de la figura 1.

la figura 5 representa una perspectiva de un deflector con estrechamiento progresivo que tiene un canal ópticamente transparente según formas de realización de la presente invención.

las figuras 6 y 7 ilustran una vista en sección transversal de un deflector que se estrecha progresivamente, con líneas de haz para haces transferidos y bloqueados, respectivamente.

la figura 8 es un diagrama simplificado de un telescopio retransmisor entre un sistema de láser y una óptica de aplicación a diana con un deflector, según las formas de realización de la presente invención.

la figura 9 ilustra los aspectos de un telescopio retransmisor según formas de realización de la presente invención.

la figura 10 es un diagrama esquemático de un sistema de granallado por láser según una forma de realización de la presente invención.

## Descripción detallada

Se proporciona una descripción detallada de formas de realización de la presente invención haciendo referencia a las figuras 1 a 10.

La figura 1 representa la arquitectura básica de la configuración del oscilador maestro/amplificador de potencia con un amplificador láser regenerativo que incluye un sistema de espejos con conjugador de fase por SBS y un telescopio retransmisor con un deflector. La forma de realización de la figura 1 es una versión mejorada de un amplificador similar descrito en la patente US n.º 5.239.408. El sistema de amplificador de la figura 1 incluye un rotador 140, tal como una célula Pockels o un rotador de Faraday, un primer telescopio retransmisor intracavidad 120, un medio activo 150 en forma de tableta, un segundo telescopio retransmisor intracavidad 170 y un sistema de espejos/conjugador de fase por SBS 160. La tableta 150 está encerrada en una cavidad de bombeo (no representada). Se incluyen también dos polarizadores 102 y 106 para capturar un impulso de entrada, y extraer un impulso de salida, respectivamente. Siete espejos planos altamente reflectantes 111, 112, 113, 114, 115, 116 y 117, definen un trayecto óptico a través de la tableta 150, y el telescopio 120, y el polarizador 106, y el telescopio 170

conectan el anillo al conjugador de fase por SBS 160. Un telescopio retransmisor adicional 180 retransmite imágenes desde cerca de la salida en el polarizador 160 del amplificador en anillo hacia la óptica de aplicación a diana, no mostrada.

- 5 Durante el funcionamiento, un oscilador maestro 100 suministra un impulso de entrada que tiene polarización S. El impulso se refleja desde el polarizador 102, prosigue a través de una célula Pockels 140 de aislamiento permaneciendo invariable en cuanto a polarización, y se refleja adicionalmente desde el polarizador 106 hacia un trayecto óptico con forma de anillo, definido por espejos 111 a 117, procediendo para la circulación en este anillo en una dirección contraria a las agujas del reloj desde el polarizador 106.
- 10 En el anillo, el haz entra en el rotador de 90 grados 108 que hace girar el haz en  $90^\circ$  a la polarización P. El impulso prosigue a través de los espejos 111 y 112 a lo largo del trayecto óptico 119 a través del telescopio retransmisor 120.
- 15 El telescopio 120 incluye una cámara de vacío 122 que tiene una primera lente 124 montada mediante una junta hermética de vacío 126, y una segunda lente 128 montada mediante una junta hermética de vacío 130. Un deflector 129 en el foco del telescopio dentro de la cámara de vacío 122 bloquea haces fuera de ángulo y reflexiones fantasma.
- 20 Desde el telescopio 120, el haz prosigue a través del espejo 113 hacia y atravesando la tableta 150 en el que es reflejado por los espejos 114 y 115 de vuelta a través de la tableta 150. Se logra un llenado casi unitario del volumen bombeado mediante una primera pasada en zigzag y una segunda pasada en zigzag que son imágenes esencialmente especulares con respecto a la dirección de propagación. De esta manera, la segunda pasada en zigzag tenderá a extraer ganancia de zonas que se pueden haber omitido en la primera pasada.
- 25 Desde la tableta 150, el haz es reflejado por el espejo 116 a lo largo del trayecto 142 a través del telescopio 120, y por el espejo 117 en donde es reflejado de vuelta hacia el polarizador 106. Puesto que el rotador de 90 grados 108 ha girado el haz desde la polarización S a la polarización P, el haz con polarización P es transmitido por el polarizador 106 al rotador de 90 grados 108 para proseguir a través del anillo en la dirección contraria a las agujas del reloj una segunda vez. No obstante, durante esta segunda pasada a través del anillo, el rotador de 90 grados 108 hace girar la polarización en  $90^\circ$  de vuelta a la polarización S. Por lo tanto, cuando el haz alcanza el polarizador 106 al final de una segunda pasada a través del anillo, el mismo será reflejado hacia el conjugador de fase por SBS 160, a través del segundo telescopio retransmisor intracavidad 170.
- 30 El haz que vuelve saliendo del conjugador de fase por SBS, presentando todavía la polarización S, aunque con error de fase invertido, será reflejado por el polarizador 106 en una dirección de las agujas del reloj hacia el espejo 117 en donde el que proseguirá a lo largo del trayecto 142 a través del telescopio 120 hacia el espejo 116. Desde el espejo 116, el haz proseguirá a través de la tableta 150 una primera vez y será reflejado de vuelta a través de la tableta 150 una segunda vez por los espejos 114 y 115. Al salir de la tableta 150, el haz será reflejado por el espejo 113 y proseguirá de vuelta a través del telescopio 120 y los espejos 112 y 111 hacia el rotador de 90 grados 108. El rotador de 90 grados 108 hará girar la polarización en  $90^\circ$  de vuelta a la polarización P y transmitirá el haz hacia el polarizador 106, completando así una tercera pasada a través del anillo, aunque esta vez en la dirección inversa con respecto a las primeras dos pasadas.
- 35 Puesto que el haz presenta una polarización P, el haz pasará a través del polarizador 106 y proseguirá en el sentido de las agujas del reloj a través del anillo para una cuarta pasada a través del anillo, o una segunda pasada en la dirección inversa. Al final de esta cuarta pasada a través del anillo, el rotador de 90 grados hará girar la polarización de vuelta a la polarización S provocando que el haz sea reflejado desde el polarizador 106 saliendo del anillo y hacia la célula Pockels 140 de aislamiento. El error de fase acumulado neto es entonces esencialmente cero, proporcionando un impulso de salida con frente de onda corregido. La célula Pockels de aislamiento 140 ó rotador de Faraday hará girar la polarización del haz hacia la polarización P permitiendo que el haz pase a través del polarizador 102 en forma de un impulso de salida de alta energía.
- 40 De este modo, el amplificador ilustrado en la figura 1 presenta una difracción reducida, que minimiza la probabilidad de altas perturbaciones de pico en un haz, utilizando dos trayectos alrededor del anillo antes de entrar en el conjugador de fase, y dos trayectos iguales y opuestos alrededor de un anillo después de salir del conjugador de fase. El anillo, además, utiliza un desfasador pasivo en lugar de una célula Pockels. Adicionalmente, todos los componentes ópticos se sitúan en la proximidad de los planos imagen mediante el uso de telescopios retransmisores (dos trayectos a través del primer telescopio intracavidad 120 y del segundo telescopio intracavidad 170). El amplificador presenta también una mayor relación de ganancia con respecto a la pérdida, de manera que dos pasadas de la tableta proporcionan ganancia en cada circulación del anillo. El conjugador de fase por SBS actúa como un sistema de espejos y compensa las aberraciones de fase en el haz. En las formas de realización de la invención, el sistema de espejos/conjugador de fase por SBS 160 incluye componentes usados para el control de la anchura de los impulsos, usados como marca fiducial de alineación para el trayecto óptico en el anillo, y que limitan el autoenfoque y otras aberraciones inducidas por los medios de SBS.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

El oscilador maestro 100 de frecuencia única en la figura 1, en una forma de realización preferida, comprende un oscilador germinado con impulsos de relajación, que proporciona una frecuencia única regular con una amplitud y una estabilidad temporal buenas, con perfiles de impulso representativos que tienen una altura de impulso mayor que 1,2 megavattios y una anchura de impulso de aproximadamente 24 nanosegundos en la mitad de la altura máxima. Según se ha mencionado anteriormente se pueden usar otras formas de realización del oscilador maestro. En la solicitud de patente US en trámite, titulada "Self-Seeded Single-Frequency Solid-State Ring Laser, and Single-Frequency Laser Peening Method and System Using Same", n.º de solicitud 10/696.989, presentada el 30 de octubre de 2003, se describe una forma de realización del oscilador germinado con impulsos de relajación. El oscilador germinado con impulsos de relajación incluye, en una forma de realización, un resonador láser que tiene un acoplador de salida y una serie de otros reflectores que definen un anillo óptico, que tiene preferentemente un número total de reflectores impar incluyendo el acoplador óptico. En el resonador se incluyen un conmutador de Q y un medio activo. Al resonador está acoplado un detector para detectar energía de oscilación en el resonador. Un controlador está acoplado a una fuente de energía para el medio activo, al conmutador de Q, y al detector. Un componente en el resonador induce pérdidas mientras acumula ganancia en el medio activo con la fuente de energía de bombeo, hasta que se logra una relación de ganancia con respecto a la pérdida que es suficiente para producir un impulso de oscilación de relajación. Al producirse la detección de la aparición del impulso de relajación, el controlador reduce la pérdida usando la conmutación de la Q de manera que se genera un impulso de salida que tiene una única frecuencia. Un conjunto de etalones en el resonador restringe la oscilación a un único modo longitudinal de la cavidad durante la aparición del impulso de oscilación de relajación. Además, en el resonador láser se coloca una apertura de limitación del modo transversal.

En la figura 2 se muestra un diagrama esquemático del espejo conjugador de fase por SBS con dos células, con control espacial y temporal (obsérvese que la disposición de la figura 2 acepta un haz desde el lado derecho, en lugar del izquierdo tal como se muestra en la figura 1). Después de realizar la mitad de las pasadas totales a través del(de los) amplificador(es) de láser, el haz entra en este sistema desde la derecha. A continuación, pasa a través de un telescopio retransmisor o bien esférico o bien cilíndrico 200. Este telescopio retransmisor 200 comprende dos lentes 201, 202 separadas por la suma de sus respectivas distancias focales. La zona focal del telescopio retransmisor se coloca al vacío para evitar una ruptura óptica en el aire. Un deflector óptico 203 que consta de una apertura (o rendija en el caso de un telescopio cilíndrico) se pone al vacío en el foco para evitar que haces fantasma parásitos que se propagan con ángulos ligeramente diferentes entren en el sistema de SBS. En la forma de realización representada en la figura 2, el telescopio retransmisor 200 incluye un cilindro de vacío 204, que presenta una ventana plana con recubrimiento antirreflectante 205 en una lente 201 enfrentada a un extremo, y una lente 202 en el otro extremo. Se incluye un orificio de vacío 206 para mantener el vacío dentro del cilindro. Un deflector 203 está montado en la proximidad del foco del telescopio en el cilindro de vacío 204. En una forma de realización, las lentes retransmisoras son lentes cilíndricas con una distancia focal, respectivamente, de 1 y 1,2 metros, realizadas en sílice fundida, con recubrimiento antirreflectante (>99,5% transmisión) en ambos lados, con una curvatura óptica de 1,5 grados. La ventana antirreflectante 205 en la célula de vacío está realizada con sílice fundida, y con recubrimiento antirreflectante en ambos lados. El deflector retransmisor es una rendija de 2 mm de ancho realizada o bien en sílice fundida o bien en Macor (cerámica mecanizada). En los sistemas alternativos, se puede usar un deflector que se estrecha progresivamente.

El deflector 203 en el foco consiste en una abertura que únicamente permite pasar la amplitud angular del haz principal mientras que bloquea los componentes angulares asociados a los haces fantasma. En el caso de un amplificador tal como un amplificador en zigzag, las distorsiones ópticas principales pueden encontrarse únicamente en un eje del haz (es decir, vertical u horizontal). En ese caso, el telescopio retransmisor de SBS puede usar lentes cilíndricas para retransmitir únicamente la dimensión del haz que padece la distorsión y, en este caso, en lugar de una apertura, el deflector puede consistir en una rendija.

Junto al telescopio reflector, un divisor de haz 207 refleja <1% el haz entrante hacia un sistema de diagnóstico de alineación que proporciona una marca fiducial de alineación para el sistema de láser. El sistema de diagnóstico de alineación está constituido por una cámara de vídeo CCD (u otro diseño electrónico) 208, que se sitúa en el foco exacto de una lente 209. El espejo 210 se usa para dirigir la muestra del haz entrante desviado por el divisor de haz 207, hacia la lente 209 y la cámara 208. Monitorizando la posición del foco en la cámara, se puede monitorizar y ajustar, según sea necesario, el ángulo de alineación preciso del haz a través del sistema de amplificador óptico.

El sistema de SBS incluye una célula colimada 212 y una célula enfocada 213. La primera célula de SBS colimada está constituida por un cilindro que contiene un medio de SBS, y presenta una primera y una segunda ventanas con recubrimiento antirreflectante 214, 215 en los extremos opuestos, a través de las cuales pasan los haces de entrada y salida. Únicamente están recubiertas ópticamente las superficies exteriores ya que se usa un medio de SBS que proporciona una coincidencia ajustada de los índices de refracción entre las ventanas de sílice fundida y el medio SBS, que es suficiente para reducir reflexiones desde las superficies interiores hasta niveles aceptablemente bajos. Entre las dos células de SBS 212 y 213 se sitúa un divisor de haz 216. Tiene una capacidad de reflexión de aproximadamente 50% con un ángulo de incidencia de 45 grados. No obstante, su capacidad de reflexión se puede hacer variar a lo largo de un amplio intervalo ( $\pm 30\%$ ) haciéndolo girar en aproximadamente  $\pm 20$  grados. La segunda célula líquida de SBS 213 usa una lente de enfoque 217 como ventana de entrada e, igual que las ventanas en la primera célula, únicamente la superficie exterior tiene un recubrimiento óptico. El extremo de salida de la célula

enfocada está provisto de otra ventana con recubrimiento antirreflectante 218 a través de la cual pasa la pequeña cantidad de luz no reflejada. Se usan colectores de haz 219, 220 (simples placas metálicas) para bloquear la porción del haz de entrada que es reflejada desde el divisor de haz de control de anchura de impulsos y la luz no reflejada que se transmite a través de la segunda célula 213.

5 En un sistema preferido una bomba 230 y un filtro 231 se conectan en serie con la primera y la segunda células de SBS 212, 213. En los sistemas alternativos, la primera y la segunda células de SBS se pueden conectar de forma independiente. El filtro, en una forma de realización, presenta un tamaño de poro de filtro de aproximadamente 0,1 micras. Dichos filtros están disponibles comercializados por Mykrolis Corporation of Billerica, Massachusetts, incluyendo, por ejemplo, el filtro desechable Fluoriline SL-3. La bomba y el filtro están adaptados para proporcionar una filtración *in situ* del medio de SBS, para eliminar partículas que tienen un tamaño mayor que aproximadamente 0,1 micras del medio. El medio se puede filtrar según se necesite, aunque preferentemente se filtra *in situ* por lo menos una vez después de llenar las células.

15 En una forma de realización preferida del sistema de espejos de SBS para un sistema comercial de granallado por láser, las descripciones detalladas de los componentes son las siguientes:

- Divisor de haz de alineación 214: sílice fundida, recubrimiento antirreflectante en ambos lados, cuña óptica de 1,5 grados.

20 - Espejo de alineación 210: recubrimiento de alta capacidad de reflexión (>99,5% reflexión).

- Lente de diagnóstico de alineación 209: sílice fundida, distancia focal de 50 cm, recubrimiento antirreflectante en ambos lados.

25 - Cámara de diagnóstico de alineación: sensor de vídeo CCD de 4x3 mm.

- Células de SBS: construcción toda de vidrio y PTFE (Teflón).

30 - Ventanas antirreflectantes 207, 215, 218 en células de SBS: sílice fundida, recubrimiento antirreflectante en superficies exteriores, sin cuña.

- Divisor de haz ajustable 216: sílice fundida, recubrimiento antirreflectante en un lado, reflexión del 50% en el otro, capacidad de reflexión ajustable al  $\pm 30\%$  con ángulo.

35 - Lente de enfoque de SBS 217: sílice fundida, distancia focal de 15 cm, superficie exterior (convexa) con recubrimiento antirreflectante.

- Colectores de haz 219, 220: placas de aluminio con acabado rugoso.

40 El medio de SBS comprende un material, tal como un compuesto perfluoro, preferentemente un líquido perfluorado, que presenta un índice de refracción no lineal negativo inferior a aproximadamente  $1 \times 10^{-12}$  esu. Los compuestos perfluoro están comercializados con el nombre comercial Fluorinert, en 3M Specialty Materials, St. Paul, Minnesota. Los materiales de Fluorinert representativos incluyen FC-72, FC-75 y FC-77. Resulta preferido el FC-72 para aplicaciones de alta potencia, que tienen una ganancia no lineal de aproximadamente 6,2 GW/cm, un desplazamiento de frecuencia por Brillouin de aproximadamente 1,24 GHz, un umbral de energía de aproximadamente 2,5 mJ (con un impulso de aproximadamente 18 nanosegundos), un índice de refracción no lineal de aproximadamente  $-4,7 \times 10^{-13}$  esu, un ancho de banda de frecuencias de aproximadamente 330 MHz, y una constante de tiempo de aproximadamente 0,95 nanosegundos. El material funciona de manera fiable con energías de impulso muy altas, por ejemplo, energías de impulso superiores a 2 julios por impulso en el medio de SBS, con anchuras de impulso de aproximadamente 18 nanosegundos. En otras formas de realización, se pueden usar medios de SBS de estado sólido, incluyendo la sílice fundida.

55 Durante el funcionamiento, la luz de láser entrante que se enfoca en la segunda célula 213 (desplazándose de derecha a izquierda en el esquema) alcanza un nivel de potencia suficientemente alto para superar el umbral de SBS no lineal. En este momento, la luz comienza a reflejarse desde la célula enfocada 213 y se propaga en el sentido contrario (de izquierda a derecha) a la luz entrante. A medida que pasa a través de la primera célula de SBS colimada 212, interacciona con el haz entrante de tal manera que provoca que una fracción grande de ese haz entrante se dé la vuelta (se refleje) en esa célula. La luz reflejada desde el espejo/conjugador de fase por SBS (desplazada ligeramente en cuanto a longitud de onda) se propaga de vuelta a través del telescopio retransmisor y es entregada de nuevo al sistema de amplificador, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria.

65 El control de anchura de los impulsos se proporciona de la manera siguiente. Parte de la energía del impulso prosigue a través de la célula colimada 212 hacia la célula enfocada 213. La energía enfocada, en la célula enfocada 213, llega al umbral de manera más rápida que la energía en la célula colimada 212. Cuando la misma es reflejada de vuelta a la célula colimada 212, interacciona con el haz principal para inducir la reflexión. La temporización de la

reflexión desde la célula enfocada 213 es controlable mediante el ajuste del divisor de haz ajustable 216. La energía más elevada alcanzará el umbral más rápidamente, y viceversa. De este modo, mediante el ajuste del nivel de energía que entra en la célula enfocada 213, usando el divisor de haz ajustable 216 en esta forma de realización, se puede ajustar la temporización del flanco anterior del impulso reflejado. En efecto, de este modo se ajusta también la anchura del impulso reflejado.

Se ilustran, con respecto a las figuras 3 a 7, los aspectos del telescopio retransmisor intracavidad 120, en el que se enfocan los impulsos de alta energía que atraviesan el anillo. En la figura 3, puede observarse que el telescopio retransmisor incluye una cámara de vacío 300 con una primera lente retransmisora 301 y una segunda lente retransmisora 302 en extremos opuestos. En el telescopio retransmisor, en la proximidad de las lentes 301 y 303, se forman deflectores de campo cercano 304 y 305. En la figura 3, en una montura cinemática 308 dentro de la cámara de vacío 300 se monta una abertura de alineación 320 sobre una montura 322, y que presenta un microorificio en el foco 321 del telescopio retransmisor. La montura 322 se acopla a la montura cinemática 308. Un orificio de vacío 307 proporciona acceso a la cámara de vacío 300 para la sustitución de la abertura de alineación 320. Un orificio de vacío 325 proporciona conexión con una bomba de vacío mediante la cual se evacúa la cámara.

La figura 4 ilustra el telescopio retransmisor 300, en el que la abertura de alineación 320 se ha sustituido por un deflector con estrechamiento progresivo 309 concebido para montarse en la montura cinemática 308. En la forma de realización representada en la figura 4, los componentes representativos usados en el telescopio retransmisor incluyen lentes retransmisoras que presentan un diámetro de 170 milímetros, y una distancia focal de 100 centímetros. Las lentes están separadas por 200 centímetros. El orificio de acceso se forma usando una brida de vacío *conflat* de 20 centímetros con una ventana de una pieza. Los deflectores de campo cercano dispuestos en la proximidad de las lentes retransmisoras son ranuras de 12 por 130 milímetros en aluminio anodizado negro. El microorificio de alineación en la abertura de alineación es un orificio de un milímetro de diámetro en una placa de acero inoxidable de un milímetro de espesor. El deflector con estrechamiento progresivo se ensambla a partir de dos piezas mecanizadas de cerámica Macor blanca con una apertura cuadrada de cinco centímetros en la cintura, y paredes que se estrechan progresivamente y que presentan una pendiente de 3 grados. Haciendo referencia a las figuras 5 a 7 se describen con mayor detalle las características del deflector con estrechamiento progresivo.

En las formas de realización de la invención, se usan un método de alineación y la abertura de alineación y las piezas metálicas de deflectores asociadas, en primer lugar para una alineación inicial de un haz en un amplificador de múltiples pasadas, y, en segundo lugar, como medios para eliminar haces no deseados adicionales. Las piezas metálicas contienen una abertura de alineación 320 en forma de una pantalla con un pequeño orificio, a la que se hace referencia como abertura de microorificio, para el montaje inicial y un deflector con estrechamiento progresivo 309, realizado típicamente con un material resistente a altas temperaturas, tal como cerámica. En comparación con el pequeño orificio en la abertura de alineación, el orificio en el deflector es el único canal óptico más grande que presenta una cintura en la proximidad del foco 321 y lados en pendiente, por lo menos cerca de la cintura. Los lados con pendiente permiten tomar haces no deseados con un ángulo de incidencia grande, reduciendo la carga de fluencia sobre el deflector 309.

Para lograr el montaje de las piezas metálicas, el telescopio retransmisor de vacío 120 se realiza de manera que permita acceder a la zona central para la colocación de las piezas metálicas de alineación y de los deflectores. Unos medios adecuados para acceder a la zona central consisten en soldar un orificio 307 con una tapa extraíble justo por encima del foco de las lentes 301, 303. El telescopio puede ser un tubo con lentes retransmisoras fijadas a cada extremo de manera que actúen como ventana de vacío. Por otro lado, el telescopio retransmisor se puede construir con ventanas de vacío y lentes externas. En el foco de la lente, en el interior del tubo se toman medidas previsoras para permitir el montaje cinemático y la alineación de la abertura de alineación 320 y, posteriormente, el deflector 309.

La figura 5 es una vista en perspectiva del deflector con estrechamiento progresivo según una forma de realización de la invención. El deflector incluye un elemento macizo 500 que presenta un canal ópticamente transparente 501. En una forma de realización, el canal ópticamente transparente 501 se forma perforando un hueco a través del elemento 500. El canal ópticamente transparente 501 presenta una cintura 502 adaptada para su colocación cerca del foco en el telescopio retransmisor. El canal ópticamente transparente 501 tiene aberturas 503 y 504 en extremos opuestos, que son mayores que la cintura 502. Las paredes (por ejemplo, 505, 506) del canal ópticamente transparente 501 están en pendiente desde las aberturas 503, 504 hasta la cintura 502 de forma relativamente gradual. En una forma de realización, las aberturas 503 y 504, y la cintura 502 son cuadradas. En otras formas de realización, las aberturas 503, 504 y la cintura 502 tienen otras formas, tales como ovalada, rectangular o redonda. Las formas de la cintura 502 y de las aberturas 503, 504 del deflector dependen de las características del haz que se propaga en el telescopio retransmisor, y de la finalidad del deflector.

Las figuras 6 y 7 representan una sección transversal del deflector 309. Tal como se muestra en la figura 6, el canal ópticamente transparente 501 permite haces que se propagan a lo largo de las líneas de haz 600 y 601. Tal como se muestra en la figura 7, los haces fuera de ángulo, tales como el haz 602, son interceptados en las paredes en pendiente 604, 605 del deflector. De esta manera, la fluencia de la energía que incide en el deflector se reduce ya que se dispersa por el ángulo bajo. En una forma de realización de la invención, el ángulo de estrechamiento

progresivo de las paredes 604, 605 del canal ópticamente transparente 501 está en el intervalo de entre 1 y 10 grados, y, en una forma de realización preferida, es aproximadamente 3 grados.

De este modo, tanto un deflector vertical con un conducto pequeño que actúa como abertura de alineación 320 para determinar la alineación inicial, como el deflector alargado, que se estrecha progresivamente, 309 con lados de baja pendiente para interceptar los haces no deseados, están provistos de un telescopio retransmisor que presenta una montura cinemática adaptada para la sustitución de la abertura de alineación y el deflector. Después de la alineación, el deflector vertical se retira y el sistema se hace funcionar con el deflector alargado. Los conjuntos de deflector encajan en la zona central del telescopio retransmisor sobre monturas cinemáticas que garantizan su inserción precisa, según se requiera, después de la alineación inicial del sistema.

El deflector cerámico 309 se puede realizar con una cerámica mecanizable tal como Macor. Se puede realizar en múltiples piezas y se pueden empernar entre sí en forma de un conjunto. En una forma de realización alternativa, el deflector cerámico 309 incluye una ranura para la inserción de la abertura de microorificio de alineación vertical. En esta alternativa, se mecaniza un orificio en el deflector para permitir una observación visual de posiciones del haz en la abertura de alineación vertical mientras la misma se sustenta en la ranura durante la alineación. En la forma de realización representada, la abertura de alineación 320 y el deflector 309 son conjuntos independientes adaptados para montarse en la misma montura cinemática dentro de la cámara de vacío.

En un amplificador de retransmisión en anillo o un sistema de amplificador regenerativo, un haz de luz a amplificar pasa típicamente a través de los medios activos y las lentes retransmisoras múltiples veces. El cambio entre la entrada y la salida del anillo por parte de los haces se logra típicamente por medio de una rotación de la polarización y una reflexión desde (o transmisión a través de) un divisor de haz de polarización. En el transcurso de múltiples pasadas, se pueden generar reflexiones parásitas procedentes de las superficies ópticas y las mismas se pueden propagar de vuelta a través del medio activo y las lentes retransmisoras. Adicionalmente, en general la conmutación de la polarización no es eficiente en un 100% y da como resultado asimismo haces residuales que pasan a través del medio activo y que son amplificados por este último. Tanto los haces parásitos como los haces residuales pueden producir haces dañinos de alta intensidad, si los mismos no son interceptados correctamente.

Al ladear intencionadamente la alineación de múltiples pasadas alejándola de la condición de alineación con solapamiento, los haces individuales llegarán a enfocarse en diferentes puntos transversales en el plano focal. Esto crea una condición en el foco en la que los haces deseados se pueden dejar pasar y los no deseados se pueden bloquear. No obstante, el uso de un deflector de bloqueo vertical para detener haces en general no funcionará debido a que la intensidad del haz es tan alta en el foco que, incluso los haces no deseados más débiles provocarán ablación en el material y crearán un orificio a través del deflector. Se evita que estos haces provoquen una ablación en el material mediante la construcción de un deflector con estrechamiento progresivo, con lados en pendiente, extendidos, dentro de la apertura del deflector. Mediante una disposición correcta de los haces enfocados, se puede conseguir que los haces no deseados incidan en los lados del deflector en pendiente, dispersando de forma no perjudicial su energía por un área elevada.

Las figuras 8 y 9 representan los aspectos del telescopio retransmisor 180 que se utiliza para retransmitir un impulso de salida hacia la óptica de aplicación a diana, que acondiciona y dirige los impulsos de salida hacia una pieza de trabajo diana. El telescopio retransmisor 180 incluye una cámara de vacío 181 que tiene lentes retransmisoras 182 y 183 en extremos opuestos de la misma. Un orificio de vacío 184 está acoplado a un sistema de vacío. Las lentes 185 y 186 representan esquemáticamente una óptica de aplicación a diana que enfoca los impulsos sobre una superficie diana 187. El deflector 189 está incluido dentro de la cámara de vacío 181. El orificio de observación 190 permite observar la apertura 189 durante la alineación del telescopio 180. El telescopio 180 se usa para transferir los impulsos de salida a lo largo de distancias significativas, y, en un sistema representativo, puede presentar una longitud de uno o dos metros. El deflector 189 puede ser un deflector extendido tal como se ilustra, o se puede formar en una placa cerámica con una abertura de microorificio. En la forma de realización de deflector extendido, la longitud del deflector puede ser por lo menos 10 y preferentemente superior a 100 veces el tamaño del punto en el foco, con el fin de bloquear reflexiones alineadas que están fuera de foco. El deflector extendido se puede poner en práctica usando un único elemento con una apertura en forma de tubo, o mediante una secuencia de placas alineadas que tengan formados en las mismas microorificios.

La figura 9 muestra una puesta en práctica del telescopio retransmisor 180 realizada con un tubo sencillo 900 con un orificio de bombeo de vacío 903 y bridas de entrada y salida 901 y 902 que pueden sujetar lentes retransmisoras. Alternativamente, las bridas pueden sujetar ventanas, situándose las lentes retransmisoras externas con respecto al tubo. El orificio de observación 904 se monta adyacente a un orificio de acceso 905. El orificio de acceso 905 permite la inserción, extracción y manipulación del deflector 189.

En el foco de las lentes retransmisoras, el haz de entrada formará un foco ajustado a medida que se propaga hacia la diana. Luz colimada entra en el telescopio retransmisor, pasa a través de un foco y a continuación se colima después de pasar a través de la lente retransmisora de salida. Luz reflejada desde el material diana y desde cualquier superficie óptica entre el telescopio retransmisor y el material diana se propagará de vuelta hacia el telescopio retransmisor. No obstante, en general esta luz no se enfocará en el mismo punto axial o transversal en el

telescopio retransmisor. De este modo, el deflector 189 con un pequeño orificio, justo suficientemente grande como para dejar pasar fácilmente la luz enfocada que se propaga hacia la diana, puede bloquear la luz reflejada para que no se propague de vuelta hacia el láser. En general, la luz de retorno no se enfocará exactamente en la posición del orificio de entrada y, por lo tanto, será bloqueada no pudiendo volver. Alternativamente, el deflector 189 se puede extender tal como se muestra en el dibujo, con un orificio interno justo suficientemente grande como para dejar pasar el haz principal, que se desplaza en avance. La luz reflejada de otras superficies ópticas (luz fantasma) no se enfocará en el deflector del telescopio retransmisor y, por lo tanto, será atenuada significativamente por la relación del tamaño de la apertura del orificio del deflector con respecto al tamaño del punto más grande del haz dentro del deflector extendido. Al telescopio retransmisor se le añade un orificio de observación 904 para ayudar en la alineación del sistema, que permite que el haz de entrada se ladee para pasar de manera precisa a través de la apertura en el foco. Para garantizar adicionalmente que la luz reflejada no se pueda propagar de vuelta desde el material diana al láser, el posicionamiento del material diana se programa de manera que la normal a su superficie esté orientada siempre unos pocos grados o más desviada, para no apuntar directamente hacia atrás a lo largo del eje óptico. De esta manera, la mayor parte del eje del haz reflejado se propagará hacia atrás transversalmente desviado con respecto al eje óptico de entrada, y no pasará por el sistema del deflector. Puesto que gran parte de la luz reflejada presentará una distancia focal diferente, la misma resultará bloqueada proporcionalmente y, por lo tanto, no presentará una tendencia a producir una ablación a través del deflector central tal como sería el caso sin un montaje de deflector extendido.

La figura 10 es un diagrama simplificado de un sistema de producción para el granallado por láser de superficies de piezas de trabajo usando una forma de realización de la presente invención. El sistema de producción incluye una mesa de tratamiento por láser 250 de baja vibración, en la que está montado un sistema MOPA oscilador maestro-amplificador de potencia 251. En un sistema preferido, el sistema MOPA se pone en práctica tal como se ilustra en la anterior figura 1. El telescopio retransmisor 180 representado en la figura 1 se extiende desde la mesa de tratamiento por láser 250 hasta una segunda mesa 252 que sustenta una óptica de diagnóstico y de aplicación a diana. La primera mesa 250 y la segunda mesa 251 están dispuestas dentro de una sala limpia 260. Una fuente de alimentación 261 está acoplada a la mesa de tratamiento por láser 250. Además, una red conformadora de impulsos PFN 262, situada preferentemente fuera de la sala limpia 260, está acoplada eléctricamente a los componentes electro-ópticos en la mesa de tratamiento por láser 250. Desde la fuente 263 se suministra agua de refrigeración hacia la sala limpia 260 para refrigerar componentes del MOPA 251. La óptica de aplicación a material diana en la mesa 252 conforma y dirige los impulsos de salida hacia una célula robótica 253, fuera de la sala limpia 260. La célula robótica 253 incluye un robot 270 con un brazo robótico 271, usado para manipular piezas de trabajo, tales como álabes de turbinas para reactores, con el fin de que reciban los impulsos en una operación de granallado por láser.

Un sistema de granallado por láser aplica muchos impulsos de luz láser de alta intensidad a un metal diana. En el transcurso del procesado con el granallado por láser, se hace que el metal diana se oriente con muchos ángulos diferentes con respecto al haz de entrada, y existe una alta probabilidad de que se pueda reflejar luz directamente hacia atrás en dirección al sistema de láser. Esta intensa luz reflejada puede dañar potencialmente componentes del láser si se permite que la misma llegue al amplificador y a la óptica. Para evitar esta situación, se proporciona el telescopio retransmisor 180 con un deflector 189 situado en el foco. Con un orificio de dimensiones apropiadas en el deflector, se evita que la mayor parte de la luz reflejada se propague de vuelta hacia el láser.

En resumen, se ha concebido un espejo/conjugador de fase por SBS líquida de dos células, para su utilización en láseres de estado sólido y con una alta energía de impulsos, configurados en una geometría de oscilador maestro - amplificador de potencia (MOPA). En particular, el mismo está optimizado para su utilización en sistemas de láser pulsado para sistemas comerciales de granallado por láser. Incorpora varias características muy importantes y específicas para proporcionar un control espacial y temporal del haz reflejado del sistema de SBS. La formación de imágenes por retransmisión desde la apertura del amplificador óptico hacia la entrada al conjugador de fase evita que las distorsiones del frente de ondas se propaguen libremente y provoquen una distorsión en la distribución de la irradiancia en el haz. Un deflector en el telescopio retransmisor evita que haces parásitos de baja potencia entren en el espejo de conjugación de fase por SBS y que sean reflejados. El haz de fase conjugada se genera en una célula de SBS líquida enfocada, y una vez que está por encima del umbral de la SBS, la mayor parte de la potencia del láser es reflejada entonces en la célula de SBS colimada. Entre las dos células se usa un divisor de haz fácilmente ajustable para variar el umbral en la célula enfocada, y el mismo proporciona una manera de ajustar la duración de impulso correspondiente al impulso reflejado. Un sistema de diagnóstico de alineación incorporado en el sistema de SBS proporciona una verificación de la alineación del tren global de haces del amplificador de múltiples pasadas.

El sistema de conjugación de fase por SBS descrito en la presente memoria incorpora un sistema de diagnóstico de alineación de campo lejano, de manera que se puede comprobar y mantener el ángulo de apuntamiento a través del sistema de amplificador completo, durante todo el camino hasta el espejo de SBS. Esto se implementa mediante un divisor de haz con muy bajas pérdidas, situado entre la primera célula de SBS y el telescopio retransmisor de SBS. Una pequeña muestra del haz (<1%) se dirige a través de una lente de diagnóstico, y en el foco exacto de la lente de diagnóstico se sitúa una cámara de vídeo CCD (u otra variante electrónica). El ajuste del sistema óptico para mantener el punto enfocado aproximadamente en la misma ubicación diariamente garantiza que se mantenga la alineación básica.

Para una aplicación de procesamiento por láser tal como el granallado por láser o el conformado por impactos láser, es importante que los impulsos del láser tengan la duración de impulso correcta, lo cual depende del tipo y el espesor del material a tratar. En una forma de realización de la presente invención, se usa un sistema de conjugación de fase por SBS con dos células, con un cambio muy importante y significativo sobre el planteamiento convencional usado en trabajos anteriores. Se ha demostrado que el sistema de dos células es muy útil para una conjugación de fase por SBS de alta energía, en donde el proceso de enfocar un impulso de alta energía en una célula de SBS sencilla puede derivar en una ruptura óptica (una chispa no deseable) en el foco. La adición de una segunda célula colimada enfrentada a la célula enfocada puede aliviar este problema al conseguir que gran parte de la energía entrante sea reflejada, mediante amplificación por SBS no lineal, en la célula colimada, antes incluso de llegar a la célula enfocada. Las formas de realización de la invención se aprovechan del hecho de que la eficacia del proceso de SBS no lineal no depende significativamente de cuánta energía es reflejada realmente desde la célula enfocada debido a la saturación de ganancia no lineal en la célula colimada. Por lo tanto, se puede añadir un atenuador ajustable entre las dos células para variar la energía que llega a la segunda célula enfocada. Mediante la reducción de la energía en la célula enfocada, se puede retardar el umbral de SBS no lineal (el punto en el perfil temporal antes del cual no se produce ninguna reflexión), acortándose de este modo la duración de impulso correspondiente al impulso reflejado. De esta manera, se puede lograr un ajuste preciso de la duración del impulso de salida láser simplemente ajustando esta pérdida variable entre las células. En las formas de realización de la invención, la pérdida variable se logra con un divisor de haz parcialmente reflectante cuya capacidad de reflexión efectiva es una función del ángulo de incidencia del haz sobre su superficie. La simple rotación del divisor de haz ajusta la energía que llega a la célula enfocada y, de este modo, ajusta la duración del impulso de salida del sistema de láser completo.

Un aspecto importante de una forma de realización de la presente invención es el control de las propiedades por los índices no lineales del medio de conjugación de fase por SBS, particularmente para sistemas con impulsos de alta energía del orden de 2 julios por impulso en el medio de SBS. Se ha reconocido que el medio líquido usado en las células de conjugación de fase por SBS puede contribuir significativamente a la acumulación de errores de índices no lineales (a lo que se hace referencia en la técnica como integral B). Tras reconocer esta situación, se han sustituido los líquidos, tales como acetona o tetracloruro de carbono, por un compuesto perfluoro que tiene un índice de refracción no lineal más pequeño, y bajo las condiciones de los láseres, requeridas para un sistema de granallado por láser, elimina los problemas previos provocados por daños de autoenfoco observados en ocasiones después de un funcionamiento prolongado con láser. Aunque se cree que otros han investigado compuestos perfluoro para su uso en células de SBS, se ha inventado una célula de SBS de alta energía basada en el uso mencionado de dichos compuestos. Adicionalmente, el medio de SBS se filtra, en algunas formas de realización *in situ*, para eliminar los particulados que tienen un tamaño de partícula mayor que aproximadamente 0,1 micras.

Este sistema de conjugador de fase por SBS es la opción óptima para su uso en sistemas de láser MOPA (oscilador maestro-amplificador de potencia), de estado sólido y con una alta energía de impulsos. Encuentra aplicación en otros sistemas de láser, tales como sistemas de láser que incorporan una conversión de frecuencia no lineal, tales como láseres de doble y triple frecuencia, conversión de frecuencia Raman, y OPO (osciladores paramétricos ópticos) y OPA (amplificadores paramétricos ópticos) de bombeo. Se encuentran ejemplos de aplicaciones comerciales en el granallado por láser, el conformado por impactos láser, el marcado por impactos láser, y el recocido por láser de metales y semiconductores, y otro procesamiento de materiales tal como el corte, la soldadura, el tratamiento térmico, la generación de luz UV y el tratamiento de semiconductores.

Este diseño de un conjugador de fase por SBS resulta particularmente muy adecuado para entornos con tensiones en la fabricación industrial y otros sistemas de láser, en donde hay presente una alta estabilidad en presencia de variaciones de temperatura y vibraciones mecánicas.

En combinación con el sistema de espejos de SBS descrito anteriormente para sistemas de láser de producción de alta potencia, un sistema de deflector de la invención se sitúa en el foco de un telescopio retransmisor intracavidad en un sistema de láser de múltiples pasadas y alta potencia. El telescopio retransmisor incluye una montura cinemática adaptada para montar un primer deflector con una abertura de microorificio con el fin de posibilitar una prealineación exacta de los haces que se desplazan en el sentido de avance y de retroceso, y para montar un segundo elemento deflector sustitutorio con estrechamiento progresivo, que tiene un orificio mucho más grande y lados con pendiente especialmente concebidos, para detener y dispersar haces de luz no deseados de alta fluencia (energía por cm cuadrado). El deflector de microorificio permite una compensación correcta de los haces de avance y retroceso y está diseñado de manera que es extraíble. El segundo elemento deflector que se estrecha progresivamente actúa como medios para detener y absorber o dispersar, de manera eficaz, la luz de reflexiones residuales que se producen a partir de la óptica y de luz no eliminada completamente durante la conmutación de polarización de salida. Esta luz, en sistemas de la técnica anterior, se vuelve a amplificar hasta niveles dañinos a medida que circula por el sistema y es necesario eliminarla para obtener un funcionamiento sin daños. Este montaje de piezas metálicas de un sistema de dos elementos de microorificio y deflector de alineación permite una alineación precisa y correcta del sistema óptico a través del telescopio retransmisor y, al mismo tiempo, elimina haces no deseados que podrían ser destructivos.

5 Las formas de realización de esta invención incluyen también un sistema óptico que incluye un telescopio retransmisor externo con un deflector central para reducir considerablemente luz reflejada desde el material diana. El sistema de formación de imágenes por retransmisión, según se describe en la patente US nº 6.198.069 "Laser beam temporal and spatial tailoring for laser shock processing", de L. A. Hackel y C. B. Dane, crea un plano imagen de campo cercano, de la salida del láser en la superficie diana. Colocando un telescopio retransmisor adicional con deflector aguas arriba de las piezas de formación de imágenes, la luz reflejada del material diana se puede eliminar casi completamente de la reflexión de retorno.

10 Una forma de realización proporciona un sistema de láser que incluye un trayecto óptico que presenta un telescopio retransmisor intracavidad con un foco de telescopio para la formación de imágenes de una salida del medio activo entre una ubicación de imagen en o cerca del medio activo y una ubicación de imagen en o cerca de un acoplador de salida para el sistema de láser. Dentro de una cámara de vacío se dispone una montura cinemática, y la misma está adaptada para afianzar deflectores de haces cerca del foco del telescopio. Un orificio de acceso en la cámara de vacío está adaptado para permitir la inserción y la extracción de los deflectores de haces. Durante la alineación del sistema de láser se usa un primer deflector que se forma usando una abertura de microorificio de alineación. Un  
15 segundo deflector que se estrecha progresivamente sustituye la abertura de alineación durante el funcionamiento y actúa como un deflector de campo lejano en el que los haces fuera de ángulo inciden en el deflector con un ángulo de incidencia rasante, reduciendo los niveles de fluencia en las áreas de impacto.

20 Aunque la presente invención se da a conocer haciendo referencia a las formas de realización y los ejemplos preferidos que se han detallado anteriormente, debe apreciarse que dichos ejemplos se proporcionan a título ilustrativo y no limitativo. Resultarán evidentes para los expertos en la materia modificaciones y combinaciones, estando dichas modificaciones y combinaciones comprendidas en el alcance de la invención según se reivindica.

## REIVINDICACIONES

1. Telescopio retransmisor (120) para sistemas de láser de alta potencia, que comprende:

5 una primera lente retransmisora (124, 301);

una segunda lente retransmisora (128, 303);

10 una cámara de vacío (122, 300) entre la primera y la segunda lentes retransmisoras, enfocando la primera y la segunda lentes retransmisoras haces en un foco común (321) dentro de la cámara de vacío;

15 una montura cinemática (308) dentro de la cámara de vacío, adaptada para fijar los deflectores de haces en la proximidad de foco común (321) y un deflector (309) montado en dicha montura cinemática, comprendiendo dicho deflector un elemento macizo que presenta un canal ópticamente transparente dispuesto para bloquear los haces fuera de ángulo (602) mientras que pasan los haces deseados (600, 601), presentando el canal ópticamente transparente unas aberturas en extremos opuestos del elemento macizo, y una cintura dentro del elemento macizo en la proximidad de dicho foco del telescopio, siendo menor dicha cintura que dichas aberturas, y presentando dicho canal unos lados que se estrechan progresivamente en la proximidad de dicha cintura con un ángulo rasante en un intervalo de aproximadamente 1 a 10 grados; y

20 un orificio de acceso (307) en la cámara de vacío, adaptado para la inserción y la extracción de deflectores de haces.

25 2. Telescopio según la reivindicación 1, en el que dicho elemento macizo presenta un hueco en dicho elemento que define el canal ópticamente transparente.

3. Telescopio según la reivindicación 1, que incluye un deflector de alineación de campo lejano adaptado para montarse en dicha montura cinemática, comprendiendo dicho deflector de alineación una abertura de microorificio.

30 4. Telescopio según la reivindicación 1, que incluye un deflector de campo cercano montado adyacente a una de dichas primera y segunda lentes retransmisoras.

35 5. Telescopio según la reivindicación 1, que incluye un primer deflector de campo cercano montado adyacente a dicha primera lente retransmisora, y un segundo deflector de campo cercano montado adyacente a dicha segunda lente retransmisora para bloquear haces parásitos.

6. Amplificador de láser, que comprende:

40 un medio activo (150);

un rotador de polarización (140);

un polarizador pasivo (106);

45 una pluralidad de reflectores (111 a 117) configurados para definir un trayecto óptico a través del medio activo, el polarizador pasivo, y el rotador de polarización; y

50 un conjugador de fase (160) configurado para recibir un haz del trayecto óptico después de que el impulso haya ejecutado una o más circulaciones a través del trayecto óptico, estando configurado además el conjugador de fase para devolver el haz con fase invertida al trayecto óptico para ejecutar un número igual de circulaciones del trayecto óptico en una dirección opuesta antes de salir del trayecto óptico; y

55 un telescopio retransmisor (120) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, entre el medio activo y el polarizador pasivo, que se utiliza para retransmitir imágenes entre el medio activo y una ubicación en el trayecto óptico en la proximidad del polarizador pasivo.

60 7. Sistema según la reivindicación 6, en el que dicha cavidad óptica se alinea con la deriva (*walk off*) de manera que los haces parásitos que circulan por la cavidad óptica más veces que las especificadas son bloqueados por dicho deflector.

8. Sistema según la reivindicación 6, en el que dicha ubicación en el trayecto óptico es adyacente al rotador de polarización y al polarizador pasivo.

65 9. Sistema según la reivindicación 6, que incluye un segundo telescopio retransmisor (170) en el trayecto óptico para retransmitir las imágenes entre dicha ubicación y el conjugador de fase.

10. Sistema según la reivindicación 6, que incluye un segundo telescopio retransmisor (170) en el trayecto óptico para retransmitir las imágenes entre dicha ubicación y el conjugador de fase, presentando el segundo telescopio retransmisor un deflector que bloquea los haces fuera de ángulo.

5 11. Método para el granallado por impactos láser de una pieza de trabajo diana, que comprende:

acoplar un impulso germinal a un trayecto óptico en forma de anillo (111-117) que incluye un medio de amplificación (150);

10 retransmitir en primer lugar una imagen de una salida del medio de amplificación hacia un sistema de conjugación de fase por SBS (160);

invertir la fase del impulso en el sistema de conjugación de fase por SBS después de una o más circulaciones a través del anillo en las que el impulso atraviesa el medio de amplificación;

15 retransmitir en segundo lugar una imagen de la salida del medio de amplificación entre un acoplador de salida, después de que el impulso atraviere el medio de amplificación un número igual de circulaciones a través del anillo en una dirección opuesta para proporcionar un impulso de salida con frente de onda corregido;

20 acoplar el impulso de salida con frente de onda corregido que comprende la imagen de la salida del medio de amplificación fuera del anillo en el acoplador de salida, y

controlar una anchura de impulso del impulso de salida con frente de onda corregido mediante el control de un umbral de dicho sistema de conjugación de fase por SBS; y

25 suministrar a la pieza de trabajo diana el impulso de salida con el frente de onda corregido,

en el que dichas primera y segunda retransmisiones incluyen la utilización de uno o más telescopios retransmisores intracavidad (120) según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

30 12. Método según la reivindicación 11, que incluye alinear por lo menos uno de dichos uno o más telescopios retransmisores insertando en primer lugar un deflector de microorificio en el foco del telescopio, y alineando el telescopio retransmisor, y sustituyendo a continuación el deflector de microorificio por dicho deflector que se estrecha progresivamente.

35

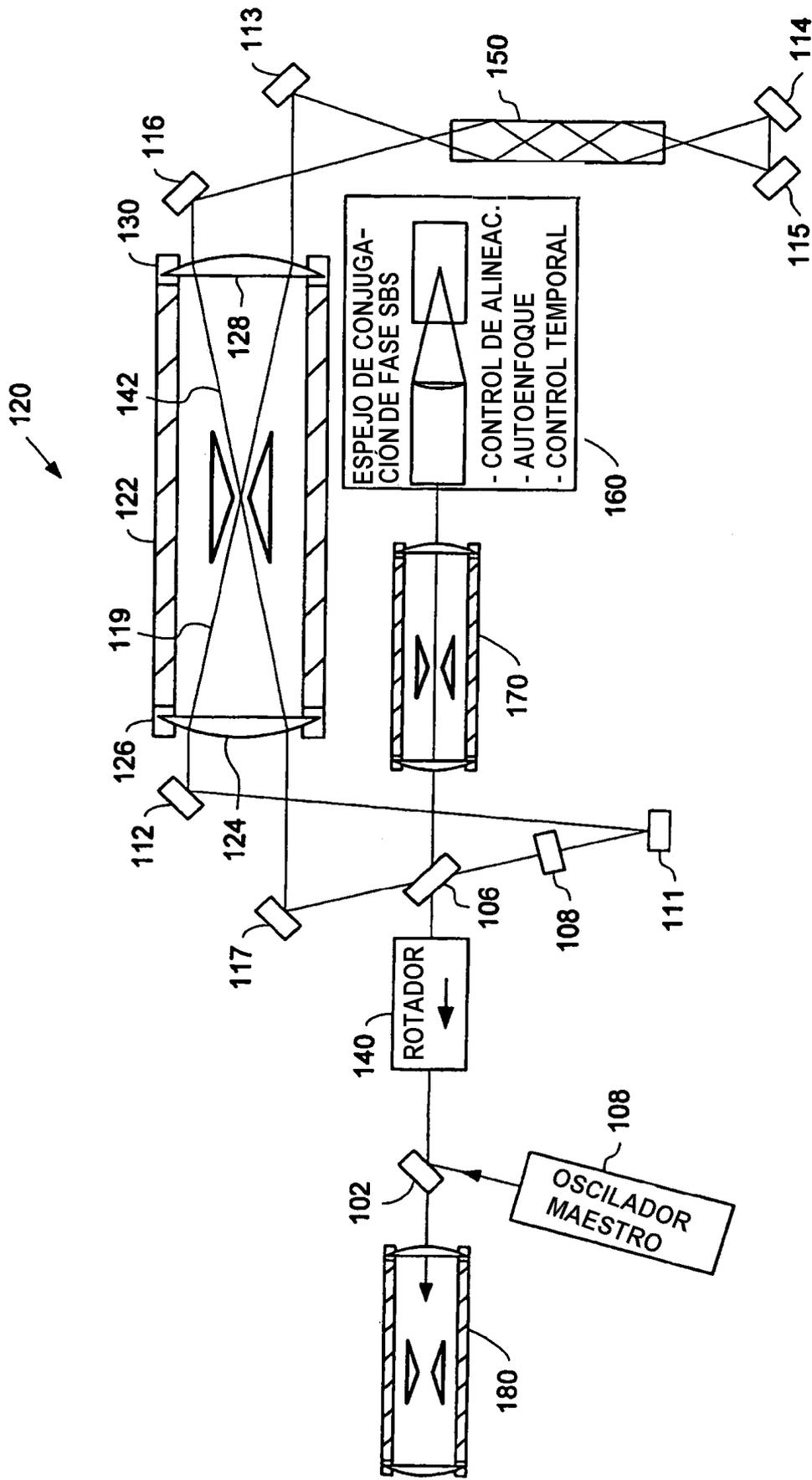


Fig. 1

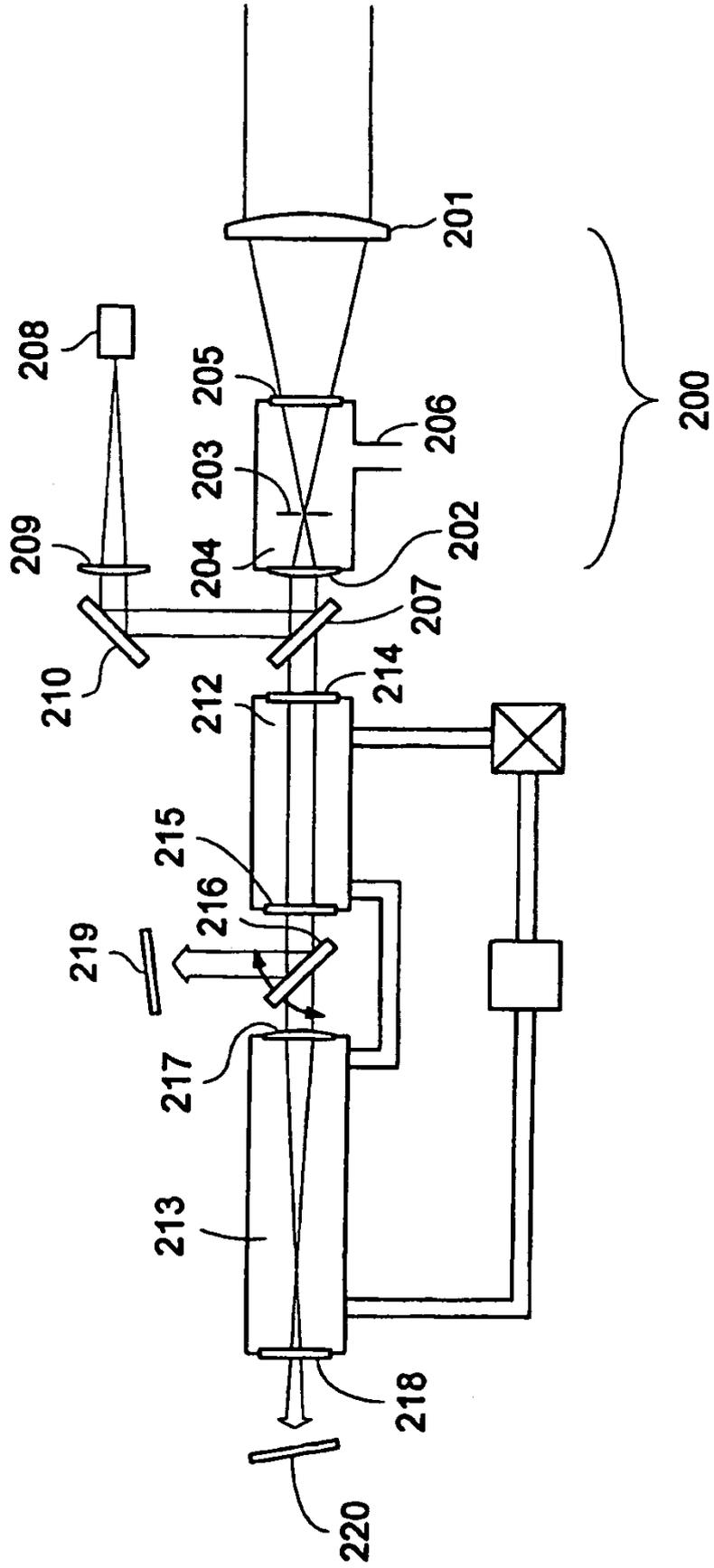
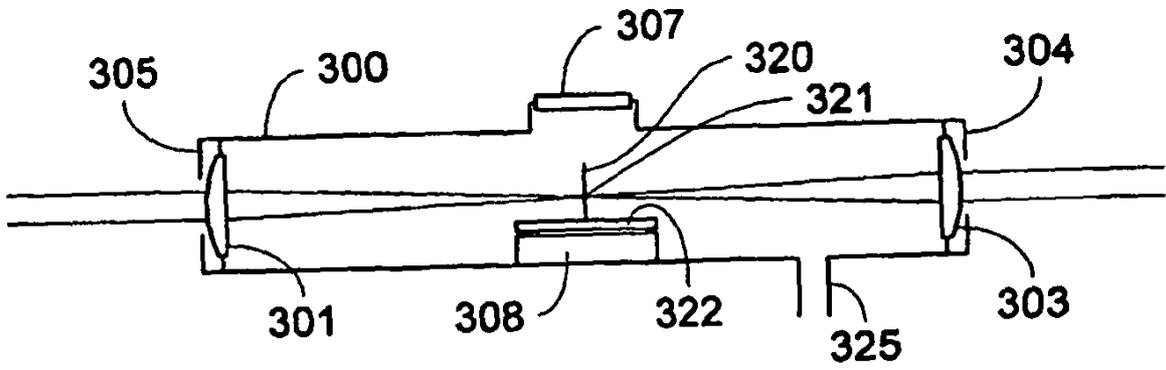
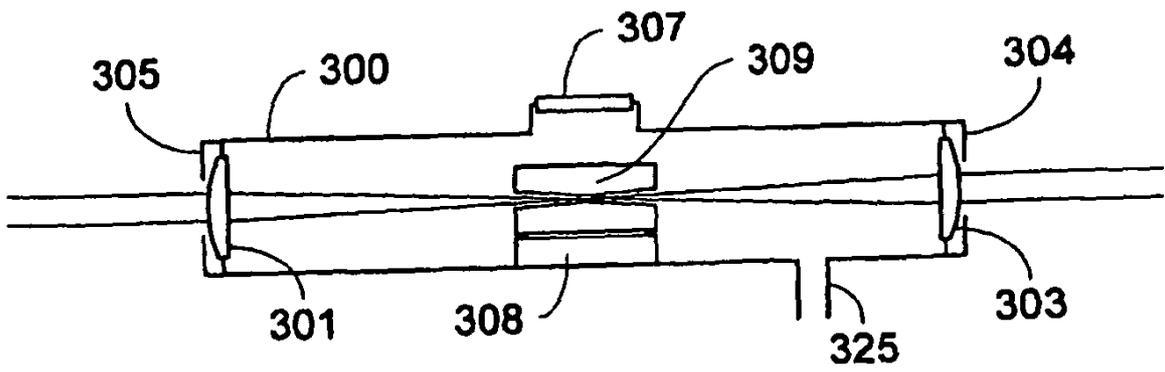


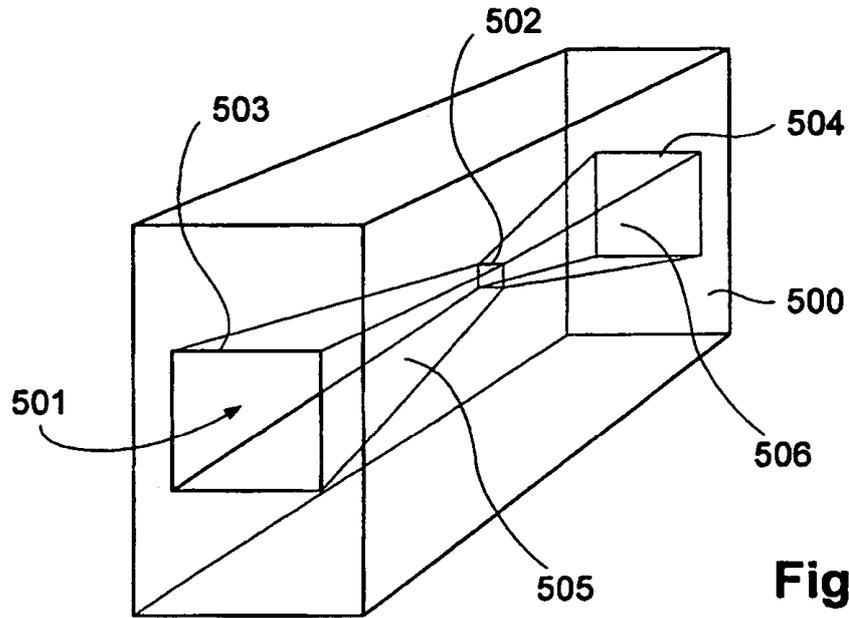
Fig. 2



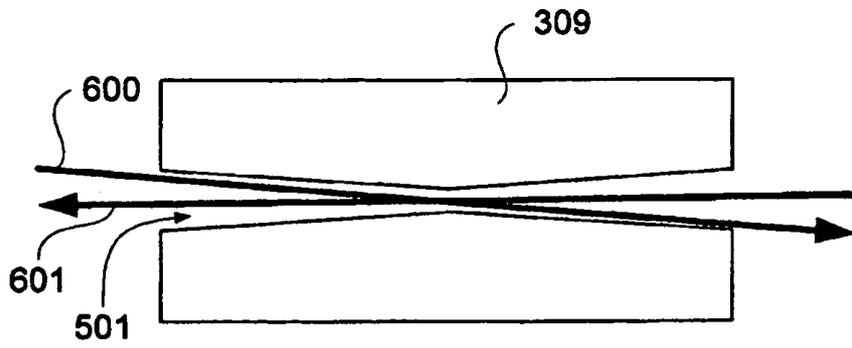
**Fig. 3**



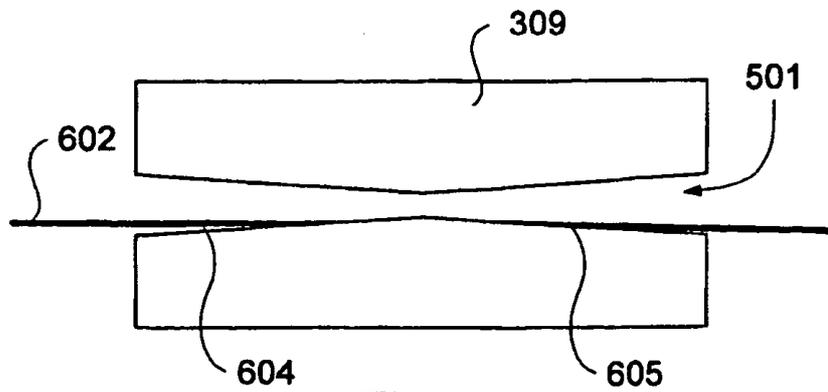
**Fig. 4**



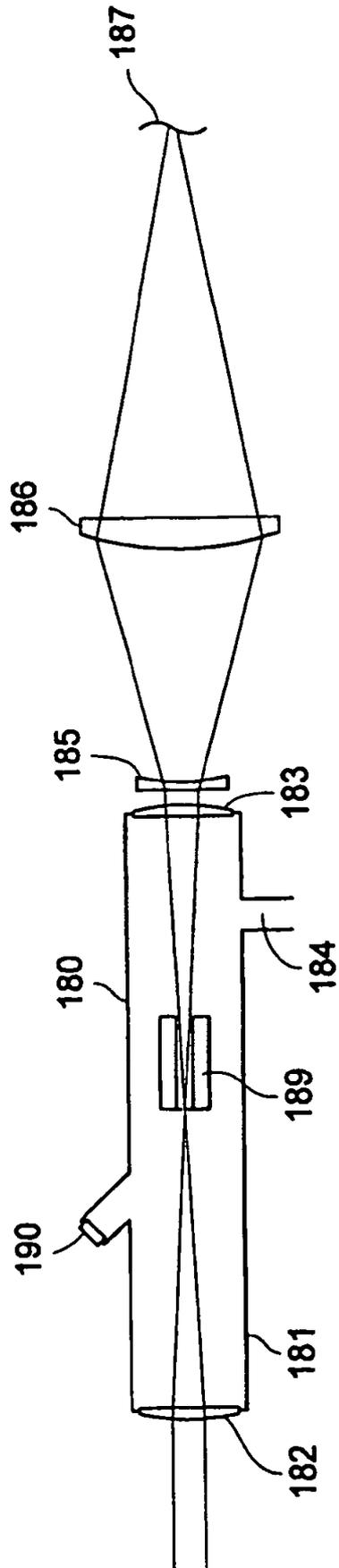
**Fig. 5**



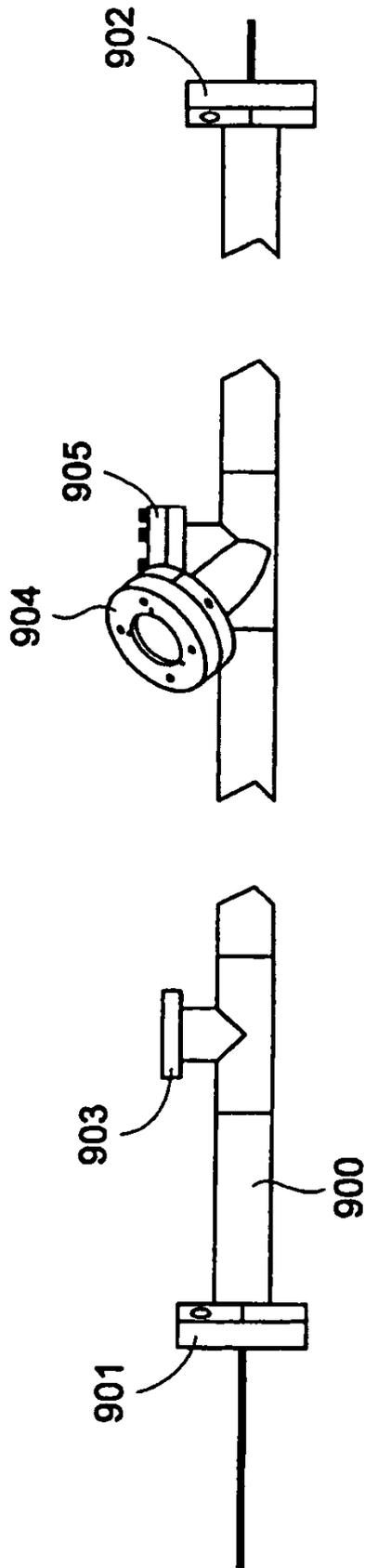
**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

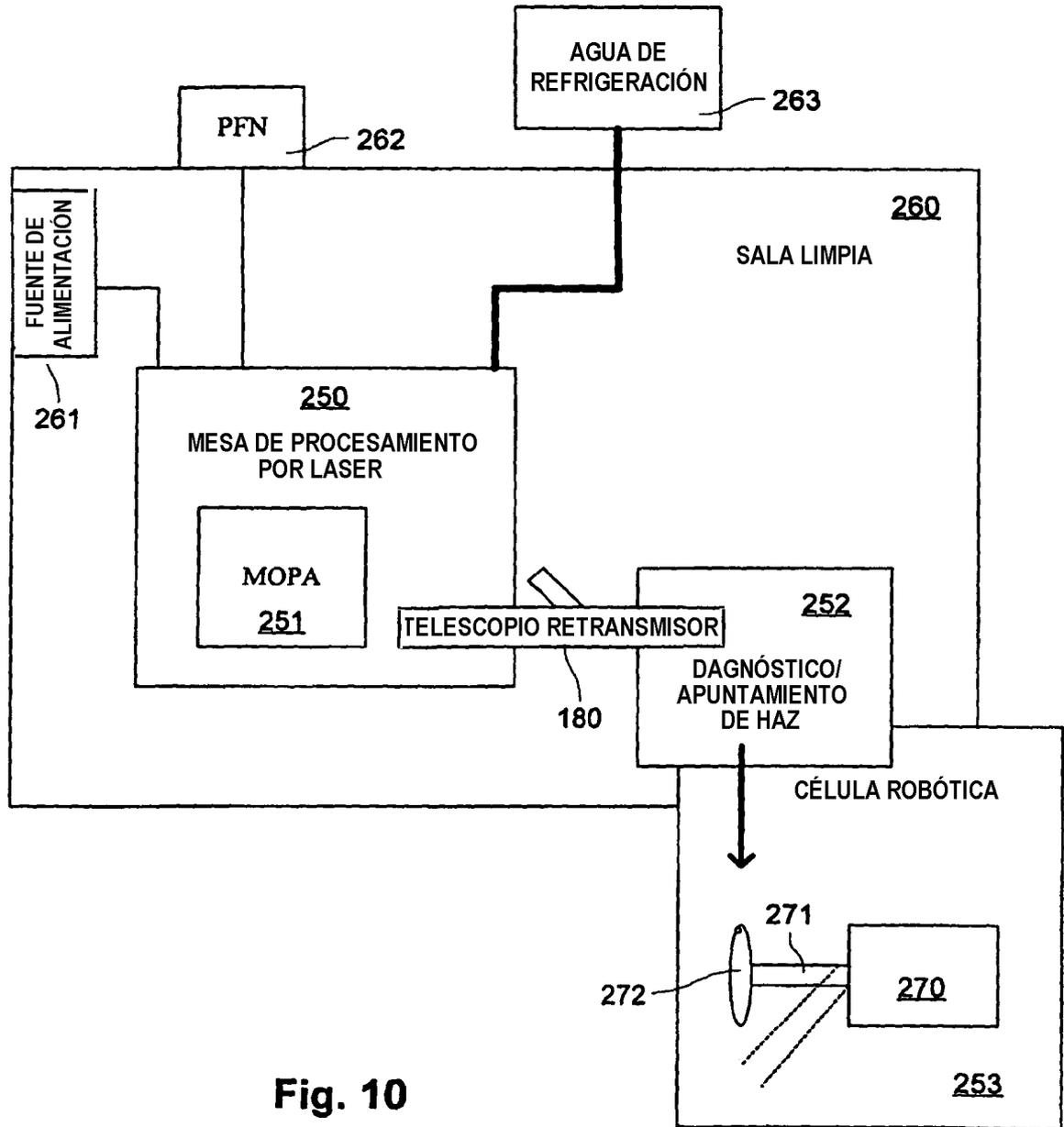


Fig. 10