

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 652 341**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/38** (2014.01)

**H05K 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2014 PCT/US2014/053129**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2015 WO15041827**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2014 E 14762188 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 3046720**

54 Título: **Perforación de un orificio de interconexión en una tarjeta de circuito impreso usando un láser de monóxido de carbono**

30 Prioridad:

**20.09.2013 US 201314033246**

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

**01.02.2018**

73 Titular/es:

**COHERENT, INC. (100.0%)  
5100 Patrick Henry Drive  
Santa Clara, CA 95054, US**

72 Inventor/es:

**HUA, GONGXUE y  
MUELLER, ERIC R.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 652 341 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

Perforación de un orificio de interconexión en una tarjeta de circuito impreso usando un láser de monóxido de carbono

5

**Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere en general a la perforación por láser de orificios de interconexión en tarjetas de circuito impreso (PCB). La invención se refiere en particular a la perforación por láser de PCB usando una radiación infrarroja de longitud de onda larga desde un láser de descarga de gas.

10

**Explicación de la técnica antecedente**

Los láseres sellados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) excitados por radiofrecuencia (RF) son los preferidos actualmente para la perforación de orificios de interconexión (perforación de interconexión) en los PCB. Esos láseres son relativamente compactos con relación a la potencia de salida disponible. A modo de ejemplo, un láser de menos de un metro (m) de longitud puede proporcionar un haz de radiación infrarroja (IR) de longitud de onda larga con una longitud de onda de aproximadamente 10,6 micrómetros (µm) con una potencia promedio de 400 vatios (W) o mayor. Aunque la perforación de interconexión del láser de CO<sub>2</sub> es rápida y eficiente, hay un límite eventual al tamaño de orificio más pequeño que puede taladrarse debido a la larga longitud de onda del haz láser. Los requisitos de mínimos tamaños de orificio y separación están incrementándose rápidamente para tarjetas impresas usadas en los denominados "teléfonos inteligentes", que, considerados prácticamente, son dispositivos ordenadores manuales portátiles con muchas más funciones que simplemente realizar y recibir llamadas telefónicas. En un teléfono inteligente del estado actual de la técnica, un PCB puede tener tantos como hasta 30.000 orificios de interconexión. Según se añaden más funciones a los teléfonos inteligentes, se requieren circuitos más complejos con más orificios de interconexión, y, eventualmente se requerirá una longitud de onda de perforación más corta para conseguir un tamaño de orificio más pequeño y una separación más cercana.

15

20

25

Se ha postulado que una longitud de onda preferida para perforación de un orificio de interconexión debería ser una longitud de onda denominada del IR medio (MIR) de entre aproximadamente 2 µm y aproximadamente 8 µm. La patente de Estados Unidos n.º US 6.576.869 B1 divulga el uso de fuentes de radiación láser de pulsos de alta potencia en el infrarrojo medio para perforación de orificios de interconexión de micro-comunicación de alta calidad en tarjetas de circuito impreso (cableado) y otros empaquetados de circuitos eléctricos. Aparte del potencial de un tamaño pequeño de orificio y separación más cercana, las longitudes de onda del MIR tienen un coeficiente de absorción más alto en los materiales del PCB que en las longitudes de onda de la radiación láser de CO<sub>2</sub>, más largas. Esto permitiría una absorción más rápida del calor en el PCB, lo que podría conducir a orificios con paredes más limpias y menos daño térmico colateral en general.

30

35

Las longitudes de onda del MIR podrían generarse a partir de láseres de estado sólido, de emisión en el infrarrojo cercano (NIR), láseres de fibra o láseres de semiconductor bombeados ópticamente, usando generación de suma de frecuencias o generación óptica-paramétrica. Esto requeriría sin embargo aparatos que tengan muchas veces el coste por vatio conseguible con un sistema láser de CO<sub>2</sub>.

40

Podría considerarse que el único láser de MIR candidato potencialmente viable a la sustitución de un láser CO<sub>2</sub> para perforación de interconexiones es un láser de CO. Las investigaciones de láseres de CO sellados conducen a un láser de CO sellado, con solo una simple modificación, un láser de CO<sub>2</sub> sellado pero con una mezcla de gas emisor láser diferente. Se ha conseguido una salida de potencia de aproximadamente el 80 % de la de un láser de CO<sub>2</sub> correspondiente.

45

En perforaciones de interconexión, los láseres de CO<sub>2</sub> se accionan en un modo de pulsos. Un problema con los láseres de CO es que cuando se accionan en un modo de pulsos, los tiempos de elevación y caída del pulso son relativamente largos. Tiempos de elevación y caída largos de los pulsos pueden crear daños térmicos colaterales inaceptables alrededor de los orificios de interconexión perforados por láser. En teoría al menos, los tiempos de elevación y caída de los pulsos láser pueden acortarse mediante "recorte" por modulación de los pulsos láser usando un modulador acusto-óptico (AOM).

50

55

Esto es complicado, sin embargo, en un intervalo amplio de las longitudes de onda de la salida del láser de CO. La salida del láser del CO ocurre en un intervalo de longitudes de onda láser entre aproximadamente 4,5 µm y aproximadamente 6,0 µm. Un AOM funciona en virtud de una rejilla de índice de refracción inducida en un cristal susceptible tal como un cristal de germanio (Ge) mediante la aplicación de una tensión de RF alta al cristal. La inducción de la rejilla desvía un haz láser desde una trayectoria a través del cristal sin rejilla inducida, en una trayectoria alterna en un ángulo respecto a la trayectoria no desviada (RF aplicada). El ángulo de la trayectoria desviada, naturalmente, depende de la longitud de onda. Con un haz colimado que tenga todo el ancho de banda del láser de CO, un haz desviado se dispersaría en un abanico de radiaciones que haría complicado enfocar el haz sobre un PCB para perforación.

60

65

Esta dispersión del haz por un AOM podría mitigarse limitando el ancho de banda del láser de CO, por ejemplo, mediante el uso de un dispositivo especialmente selectivo tal como un etalon o rejilla dentro del resonador láser. La naturaleza del láser de CO, sin embargo, es tal que la potencia de salida se reduciría en proporción directa al grado de reducción del ancho de banda espectral. La reducción del ancho de banda espectral a proporciones compatibles con el AOM podría reducir la potencia del láser de CO a tan baja como a un quinto de la de un láser de CO<sub>2</sub> bombeado y de tamaño comparable. Esto y los problemas relacionados deben superarse para que un láser de CO se convierta en un sustituto comercialmente viable de un láser de CO<sub>2</sub> para perforaciones de interconexión.

**Sumario de la invención**

Se definen aspectos de la invención en las reivindicaciones independientes, a las que se debería hacer referencia. Las características opcionales se definen en las reivindicaciones dependientes.

**Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la especificación, ilustran esquemáticamente una realización preferida de la presente invención, y junto con la descripción general dada anteriormente y la descripción detallada de la realización preferida dada a continuación, sirven para explicar los principios de la presente invención.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente un aparato de perforación de interconexión de acuerdo con la presente invención que incluye un láser de CO de la FIG. 1 operado en un modo de pulsos, teniendo los pulsos un intervalo característico de longitud de onda amplia del láser de CO, un modulador acusto-óptico (AOM) para la selección y recorte de los pulsos emitidos por el láser de CO, un compensador de la dispersión para corregir la dispersión introducida en los pulsos seleccionados y recortados por el AOM, y óptica de enfoque acromática para el enfoque de los pulsos de dispersión corregida sobre una tarjeta de circuito impreso (PCB) para la perforación de interconexión.

La FIG. 2 ilustra esquemáticamente una realización preferida del aparato de la FIG. 1, donde el compensador de la dispersión es un prisma, y la óptica de enfoque acromática incluye un espejo cóncavo y el AOM es excitado por una pluralidad de generadores de RF conmutados secuencialmente.

La FIG. 2A es un gráfico que ilustra esquemáticamente un ejemplo de compensador de la dispersión en función de la longitud de onda en el aparato de la FIG. 2 donde el AOM es un AOM de cristal de germanio y el prisma es un prisma de sulfuro de zinc.

La FIG. 3A y la FIG. 3B son gráficos que ilustran esquemáticamente un esquema de conmutación secuencial para los generadores de RF de la FIG. 2.

La FIG. 4 ilustra esquemáticamente una disposición de dispersión-compensación donde se usa un AOM en un modo de doble paso para recorte del pulso y también para dispersión-compensación de los pulsos recortados.

La FIG. 5 ilustra esquemáticamente otra disposición de compensación de la dispersión donde se usa un AOM en un modo de doble paso para recorte del pulso y también para compensación de la dispersión de los pulsos recortados.

La FIG. 6 ilustra esquemáticamente otra disposición más de compensación de la dispersión donde se usa un AOM en un modo de doble paso para recorte del pulso y también para compensación de la dispersión de los pulsos recortados.

La FIG. 7 ilustra esquemáticamente una disposición de compensación de la dispersión donde se usa un AOM para recorte del pulso y se usa otro AOM para compensación de la dispersión de los pulsos recortados.

La FIG. 8 ilustra esquemáticamente una disposición de compensación de la dispersión similar a la disposición de la FIG. 5, pero donde los órdenes de difracción más y menos del AOM producen dos pulsos recortados por cada pulso incidente sobre el AOM.

La FIG. 9 ilustra esquemáticamente una disposición de compensación de la dispersión donde el AOM se excita secuencialmente a dos frecuencias diferentes para proporcionar pulsos recortados difractados con diferente ángulo a partir de cada pulso incidente en el AOM, proporcionando un prisma la compensación de la dispersión para uno de los pulsos recortados y proporcionando dos prismas la compensación de la dispersión para el otro de los pulsos recortados.

La FIG. 10 ilustra esquemáticamente una disposición de compensación de la dispersión similar a la disposición de la FIG. 8, pero donde cada uno de los dos recortes se compensa en dispersión por un prisma correspondiente.

### Descripción detallada de la invención

Con referencia ahora a los dibujos, donde componentes iguales se designan por números de referencia iguales, la FIG. 1 ilustra esquemáticamente en la forma de un diagrama de bloques un aparato 10 de perforación de interconexiones de acuerdo con la presente invención. El aparato 10 incluye un láser de CO sellado 12 que emite radiación láser a longitudes de onda en un intervalo entre aproximadamente 4,5  $\mu\text{m}$  y aproximadamente 6,0  $\mu\text{m}$ . El láser es operado en un modo de pulsos. A modo de ejemplo, los pulsos pueden tener una duración seleccionada entre aproximadamente 100 microsegundos ( $\mu\text{s}$ ) y 160  $\mu\text{s}$  con una frecuencia de repetición del pulso (PRF) seleccionada entre aproximadamente 0,5 kilohercios (kHz) y 2,0 kHz. Dicho láser está disponible en Coherent Inc. de Santa Clara California, el asignatario de la presente invención.

Los pulsos se caracterizan por largos tiempos de elevación y caída, y de hecho puede decirse que los pulsos se están elevando o cayendo en amplitud sin un período significativo de amplitud casi constante dentro de la duración del pulso. A modo de ejemplo en un pulso que tenga una duración nominal de 140  $\mu\text{s}$  a una PRF de 1,0 kHz, el tiempo de elevación medido fue de 50  $\mu\text{s}$ , y el tiempo de caída medido fue de 84  $\mu\text{s}$ . Para ser útiles para el láser de CO inventivo de perforación de interconexiones, estos pulsos deberían recortarse tanto en los flancos de elevación como de caída. Se proporciona un modulador acusto-óptico (AOM) 52 para la selección de pulsos de la salida láser y para efectuar el recorte del flanco de elevación y del flanco de caída de los pulsos seleccionados.

Un AOM funciona mediante la desviación de la radiación desde una trayectoria de entrada usando un "rejilla de índice de refracción" inducida en un cristal de germanio mediante la aplicación de una tensión de RF elevada al cristal. En el caso de los pulsos del láser de CO con dicha amplitud de ancho de banda, esto introduce dispersión en un haz de impulsos desviados (seleccionados y recortados). Esta dispersión se corrige en el aparato 10 mediante un compensador de la dispersión 64. Un espejo giratorio 68 dirige el haz del pulso compensado en dispersión a la óptica de enfoque acromática 70. La óptica de enfoque acromática enfoca el haz del pulso compensado en dispersión sobre un PCB 74 para perforación de la interconexión.

La FIG. 2 ilustra esquemáticamente una realización preferida 12A del aparato de la FIG. 1. En este caso, un haz del pulso desviado y recortado por el AOM 52 se desvía en un abanico de rayos, siendo desviada la longitud de onda más corta ( $\lambda_S$ ) en el espectro del pulso en un ángulo menor que la longitud de onda más larga ( $\lambda_L$ ) en el espectro del pulso. Los rayos de longitud de onda más corta y de longitud de onda más larga se representan en el dibujo mediante líneas respectivamente continuas y de puntos. El AOM, en este caso, es excitado por un amplificador de RF 54 alimentado por los generadores de RF RFG<sub>1</sub>, RFG<sub>2</sub> y RFG<sub>3</sub>.

Los pulsos no seleccionados y partes descartadas de pulsos seleccionados prosiguen sin desviación a una descarga del haz 56. Las partes descartadas de los pulsos incluyen las partes del flanco de elevación y del flanco de caída "recortadas" de los pulsos y alguna parte del haz de pulsos desviado resultante de eficiencia de la difracción menor del 100 % por el AOM.

El compensador de la dispersión 64 en el aparato 12A es un prisma 65 configurado y dispuesto para colimar aproximadamente el abanico de rayos procedente del AOM. La expresión "colimar aproximadamente" tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones adjuntas, significa que no es necesario que los rayos compensados en dispersión se colimen exactamente y pueden estar en algún intervalo reducido de direcciones.

El prisma 65 dirige el haz aproximadamente colimado a la óptica de enfoque acromática 70 que en la realización 12A es un espejo cóncavo 72. El espejo 72 enfoca el haz aproximadamente colimado sobre el PCB 74. Los expertos en la materia reconocerán, sin una descripción o ilustración detallada adicional, que puede usarse una disposición de enfoque más compleja que tenga más de un elemento sin apartarse del espíritu y alcance de la presente invención. Dichas disposiciones de enfoque pueden comprender solo elementos reflectores (espejos), solo elementos transmisores (elementos de lente), o alguna combinación de elementos reflectores y transmisores.

La FIG. 2A es un gráfico que ilustra esquemáticamente la compensación de dispersión calculada en función de la longitud de onda para la disposición de prisma de la FIG. 1. En este caso, el AOM es un AOM de germanio (Ge) y el prisma es un prisma de sulfuro de zinc (ZnS). La compensación de dispersión (en miliradianes) es la diferencia entre la dispersión producida por el AOM y la dispersión producida por el prisma. Puede verse que a longitudes de onda entre 5,0  $\mu\text{m}$  y 6,0  $\mu\text{m}$ , la dispersión neta es menor de 20 microradianes.

Continuando con referencia a la FIG. 2, y con referencia además a la FIG. 3A y a la FIG. 3B, en el aparato 10A, como se ha indicado anteriormente, el AOM 52 es excitado por el amplificador de RF 54 que puede excitarse, a su vez, mediante uno cualquiera de tres generadores de RF, RFG<sub>1</sub>, RFG<sub>2</sub> y RFG<sub>3</sub>. Cada uno de los generadores de RF tiene la misma frecuencia pero tiene selectivamente amplitud de salida variable. La finalidad de esta disposición de excitación por generador plural es ser capaz de "recortar" un pulso usando una pluralidad de "fragmentos" secuenciados en el tiempo. Cada uno de estos generadores de RF recorta un fragmento. La amplitud selectivamente variable de la amplitud del generador de RF (y una eficiencia selectivamente variable correspondiente de la rejilla de índice de refracción inducida en el AOM) permite que se varíe selectivamente la amplitud del fragmento individual.

La FIG. 3A es una reproducción de un trazado de osciloscopio que representa un pulso (curva en línea continua gruesa) a ser fragmentado. Las líneas continuas finas paralelas, verticales, representan los tiempos de “conexión” y “desconexión” de los generadores de RF, RFG<sub>1</sub>, RFG<sub>2</sub> y RFG<sub>3</sub>, en una secuencia de tiempo. Se necesitará, naturalmente, un intervalo de tiempo muy pequeño (no visible en la FIG. 4A) entre la conmutación de un generador de RF a “desconexión” y la conmutación del siguiente generador de RF a “conexión”.

La FIG. 3B representa como aparecerá un trazado de osciloscopio (curva en línea continua gruesa) comparable al reproducido en la FIG. 3A con “fragmentación” de acuerdo con la secuencia de tiempos de la FIG. 3A, pero donde la amplitud del fragmento RFG<sub>1</sub> es mayor que la amplitud del fragmento RFG<sub>3</sub>, que, a su vez, es mayor que la amplitud del fragmento RFG<sub>2</sub>. En el ejemplo de la FIG. 3B las amplitudes de los generadores de RF se han seleccionado de modo que la potencia de pico en cada fragmento de pulso sea aproximadamente igual.

Debería observarse que los generadores de RF pueden operarse también a frecuencias diferentes en cuyo caso los tres “fragmentos” de impulso dejarán al AOM en diferentes ángulos y podrían usarse por separado, mediante óptica de enfoque separada para perforación de la interconexión. Esto se explica con mayor detalle adicionalmente a continuación en el presente documento.

La FIG. 4 ilustra esquemáticamente una disposición de compensación de la dispersión alternativa que puede usarse en el aparato de acuerdo con la presente invención. En esta disposición, una parte 52A del AOM 52 actúa como el compensador de la dispersión 64. En este caso, un haz de pulsos desde el láser de CO 12 (representado por una línea continua gruesa) es recortado por el AOM 52 en la parte superior del mismo. Una rejilla de líneas de puntos ilustra esquemáticamente la rejilla de índice de refracción inducida por la aplicación de la potencia de RF en el AOM.

El haz de pulso recortado se difracta en un abanico de rayos limitados por uno más largo  $\lambda_L$  (líneas de puntos) y uno más corto  $\lambda_S$  (líneas continuas). El giro de los espejos 102 y 104 a una disposición retro-reflectora dirige el haz de pulsos de vuelta a la parte inferior 52A del AOM con ángulos incidentes de  $\lambda_L$  y  $\lambda_S$  en el haz de pulsos de la parte 52A correspondiente a los ángulos difractados desde el AOM 52. En el segundo paso a través del AOM se compensa la dispersión y los rayos  $\lambda_L$  y  $\lambda_S$  se propagan paralelos entre sí a la óptica de enfoque acromática. La radiación no recortada y los residuos de la radiación recortada prosiguen en la dirección de orden cero para descarga del haz 56, como se ilustra esquemáticamente en el dibujo.

La longitud de la trayectoria desde el AOM de vuelta al AOM se hace suficientemente larga de modo que todo el pulso láser puede atravesar el AOM, antes de que se reactive el AOM, mediante la aplicación de la potencia de RF, para proporcionar la compensación de la dispersión. Esto separa temporalmente las funciones de recorte del pulso y compensación de la dispersión del AOM.

La FIG. 5 ilustra esquemáticamente otra disposición de compensación de la dispersión alternativa que puede usarse en aparatos de acuerdo con la presente invención. Esta disposición es similar a la disposición de la FIG. 4 con una excepción en que solo un espejo giratorio 108 dirige el haz de pulsos recortado de vuelta a la parte 52A del AOM 52. Como en la disposición de la FIG. 4, los ángulos difractado desde, y reincidente sobre el AOM de los rayos  $\lambda_L$  y  $\lambda_S$  son los mismos. El haz de pulsos compensado en dispersión se dirige por el espejo giratorio 110 a la óptica de enfoque acromática.

La FIG. 6 ilustra esquemáticamente otra disposición más alternativa de compensación de la dispersión que puede usarse en aparatos de acuerdo con la presente invención. Esta disposición es similar a la disposición de la FIG. 4 con una excepción en que la trayectoria del haz desde el AOM de vuelta al AOM se extiende por un telescopio 112 de retransmisión f-2f-f, formado por espejos cóncavos 114 (en donde f es la longitud focal de los espejos cóncavos). El haz a una distancia f del espejo 114 es captado a una distancia f del espejo 116. Esto reduce la difusión del haz.

La FIG. 7 ilustra esquemáticamente otra disposición alternativa más de compensación de la dispersión que puede usarse en aparatos de acuerdo con la presente invención. Esta disposición es similar a la disposición de la FIG. 2 con una excepción en que se sustituye un AOM 52B separado por el prisma de compensación de la dispersión de la disposición de la FIG. 2. Como el AOM 52 y el AOM 52B pueden operarse independientemente, no hay necesidad de una trayectoria óptica extendida entre los AOM y puede limitarse en consecuencia la difusión del haz.

En todas las disposiciones de compensación de la dispersión descritas anteriormente solo se usa un orden de difracción del AOM 52 para recorte del pulso. La FIG. 8 ilustra esquemáticamente una disposición en la que se usan un orden +1 y un orden -1 para proporcionar, simultáneamente, dos pulsos recortados a partir de cada pulso desde el láser de CO 12 incidente sobre el AOM 52. Los espejos giratorios 120 y 122 devuelven los dos pulsos recortados al AOM para compensación de la dispersión, como en la disposición de compensación de la dispersión de la FIG. 5. Los pulsos recortados compensados en dispersión se dirigen a ópticas de enfoque acromáticas separadas 70A y 70B (no mostradas explícitamente) mediante espejos giratorios 124 y 126, respectivamente.

Otra disposición de compensación de la dispersión usada en conjunto con proporcionar dos pulsos recortados a partir de un pulso incidente se representa en la FIG. 9. En este caso el AOM 52 es excitado secuencialmente por dos frecuencias de RF diferentes  $f_1$  y  $f_2$ . En el dibujo de la FIG. 9 los haces de pulsos recortados se muestran

mediante una única línea gruesa por conveniencia de ilustración. Estos haces incluyen los abanicos de rayos difractados descritos anteriormente y representados en otros dibujos. En el dibujo de la FIG. 9, se supone que  $f_2$  es mayor que  $f_1$  de modo que los rayos de pulsos recortados de  $f_2$  se difractan con un ángulo mayor que los rayos de pulsos recortados de  $f_1$ .

5 En la disposición de la FIG. 9, la compensación de la dispersión se proporciona por los prismas 65 y 67. La dispersión introducida por  $f_2$  se supone que es mayor que la que puede compensarse por un único prisma. Los rayos de  $f_2$  atraviesan ambos prismas para proporcionar la compensación. La dispersión introducida por  $f_1$  es suficientemente pequeña de modo que solo se necesita un prisma 65 para proporcionar la compensación de  
10 dispersión. Los pulsos recortados de  $f_2$  y  $f_1$  se envían a ópticas de enfoque separadas tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la FIG. 8.

La FIG. 10 ilustra esquemáticamente una compensación de la dispersión similar a la disposición de la FIG. 8 donde el AOM 52 proporciona simultáneamente dos pulsos recortados a partir de un único pulso incidente, mediante el uso  
15 de un difractado de orden +1 y un difractado de orden -1. Los haces difractados se representan mediante líneas gruesas simples, por conveniencia de ilustración, como en la disposición de la FIG. 9. En la disposición de la FIG. 10, los haces difractados son compensados en dispersión separadamente por los prismas 65A y 65B, que dirigen los haces compensados en dispersión a ópticas de enfoque acromática 70A y 70B (no explícitamente mostradas),  
20 respectivamente.

La presente invención se ha descrito anteriormente en términos de una realización preferida y otras. La invención no está limitada, sin embargo, a las realizaciones descritas y representadas en el presente documento. Por el contrario la invención está solamente limitada por las reivindicaciones adjuntas a la misma.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato (10) para perforación por láser de una pieza de trabajo, que comprende:

- 5 un primer modulador acusto-óptico, AOM, (52)  
 un láser de monóxido de carbono (CO) (12) que emite pulsos de radiación láser teniendo la radiación en los pulsos una pluralidad de longitudes de onda en un intervalo de longitud de onda entre aproximadamente 4,5 micrómetros y aproximadamente 6,0 micrómetros, teniendo los pulsos de radiación un flanco de elevación temporal y un flanco de caída temporal e incidiendo los pulsos de radiación láser sobre el AOM (52) en una  
 10 dirección de incidencia;  
 estando dispuesto el AOM (52) para recibir los pulsos de radiación, dispersar una parte temporal central de los pulsos, excluir una parte del flanco de elevación y una parte del flanco de caída, en un primer intervalo de direcciones dispersadas dependientes de la longitud de onda en un ángulo de la dirección de incidencia, y transmitir las partes residuales de los pulsos a lo largo de la dirección de incidencia;  
 15 un compensador de la dispersión (64) dispuesto para recibir la parte temporal central de los pulsos y reducir el intervalo de direcciones dispersadas a un segundo intervalo menor que el primer intervalo;  
 y  
 al menos un elemento óptico dispuesto para enfocar acromáticamente las partes del pulso temporal desde el compensador de la dispersión sobre la pieza de trabajo.
- 20 2. El aparato de la reivindicación 1, donde el compensador de la dispersión (64) incluye al menos un prisma (65, 67).
3. El aparato de la reivindicación 2, donde el compensador de la dispersión (64) incluye dos prismas (65, 67).
- 25 4. El aparato de la reivindicación 2, donde el al menos un prisma es un prisma de sulfuro de zinc (65, 67).
5. El aparato de la reivindicación 1, donde el compensador de la dispersión (64) es un segundo AOM.
6. El aparato de la reivindicación 1, donde la parte temporal central de los pulsos se dispersan por una primera parte del primer AOM (52), el compensador de la dispersión (64) es una segunda parte del primer AOM (52), y el aparato incluye adicionalmente al menos un elemento óptico reflector dispuesto para dirigir la parte central temporal de los pulsos alrededor de la trayectoria óptica al interior de la segunda parte del primer AOM (52).
- 30 7. El aparato de la reivindicación 6, donde el al menos un elemento óptico reflector es un elemento óptico reflector plano.
8. El aparato de la reivindicación 6, donde la longitud de la trayectoria óptica entre la primera y segunda partes del primer AOM (52) es suficiente de modo que la parte central dispersada de un pulso llegue a la segunda parte del primer AOM (52) después de que todo el pulso haya atravesado la primera parte del primer AOM (52).
- 40 9. El aparato de la reivindicación 6, donde el aparato incluye dos elementos ópticos reflectores planos dispuestos para dirigir la parte central temporal dispersa de los pulsos alrededor de la trayectoria óptica al interior de la segunda parte del primer AOM (52).
- 45 10. El aparato de la reivindicación 6, donde el aparato incluye un elemento óptico reflector plano y primer y segundo elementos ópticos reflectores cóncavos dispuestos para dirigir la parte central temporal dispersa de los pulsos alrededor de la trayectoria óptica al interior de la segunda parte del primer AOM (52).
- 50 11. El aparato de la reivindicación 10, donde el primer y segundo elementos ópticos reflectores cóncavos tienen la misma longitud focal y se disponen frente a frente y separados por el doble de la longitud focal.
12. El aparato de la reivindicación 11, donde la parte central dispersada de los pulsos se refleja desde el primer elemento óptico reflector cóncavo al segundo elemento óptico reflector cóncavo, desde el segundo elemento óptico reflector cóncavo al elemento óptico reflector plano, y desde el elemento óptico reflector plano a la segunda parte del primer AOM (52).
- 55 13. El aparato de la reivindicación 1, donde el al menos un elemento óptico es un espejo cóncavo (72).
14. El aparato de la reivindicación 1, donde el segundo intervalo de direcciones es aproximadamente paralelo.
- 60 15. El aparato de perforación por láser de una pieza de trabajo, que comprende:
- un primer modulador acusto-óptico (AOM) (52), operado secuencialmente mediante al menos primera y segunda señales de RF que tienen la misma frecuencia pero diferente magnitud;  
 65 un láser de monóxido de carbono (CO) (12) que emite un pulso de radiación láser teniendo la radiación en los pulsos una pluralidad de longitudes de onda en un intervalo de longitudes de onda entre aproximadamente

4,5 micrómetros y aproximadamente 6,0 micrómetros, teniendo los pulsos de radiación un flanco de elevación temporal y un flanco de caída temporal y siendo incidentes los pulsos de radiación láser sobre el AOM (52) en una dirección de incidencia;

5 estando dispuesto el AOM (52) para recibir los pulsos de radiación, dispersar primera y segunda partes temporales centrales de los pulsos excluyendo una parte del flanco de elevación y una parte del flanco de caída a través de la aplicación del AOM a la primera y segunda señales de RF, dispersándose la primera y segunda partes temporales en un primer intervalo de direcciones dispersadas dependientes de la longitud de onda en un ángulo con la dirección de incidencia, siendo seleccionada la primera y segunda magnitudes de las señales de RF de modo que la potencia de pico de la primera y segunda partes temporales centrales temporalmente

10 adyacentes sean aproximadamente iguales;  
un compensador de la dispersión (64) dispuesto para recibir las partes temporales centrales de los pulsos y reducir el intervalo de direcciones dispersadas a un segundo intervalo menor que el primer intervalo; y al menos un elemento óptico dispuesto para enfocar acromáticamente las partes del pulso temporal desde el

15 16. El aparato de la reivindicación 15, donde las al menos primera y segunda señales de RF se proporcionan mediante un amplificador de RF (54) sembrado por respectivamente primer y segundo generadores de RF.

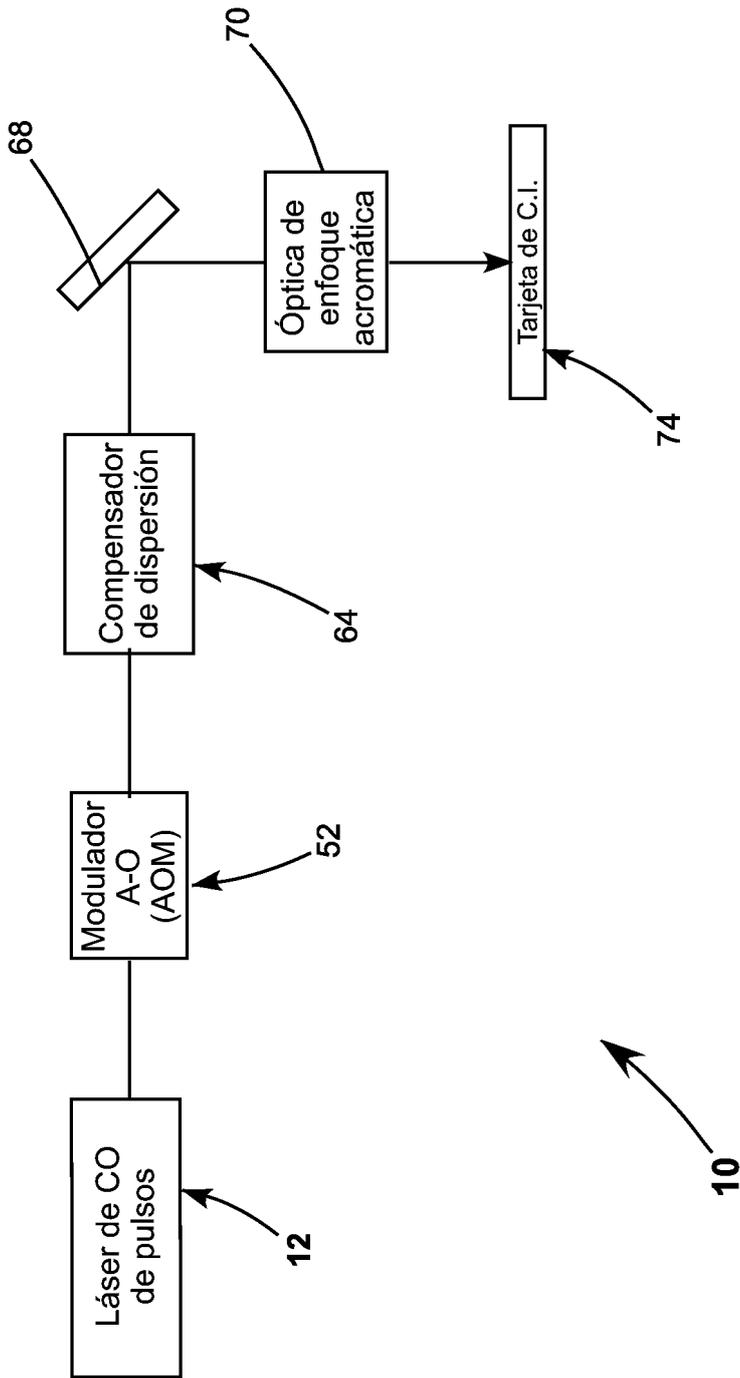


FIG. 1

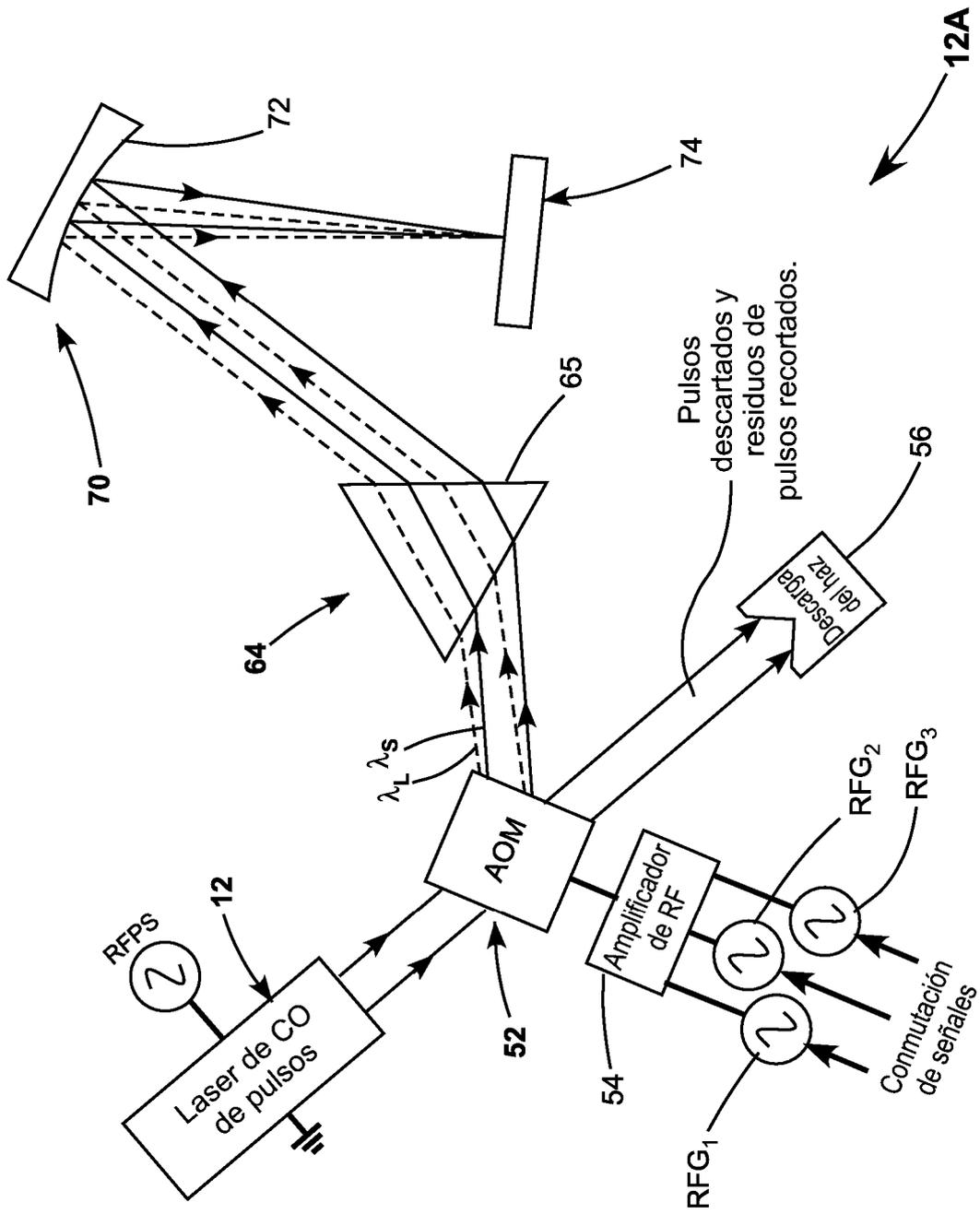


FIG. 2

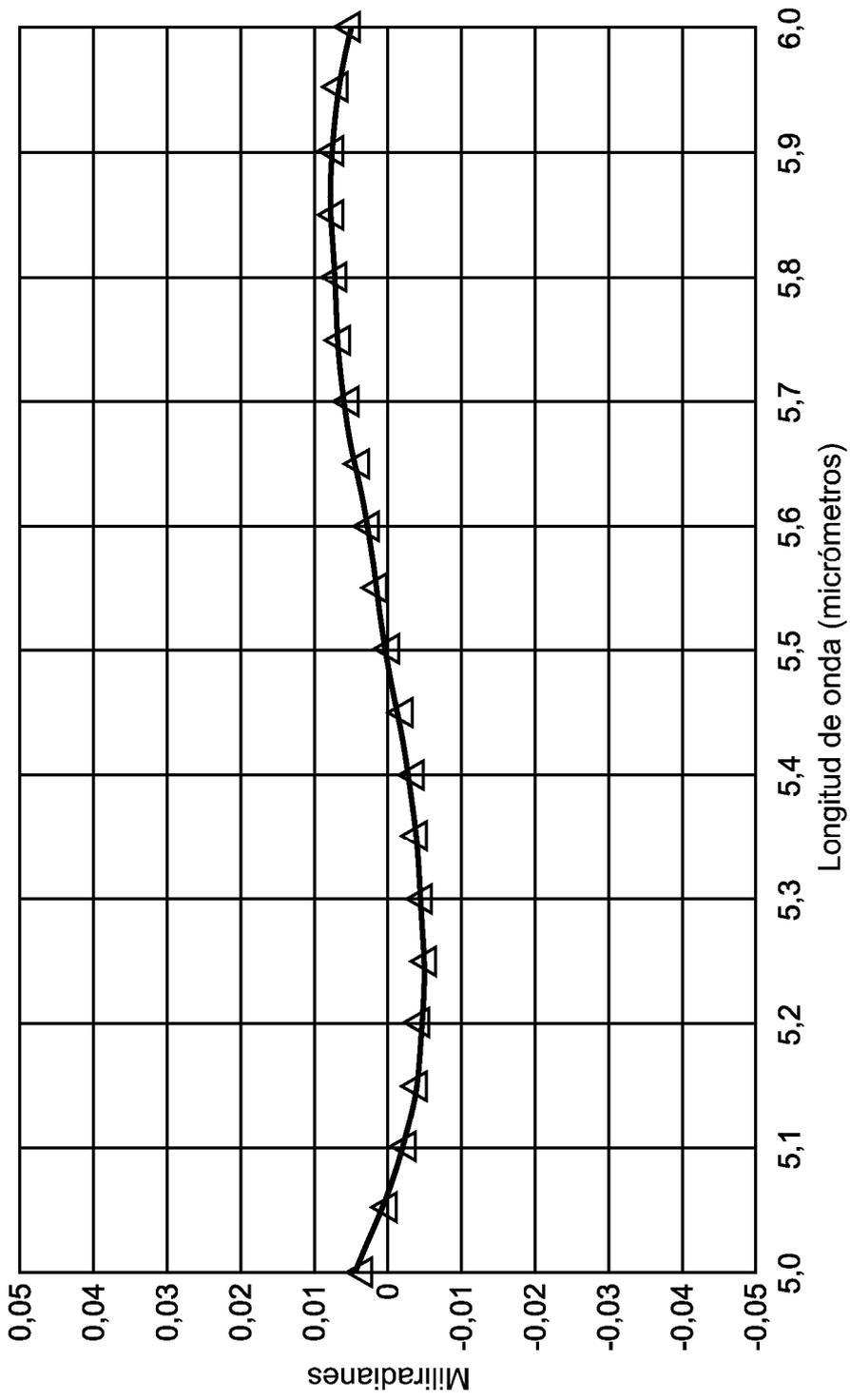
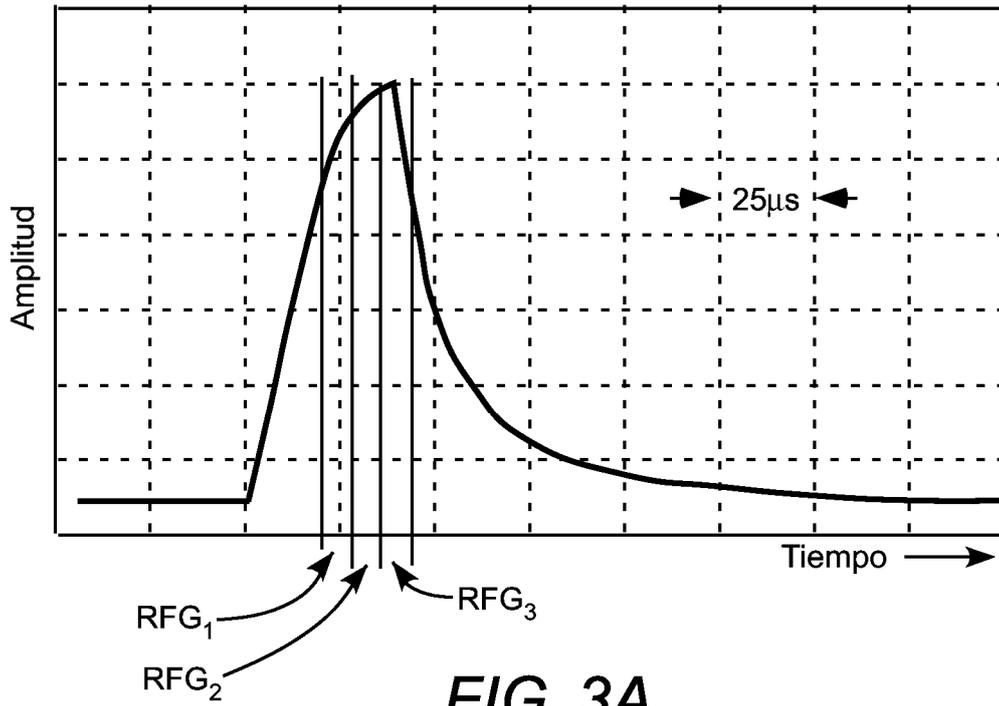
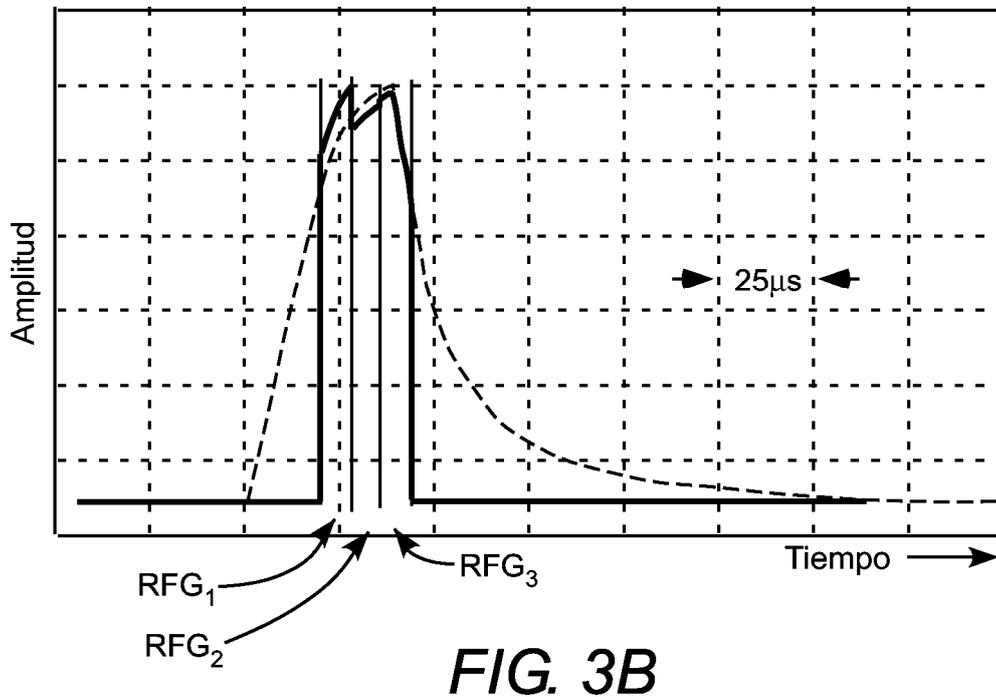


FIG. 2A



**FIG. 3A**



**FIG. 3B**

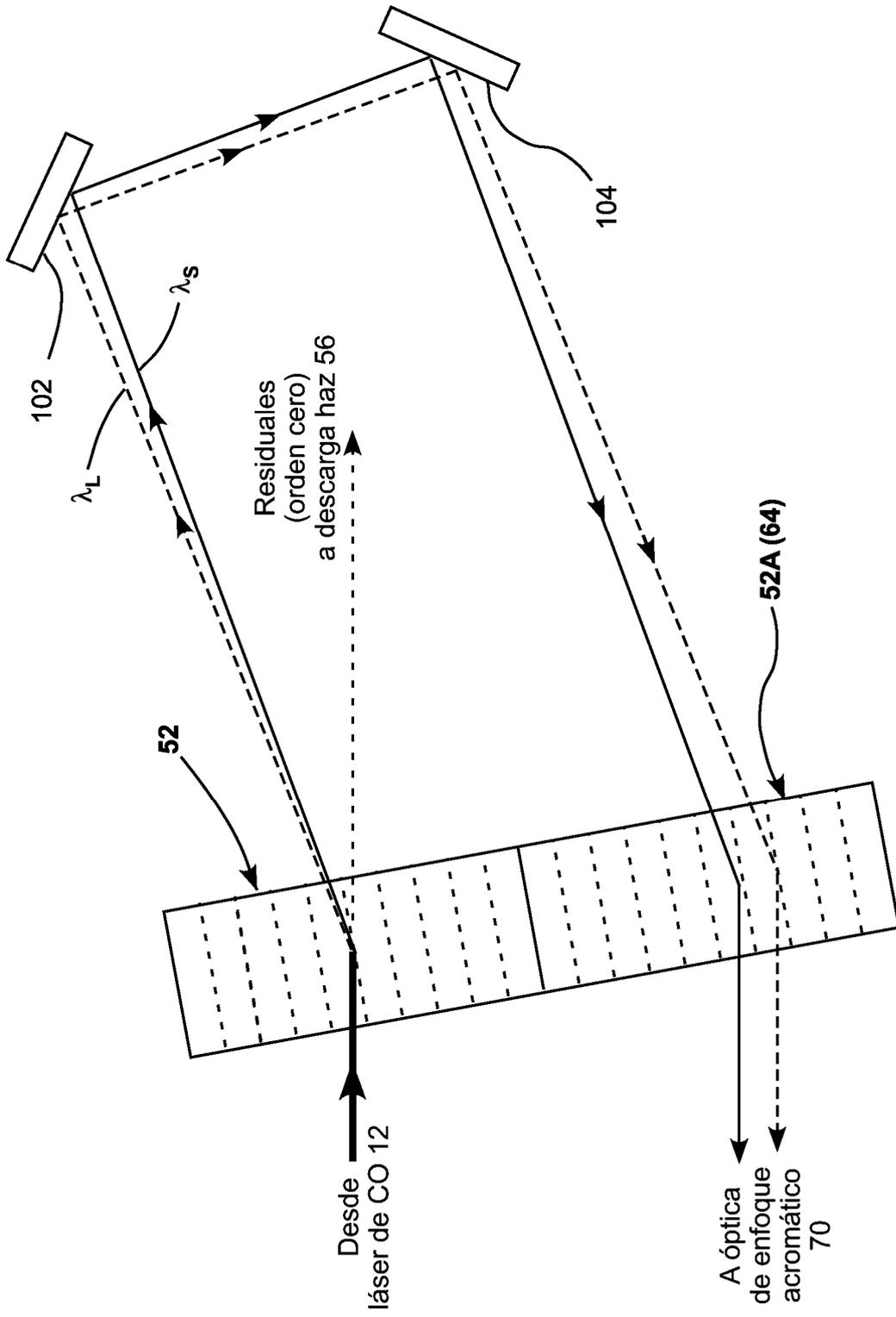


FIG. 4

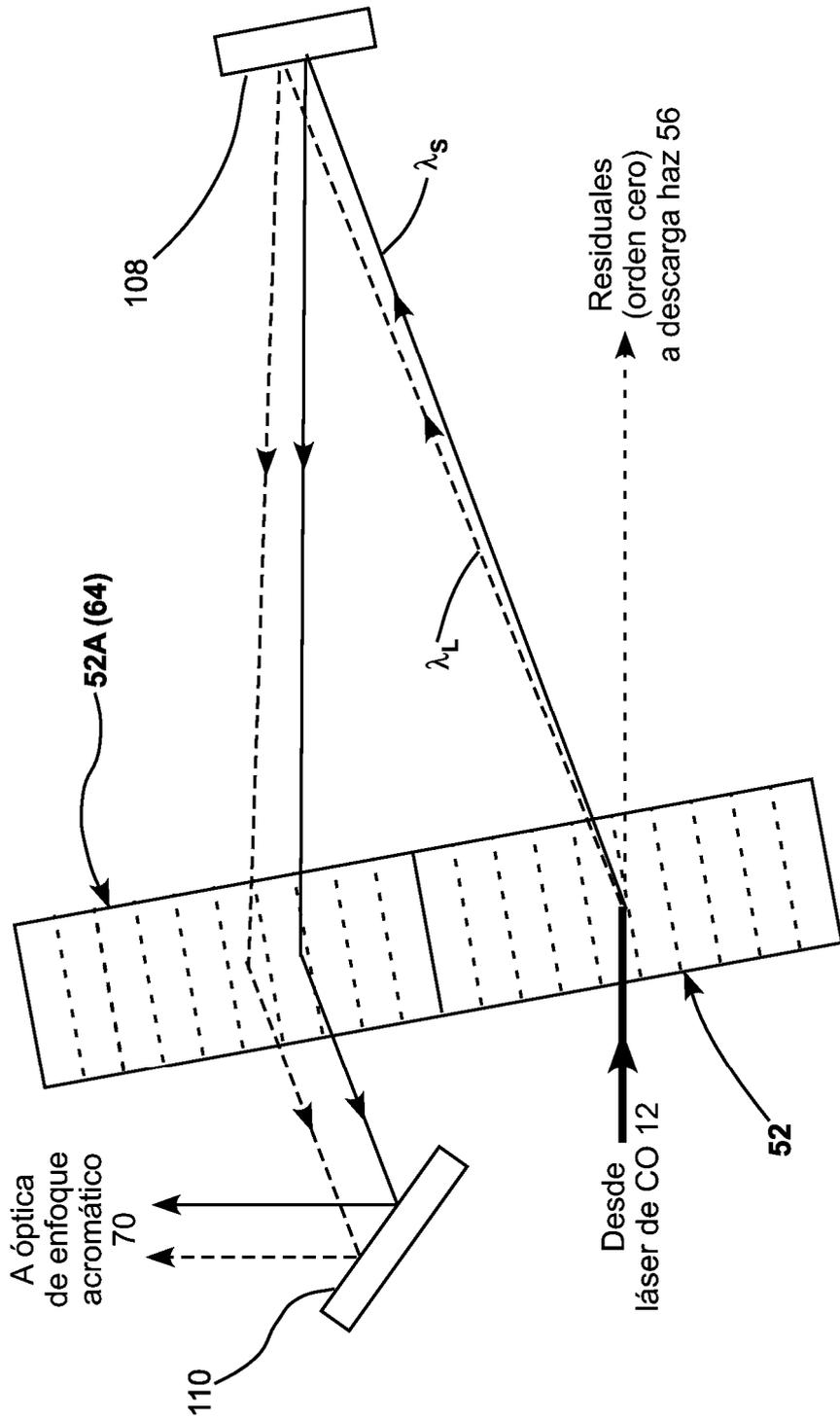


FIG. 5

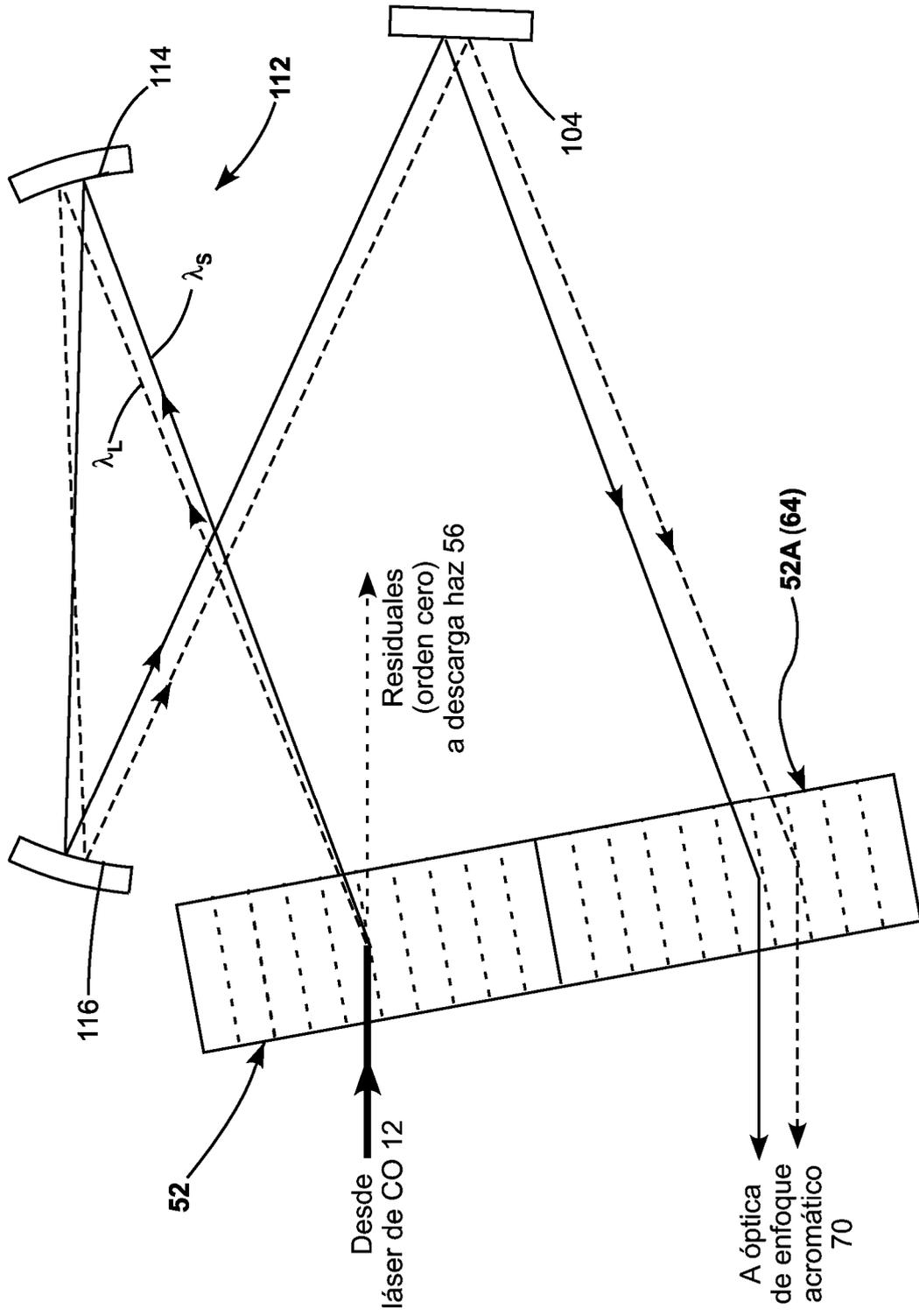


FIG. 6

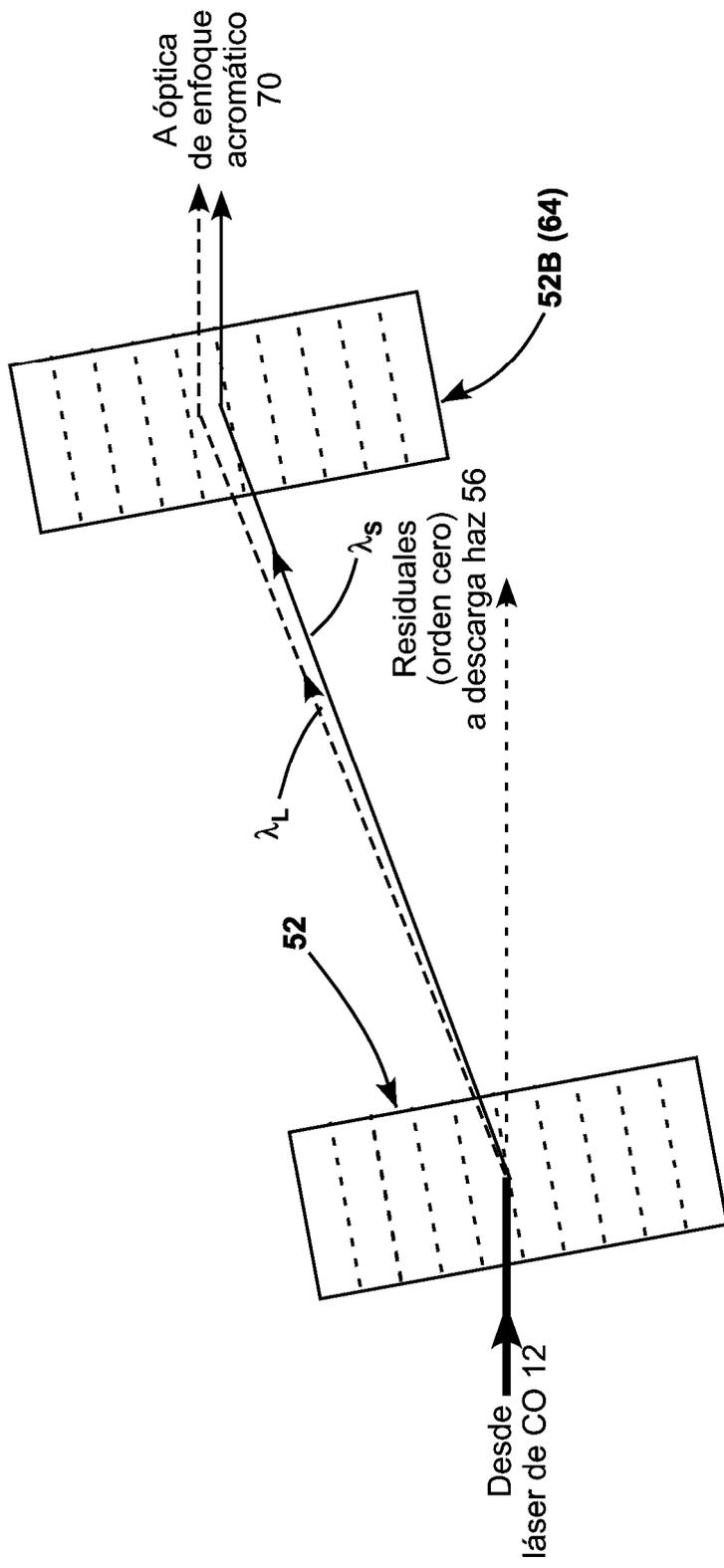


FIG. 7

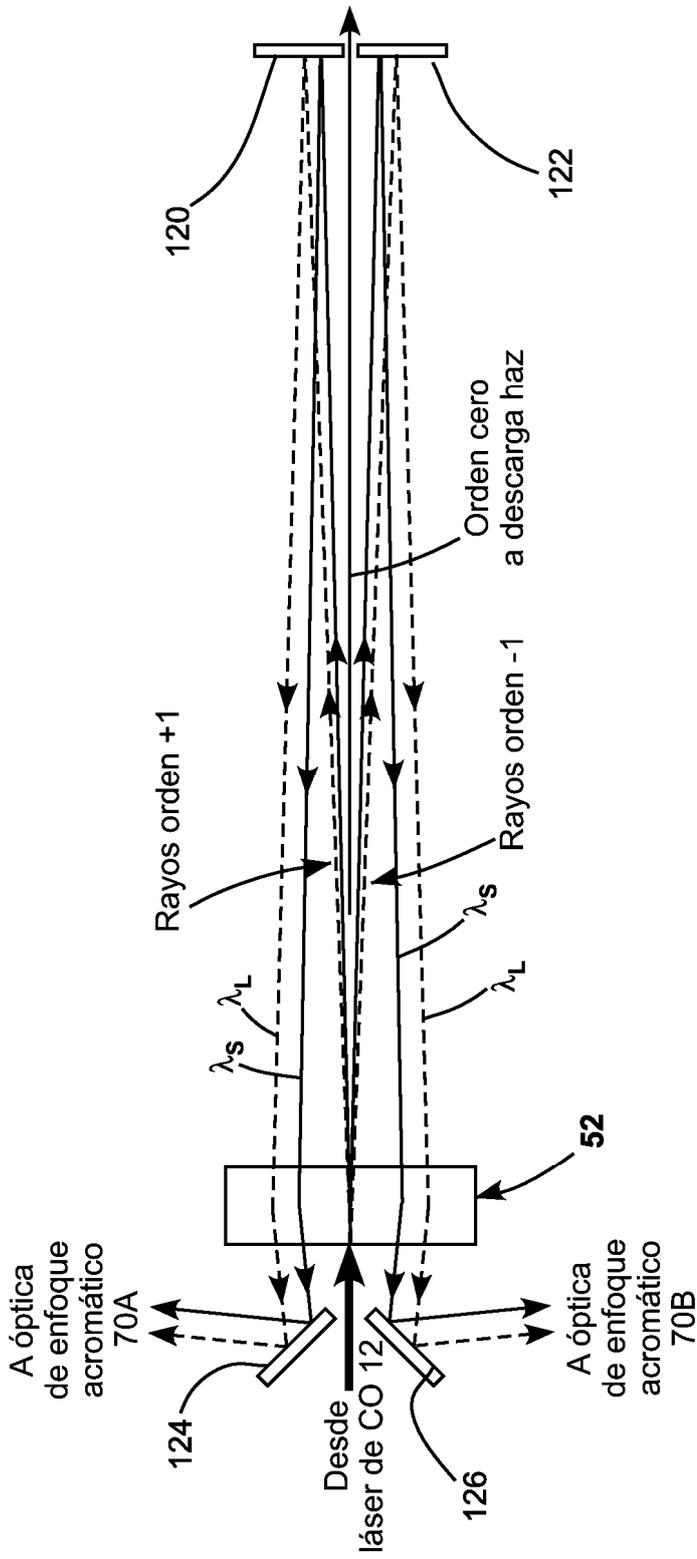


FIG. 8

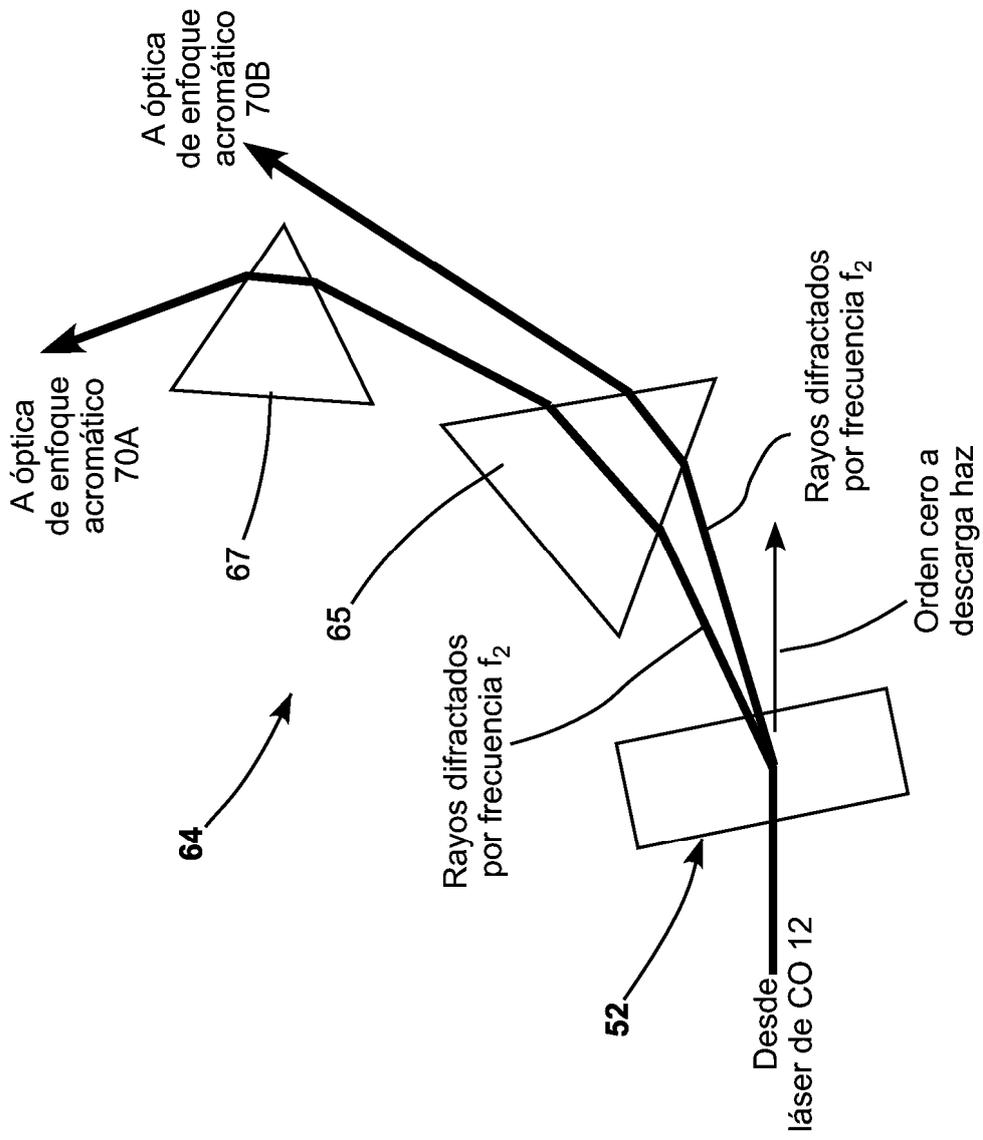


FIG. 9

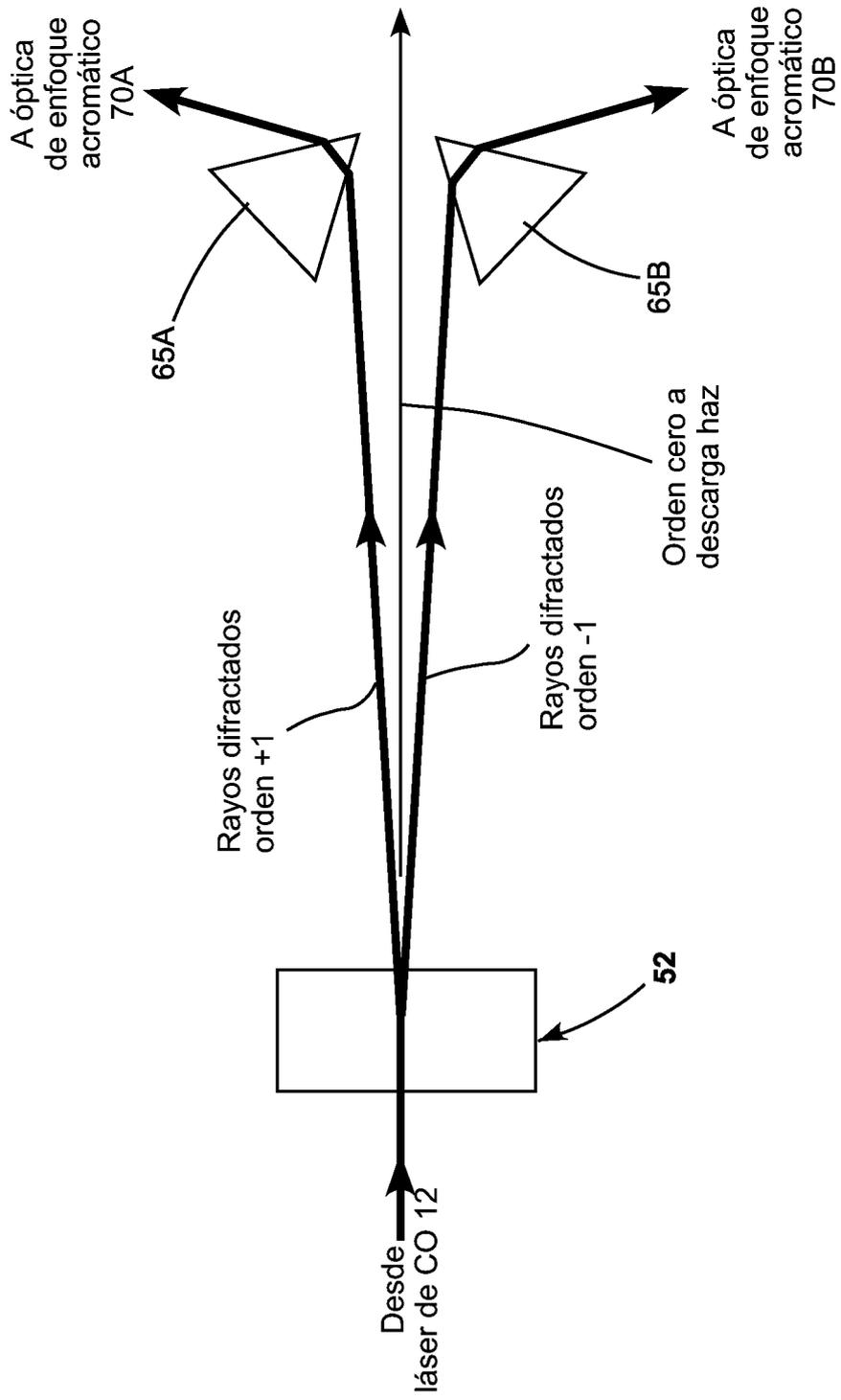


FIG. 10