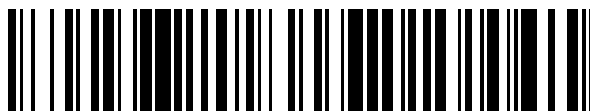


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 379**

51 Int. Cl.:

<b>B23K 26/34</b>	(2014.01) <b>B23K 103/00</b>	(2006.01)
<b>B23K 26/06</b>	(2014.01) <b>B23K 103/04</b>	(2006.01)
<b>B23K 26/08</b>	(2014.01) <b>B23K 103/08</b>	(2006.01)
<b>B22F 3/105</b>	(2006.01) <b>B23K 103/12</b>	(2006.01)
<b>B29C 67/00</b>	(2007.01) <b>B23K 103/14</b>	(2006.01)
<b>B33Y 10/00</b>	(2015.01)	
<b>B33Y 30/00</b>	(2015.01)	
<b>B23K 26/32</b>	(2014.01)	
<b>B23K 26/342</b>	(2014.01)	
<b>B23K 26/082</b>	(2014.01)	

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.04.2014 PCT/US2014/035928**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014 WO14179345**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2014 E 14791734 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2991799**

54 Título: **Sistema y método de impresión tridimensional utilizando una fuente de luz láser visible**

30 Prioridad:

**29.04.2013 US 201361817311 P**

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

**04.05.2018**

73 Titular/es:

**ZEDIKER, MARK S. (100.0%)  
1896 Via De Los Pinons  
Castle Rock, CO 80104, US**

72 Inventor/es:

**ZEDIKER, MARK S.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 666 379 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**

Sistema y método de impresión tridimensional utilizando una fuente de luz láser visible

Referencia cruzada

5 La presente invención se refiere a un sistema de impresión y a un método que forma un objeto tridimensional acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 22 respectivamente (véase, por ejemplo, US 6,085,122).

Antecedentes

10 La impresión tridimensional (3D) es un proceso de fabricación que produce un objeto sólido tridimensional a partir de un modelo digital. La impresión en 3D típicamente se logró utilizando un proceso aditivo, en el que se dispone en capas sucesivas de material en diferentes formas. La impresión en 3D es distinta de las técnicas de mecanizado adicional, las cuales pueden basarse en la retirada de material por métodos tales como el corte o la perforación (procesos sustractivos).

15 Varios procesos aditivos están disponibles actualmente. Se diferencian en la forma en que se depositan las capas para crear las piezas y los materiales que se pueden utilizar. Algunos métodos funden o ablandan el material para producir las capas, por ejemplo, soldadura selectiva por láser (SLM) o sinterización directa por láser de metal (DMLS), sinterización selectiva por láser (SLS), modelado por deposición fundida (FDM), mientras que otros materiales líquidos curan utilizando diferentes tecnologías sofisticadas, por ejemplo, la estereolitografía (SLA). Con la fabricación de objetos laminados (LOM), se cortan capas delgadas para conformarse y unirse entre sí (por ejemplo, papel, polímero, metal).

20 Si bien dichos enfoques proporcionan la formación de objetos en 3D, hay limitaciones asociadas con dichos enfoques. Dichos enfoques, típicamente, utilizan luz láser con longitudes de onda en la porción infrarroja (IR) del espectro electromagnético, por ejemplo, longitudes de onda mayores de 1 micrómetro. Esto puede hacer difícil la formación de objetos a una resolución submicrónica. Además, los sistemas de impresión en 3D típicos son lentos y son incapaces de generar objetos con una baja rugosidad superficial, lo cual hace que dichos objetos impresos en 3D no sean adecuados para numerosos usos finales.

25 El documento US 6,085,122 aborda la deficiencia de resolución pobre en impresión en 3D proporcionando un sistema complejo de ópticas, escáneres y bucles de retroalimentación y enseña en particular que se necesitan ópticas más complejas y sistemas de suministro de haz para abordar el problema de la resolución pobre y por lo tanto se enfoca en ópticas, escáneres y bucles de retroalimentación complejos.

Resumen

30 Reconocida en el presente documento existe la necesidad de mejorar los sistemas y métodos de impresión tridimensionales (en el presente documento también "3D" y "3-D"). En particular, hay una necesidad de abordar la velocidad de fabricación lenta, la resolución baja de las características y la alta rugosidad superficial de la pieza, como podría ser el caso con el uso de láseres infrarrojos (IR) para fabricar componentes capa por capa. La presente invención aborda estas y otras necesidades, proporcionando la fabricación, dispositivos y procesos enseñados en el  
35 presente documento.

40 La presente divulgación proporciona métodos, dispositivos y sistemas para la fabricación de piezas o componentes fundiendo una capa de material con un sistema de láser visible para lograr una velocidad de construcción volumétrica alta con una alta resolución. Dispositivos y sistemas de la presente divulgación emplean el uso de láseres visibles para aplicaciones de impresión tridimensionales. Dispositivos y sistemas previstos en el presente documento pueden lograr de forma simultánea o sustancialmente simultánea la resolución y las velocidades de construcción requeridas para utilizar una impresora 3D basada en láser en la producción.

La presente divulgación proporciona un sistema de impresión tridimensional que utiliza una fuente de láser visible para producir un tamaño de punto sustancialmente pequeño para una óptica de enfoque final dada.

45 Un sistema de sinterización láser en 3D o un sistema de impresión láser en 3D usan un par de escáneres, los cuales pueden ser un dispositivo de paso mecánico, un galvanómetro o un mecanismo similar para escanear el ángulo de incidencia del objetivo de enfoque final para producir una transformación del haz de láser en el plano focal de la lente de objetivo. La lente de objetivo puede ser un diseño de lente f-teta o una lente similar de elementos múltiples que puede producir un tamaño de punto de láser consistente en el plano de impresión. El tamaño de punto en el plano de impresión puede determinarse mediante el diámetro del haz de láser colimado, la longitud focal de la lente de objetivo  
50 y la longitud de onda de la fuente de láser. Por tanto, la longitud de onda de la fuente de láser es un parámetro importante en el sistema debido a que define en última instancia el tamaño de punto mínimo y el volumen que se puede escanear.

El plano de impresión puede ser un lecho de metal en polvo, un fotopolímero que puede ser curado o un polímero que puede hacerse fluir o ser curado con la aplicación de calor. Una capa de polvo se puede colocar previamente con un

sistema de tipo rodillo o cuchilla, o a través de una deposición directa utilizando una boquilla de suministro de polvo, que es coaxial con el haz de láser pero suministrado alrededor de la periferia del haz.

Hay al menos dos métodos para generar fuentes de láser de alta potencia y alto brillo que funcionan en el régimen visible: 1) duplicación de la frecuencia de una fuente de láser infrarrojo en un cristal no lineal tal como fosfato de titanilo de potasio (KTP) o niobato de litio polarizado periódicamente (LiNbO<sub>3</sub>), o 2) operación de conversión a mayor frecuencia de un láser de fibra, donde múltiples fotones infrarrojos son absorbidos mediante unión de tierras raras, tal como erbio (Er) o tulio (Tm), resultando en un estado de alta energía que es poblado y llevado a oscilación a una longitud de onda visible, tal como verde para el erbio y azul para el tulio. La duplicación de frecuencia de un láser infrarrojo puede ser difícil de escalar a niveles de alta potencia debido al bajo umbral del daño de los cristales de KTP o de niobato de litio utilizados en el proceso de duplicación. Por consiguiente, los láseres basados en técnicas de duplicación pueden estar limitados a menos de 200 vatios con una salida de modo único. La segunda técnica, la conversión a mayor frecuencia en un láser de fibra también puede estar limitada en la potencia de salida debido a la tendencia de las fibras a sufrir una formación central de color debido a los fotones de alta energía presentes en la fibra dopada. Adicionalmente, hay estados de disposición más altos en estas capas de conversión a mayor frecuencia que pueden estar pobladas y pueden producir fotones UV, lo cual puede llevar a la formación de centros de color incluso más rápida, que son centros de absorción de banda ancha formados en la fibra mediante al energía alta de los fotones resultantes en las pérdidas en la fibra que excede la ganancia de potencia producida por el proceso de conversión a mayor frecuencia y prohibiendo el funcionamiento del láser.

La presente divulgación proporciona dispositivos, sistemas y métodos para generar una radiación de láser visible de alta potencia y de alto brillo. Dichos dispositivos y sistemas pueden incluir módulos múltiples, cada uno configurado para realizar una función dada. En algunos modos de realización, un dispositivo para generar una radiación de láser visible comprende un conjunto de diodos de láser visible, un sistema de formación de haz dado y un convertidor de haz que utiliza dispersión de Raman estimulada (SRS) para combinar las salidas de los diodos de láser individuales en una salida de modo único. Las salidas de los diodos de láser visible pueden concentrarse en una fibra de un diámetro suficientemente pequeño para generar una ganancia a partir del proceso SRS para permitir el funcionamiento del láser en la longitud de onda cambiada de primer orden Raman.

Además, se proporciona un sistema de diodo de láser visible que comprende un diseño de placa modular con cada diodo de láser montado en una caja TO56, una óptica de colimación, una óptica de circulación del haz para hacer la divergencia de la fuente colimada simétrica, un sistema óptico de conformación del haz que comprime un conjunto de sub-haces para eliminar el espacio muerto entre cada una de las fuentes de láser individuales, y un módulo para entrelazar cada uno de los haces desde la placa modular. Si el diodo de láser es colimar o en un eje, entonces se puede utilizar una lente cilíndrica para colimar los otros ejes para hacer que la divergencia de ambos ejes o bien sea igual o distinta, dependiendo del punto que necesita ser creado con la óptica de enfoque final.

Los haces de láser de cada placa de diodos de láser pueden estar entrelazados verticalmente para llenar el espacio vacío debido a las propiedades mecánicas del sistema antes de lanzarlo a la óptica de enfoque de haz final. Tal y como se utiliza en el presente documento, a menos que se especifique lo contrario, el entrelazado se refiere a colocar un haz desde diferentes fuentes adyacentes entre sí y alternar la fuente desde la cual emergen los haces cuando las dos fuentes están alineadas o bien verticalmente u horizontalmente, de manera que se elimina el espacio muerto entre los haces antes de lanzarlos a una óptica (en algunos casos final) aguas abajo del sistema. En algunas situaciones, la óptica de enfoque del haz puede ser una lente de la mejor forma, una lente de elementos múltiples corregida para aberraciones esféricas, una lente acromática para compensar cualquier aberración cromática, o una asfera con un número f (o relación focal) bajo para permitir una gran apertura de recolección para enfocar en una fibra óptica. Tal y como se utiliza en el presente documento, a menos que se especifique lo contrario, una asfera es una lente con un perfil no esférico definido por un polinomio de Zernike para ecualizar la longitud de trayecto de todos los rayos que pasan a través de la apertura de la lente independientemente de la posición en la apertura.

Adicionalmente, se proporciona una fibra óptica con triple revestimiento para recolectar luz bombeada óptica desde el conjunto de diodos de láser, un revestimiento de pérdida baja (por ejemplo, menos de 50 decibelios/kilómetro (dB/Km), 40 dB/Km, 30 dB/Km, 20 dB/Km, o 10 dB/Km) para propagar la radiación de bombeo incoherente desde los diodos de láser visible y un núcleo de modo único de pérdida baja (por ejemplo, menos de 50 dB/Km, 40 dB/Km, 30 dB/Km, 20 dB/Km, o 10 dB/Km). La radiación de diodo de láser visible puede confinarse en el revestimiento exterior pero atraviesa de forma aleatoria el núcleo central para crear una ganancia en el núcleo a través del proceso SRS. En una intensidad suficiente para los diodos de láser visible, la ganancia puede exceder las pérdidas en la fibra, y cuando se combinan con la retroalimentación de cualquier espejo externo, rejillas embebidas o rejillas externas, se puede hacer oscilar en un modo transversal único con un funcionamiento en modo multi axial o mono axial. Esta técnica puede que no se haya realizado en el pasado debido a la alta pérdida (por ejemplo, mayor que o igual a aproximadamente 50 dB/Km) típica de la mayoría de las fibras ópticas en el espectro visible. Las fibras ópticas de la presente divulgación pueden minimizar de forma ventajosa la dispersión de Rayleigh en la fibra para permitir que una ganancia de SRS exceda las pérdidas en la fibra óptica.

Adicionalmente, la presente divulgación proporciona un método para realizar una operación de láser de alta potencia en un material de destino para fundir el material, para curar los materiales o para la ablación del material, que se puede utilizar para formar un objeto en 3D de múltiples capas. El material puede ser cualquiera de diversos materiales, tales

como un material metálico, un material aislante, un material semiconductor, un material polimérico, un material compuesto, o una combinación de los mismos. Materiales de ejemplo incluyen, sin limitación, acero, titanio, cobre, bronce, oro, y aleaciones de estos materiales.

5 Las características de absorción de los materiales pueden aumentar con una longitud de onda decreciente. Como consecuencia, puede haber un aumento significativo en la velocidad de procesamiento cuando se utiliza una longitud de onda de láser azul en comparación con un láser infrarrojo (véase la tabla 1 más abajo).

Tabla 1										
	Absorción									
Sistema láser	Aluminio (Al)	Acero (St)	Cobre (Cu)	Oro (Au)	Ni	Aluminio (Al)	Acero (St)	Cobre (Cu)	Oro (Au)	Ni
Láser azul	32%	67%	58%	60%	65%	200%	129%	967%	3000%	144%
Láser verde	16%	52%	6%	2%	45%					

10 Un sistema de impresión para formar un objeto tridimensional de acuerdo con la presente invención es definido en la reivindicación 1, el sistema que comprende una fuente de luz láser que genera un haz coherente de luz visible mediante una dispersión de Raman estimulada, un sustrato en comunicación óptica con la fuente de luz láser, y un módulo de escaneado aguas abajo de la fuente de luz láser. El módulo de escaneado puede estar adaptado para generar un movimiento de escaneado del haz coherente de luz visible con respecto al sustrato, cuyo movimiento de escaneado corresponde a una forma predeterminada del objeto tridimensional. El sistema de impresión puede además comprender un sistema de control informático acoplado de forma operativa a la fuente de luz láser y al módulo de escaneado. El sistema de control informático puede ser programado para (i) controlar el movimiento de escaneado de una manera predeterminada y (ii) modular una potencia de la fuente de luz láser, para formar el objeto a partir del sustrato.

15 Un método de formación de un objeto tridimensional de acuerdo con la presente invención es definido en la reivindicación 22, el método que comprende proporcionar una fuente de luz láser y un módulo de escaneado ópticamente aguas abajo de la fuente de luz láser, y utilizar una fuente de luz láser, que genera un haz coherente de luz visible mediante dispersión de Raman estimulada. Después, el haz coherente de luz visible es dirigido a un sustrato que está en comunicación óptica con la fuente de luz láser. Una característica es entonces generada en o desde el sustrato. La característica puede corresponderse con al menos una porción de una forma predeterminada del objeto tridimensional. Después, el módulo de escaneado es utilizado para generar un movimiento de escaneado del haz coherente de luz visible con respecto al sustrato. El movimiento de escaneado puede corresponderse a una forma predeterminada del objeto tridimensional. El sustrato es entonces movido con respecto a la fuente de luz láser a lo largo de una dirección que es generalmente paralela al haz coherente de luz visible.

20 Aspectos y ventajas adicionales de la presente divulgación serán fácilmente evidentes para los expertos en esta técnica a partir de la siguiente descripción detallada, en la que se muestran y se describen solo modos de realización ilustrativos de la presente divulgación. Tal y como se realizará, la presente divulgación es capaz de modo de realización distintos diferentes, y sus diversos detalles son capaces de modificaciones en varios aspectos obvios, todo sin alejarse de la divulgación. Por consiguiente, los dibujos y la descripción deben considerarse ilustrativos en su naturaleza, y no restrictivos.

Breve descripción de los dibujos

35 Las características nuevas de la invención se establecen con particularidad en las reivindicaciones anexas. Una mejor comprensión de las características y ventajas de la presente invención se obtendrán con referencia a la siguiente descripción detallada que establece modos de realización ilustrativos, en los cuales se utilizan los principios de la invención, y los dibujos que acompañan (también "figura" y "figura" en el presente documento), de los cuales:

40 La figura 1 es una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de impresión tridimensional (también en el presente documento "3-D" y "3D") basado en escáneres y una lente f-teta que utiliza una fuente de láser visible;

La figura 2 es una vista esquemática de un modo de realización del sistema de impresión en 3-D que utiliza etapas de traslación lineales con una fuente de láser visible;

La figura 3 es una vista esquemática de un modo de realización de una fuente de láser visible;

La figura 4 es una vista de un modo de realización de una placa de láser modular que utiliza fuentes de diodo de láser múltiples empaquetadas en un paquete TO56;

La figura 5 es una vista de un modo de realización de placas de láser modulares múltiples apiladas para formar un conjunto bidimensional de fuentes de láser;

- 5 Las figuras 6A-6B ilustran de forma esquemática la evolución de una potencia de bombeo en una salida de modo único; y

La figura 7 ilustra de forma esquemática un sistema informático que está programado o de otro modo configurado para implementar métodos de la presente divulgación.

#### Descripción detallada

- 10 Aunque diversos modos de realización de la invención han sido mostrados y descritos en el presente documento, será obvio para el experto en la materia que dichos modos de realización están provistos a modo de ejemplo únicamente. Numerosas variaciones, cambios y sustituciones pueden ocurrirse a los expertos en la materia sin alejarse de la invención. Debería entenderse que se pueden emplear diversas alternativas a los modos de realización de la invención descritos en el presente documento.

- 15 El término “luz visible”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a una radiación electromagnética (luz) con una longitud de onda de entre aproximadamente 380 nanómetros (nm) y 760 nm (400-790 terahercios). La luz visible es visible por el ojo humano. La luz de láser visible, de acuerdo con la presente invención tiene una longitud de onda de entre 380 nm y 760 nm.

- 20 El término “energía de láser de alta potencia” tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere en general a un haz de láser que tiene al menos aproximadamente 200 vatios (W) de potencia.

El término “pérdida de potencia sustancial”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a una pérdida de potencia que es mayor que aproximadamente 10 dB/km (decibelio/kilómetro) para una longitud de onda visible.

- 25 El término “longitud de onda visible”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a un haz láser con una longitud de onda mayor de 400 nm pero menor de 750 nm.

El término “brillo alto”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a un funcionamiento de láser de modo único con un rendimiento limitado por difracción o casi limitado por difracción.

- 30 El término “sub-haz”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a un haz de radiación electromagnética desde una fuente de diodo de láser única que puede ser colimado en un eje o en dos ejes ortogonales.

El término “entrelazado”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a colocar un haz de diferentes fuentes adyacentes entre si y alternar la fuente desde la que emergen los haces cuando las dos fuentes están alineadas o bien verticalmente u horizontalmente, de manera que eliminan el espacio muerto entre los haces antes del lanzamiento en una óptica (en algunos casos final) aguas abajo del sistema.

- 35 El término “número f” (también referido como relación, relación f, parada f y apertura relativa), tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a la relación de la longitud focal con el diámetro de la pupila de entrada de la lente de un sistema óptico.

- 40 El término “asfera”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a una lente con un perfil no esférico definido por un polinomio de Zernike para ecualizar la longitud del trayecto de todos los rayos que pasan a través de la apertura de la lente independientemente de la posición en la apertura. Los polinomios de Zernike son una secuencia de polinomio que son ortogonales es en el disco unitario.

- 45 El término “volumen de construcción”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, al volumen de un objeto bajo fabricación, tal como un objeto impreso en 3D, el cual, por ejemplo, puede ser escaneado mediante un haz láser con un límite “x” lateral, y un límite “y” transversal y un límite “z” vertical. El límite vertical puede ser definido mediante un elevador que desplaza gradualmente el objeto imprimido en la dirección “z” después de que se haya procesado cada capa.

- 50 El término “modo único”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a un rendimiento casi ilimitado por difracción de un sistema láser con un valor  $M^2$  bajo, donde  $M^2$  define la cáustica del haz y cuánto de próximo el haz láser entra en un rendimiento limitado por difracción. Tal y como se utiliza en el presente documento, a menos que se especifique lo contrario,  $M^2$  se define como el número de veces que la difracción limita el haz y puede ser igual o mayor que 1, o mayor que o igual a aproximadamente 1,1, pero aún en modo transversal único, o mayor que o igual a aproximadamente 1,3, pero aún en modo transversal único.

El término “dispersión de Raman estimulada”, tal y como se utiliza en el presente documento, se refiere, en general, a un proceso en el cual los fotones se dispersan de moléculas de una fibra o bien a un estado de energía más baja (cambio Stokes) o a un estado de energía más alta (cambio Anti-Stokes) para crear una ganancia en el medio óptico. En el haz láser de fotones, algunos fotones de Stokes pueden haber sido generados previamente mediante dispersión de Raman espontánea (y pueden permanecer en el material), o algunos fotones de Stokes (“Luz de señal”) han sido inyectados de forma deliberada junto con la luz original (“luz de bombeo”). En general, cuando los fotones son dispersados desde un átomo o molécula, la mayoría de los fotones son dispersados elásticamente (dispersión de Rayleigh), de manera que los fotones dispersados tienen la misma energía (frecuencia y longitud de onda) que los fotones incidentes. Una pequeña fracción de los fotones dispersados (por ejemplo, aproximadamente 1 en 10 millones) son dispersados por una excitación, con los fotones dispersados que tienen una frecuencia diferente de, y usualmente inferior que, la de los fotones incidentes. En un gas, la dispersión de Raman puede suceder con un cambio en la energía de una molécula debido a una transición de un estado de energía a otro. El proceso de dispersión de Raman puede tener lugar de forma espontánea; es decir, en intervalos de tiempo aleatorios, uno de los muchos fotones entrantes es dispersado por el material. Este proceso se puede referir como una “dispersión de Raman espontánea”. En una dispersión de Raman estimulada (también en el presente documento “SRS”), la velocidad de dispersión de Raman se puede incrementar más allá de la dispersión de Raman espontánea: Los fotones de bombeo pueden ser convertidos más rápidamente en fotones de Stokes adicionales. Cuantos más fotones de Stokes están ya presentes, más rápido se añaden muchos de ellos. Esto puede amplificar de forma efectiva la luz de Stokes en la presencia de una luz de bombeo, que se puede utilizar en los amplificadores de Raman y en los Láseres de Raman.

## 20 Dispositivos, sistemas y métodos de impresión tridimensionales

La presente divulgación proporciona dispositivos, sistemas y métodos para aplicar una energía dirigida a una capa de material para fundir o ablacionar el material en la creación de un objeto (o pieza) directamente desde un diseño informático. Esto es utilizado para generar o imprimir un objeto tridimensional, tal como de una forma capa por capa. Métodos proporcionados en el presente documento pueden lograr la consolidación del material en polvo en una pieza de trabajo o la fusión de un aglutinante en una parte que tiene que ser procesada posteriormente para completar la consolidación de la pieza.

Dispositivos, sistemas y métodos de la presente divulgación se pueden utilizar para formar diversos objetos o piezas, tal como objetos para usos industriales o de consumo. Dichos objetos pueden ser diseñados digitalmente en un sistema informático, y fabricados utilizando dispositivos y sistemas provistos en el presente documento. En algunos ejemplos, dispositivos, sistemas y métodos de la presente divulgación se pueden utilizar para formar piezas de consumo (por ejemplo, juguetes), componentes electrónicos, dispositivos médicos, o componentes de equipo industrial o militar. Dispositivos, sistemas y métodos de la presente divulgación pueden tener diversas aplicaciones, tales como aplicaciones de consumo, de educación, industriales, médicas y militares. En una configuración industrial, los dispositivos, sistemas y métodos proporcionados en el presente documento se pueden utilizar para un procesamiento del material.

Dispositivos, sistemas y métodos de la presente divulgación pueden emplear el uso de láseres visibles para generar objetos con una alta precisión y en una escala de tiempo que es mucho más inferior que otros sistemas disponibles actualmente. En algunos casos, esto se basa en la realización no esperada de que se puede utilizar la dispersión de Raman estimulada (SRS) para generar un haz altamente coherente de luz de láser visible en una salida de modo único. Dichos láseres pueden ser accionados como un proyector láser de alta resolución o un láser supercontinuo.

La figura 1 es un esquema de un sistema de impresión láser en 3-D basado en un sistema láser visible de alta potencia. El sistema incluye una fuente (1001) de láser visible de modo único. La fuente (1001) de láser visible puede incluir uno o más diodos de láser visible. La salida (1002) del láser (1001) visible se puede dirigir a un par de escáneres (1003) que escanean el haz en direcciones octogonales. Los escáneres (1003) pueden ser un par de galvanómetros que escanean el haz láser a través del plano focal en o bien un patrón de trama X-Y o un patrón de escaneado vectorial. Los escáneres (1003) pueden crear una desviación angular de la ortogonal, lo cual puede producir un desplazamiento del punto láser en el plano focal. La emisión (1004) láser reflejada por los escáneres (1003) puede ser dirigida a una lente (1005) de objetivo, la cual genera un haz (1006) enfocado que puede ser dirigido a un sustrato (1007), tal como un polvo. En algunos ejemplos, el sustrato (1007) es un polvo en un lecho de polvo. Éste puede derretir o fundir el sustrato (1007) en el punto focal del haz láser.

Los escáneres (1003) se pueden utilizar para barrer la emisión (1004) láser sobre el polvo (1007) de una manera que define la forma bidimensional y tridimensional del objeto tridimensional en fabricación. Esto se puede realizar en una forma de capa por capa. En una capa dada, la forma bidimensional del objeto en esa capa es definida utilizando la emisión (1004) láser. La forma bidimensional del objeto de cada capa sucesiva se puede definir utilizando la emisión (1004) láser para generar la forma 3-D total del objeto.

Varios parámetros de la emisión (1004) láser se pueden seleccionar para proporcionar una forma deseada del objeto. Dichos parámetros incluyen, sin limitación, el tiempo de exposición y la potencia del láser. Por ejemplo, el tiempo que el sustrato (1007) está expuesto a la emisión (1004) láser se puede seleccionar basándose en una velocidad de derretido o fusión del material del sustrato (1007).

El sustrato (1007) puede estar soportado por o sobre un soporte de sustrato. El soporte de sustrato puede incluir un translador (1008) vertical ("translador en el eje Z", tal y como se muestra en la figura 1) para mover el objeto verticalmente (es decir, paralelo a la dirección General de propagación de la luz láser) durante la fabricación capa por capa o el crecimiento del objeto. El translador vertical puede ser un motor, tal como un motor paso a paso. El translador vertical (o elevador) puede escalar el sustrato en incrementos de al menos aproximadamente 5 nanómetros (nm) 10nm, 20nm, 30nm, 40nm, 50nm, 100nm, 200nm, 300nm, 400nm, 500nm, 1 micrómetro (µm), 2µm, 3µm, 4µm, 5µm, 10µm, 20µm, 30µm, 40µm o 50µm durante la fabricación del objeto.

Como una alternativa, o adicionalmente, un conjunto (por ejemplo, una caja TO56) que comprende un láser (1001) visible, escáneres (1003) y una lente (1005) de objetivo se puede mover verticalmente con respecto al sustrato (1007). El conjunto puede incluir un translador vertical que puede escalar el conjunto en incrementos de al menos aproximadamente 5 nanómetros (nm) 10nm, 20nm, 30nm, 40nm, 50nm, 100nm, 200nm, 300nm, 400nm, 500nm, 1 micrómetro (µm), 2µm, 3µm, 4µm, 5µm, 10µm, 20µm, 30µm, 40µm o 50µm durante la fabricación del objeto.

El diámetro del punto láser formado en la figura 1 se puede determinar mediante la longitud focal de la lente (1005) de objetivo, el tamaño de haz en la lente (1005) de objetivo y la longitud de onda del haz láser. El volumen de construcción puede estar limitado por el diámetro de la lente de objetivo y el tamaño del haz en el objetivo incluyendo los desplazamientos debido a los escáneres. El tamaño de punto en el sistema basado en IR es de aproximadamente 70 micrómetros (µm) con un volumen de construcción de 9,6"x9,6"x11" (Tabla 2) debido al tamaño finito del haz en la lente de objetivo. Un sistema de láser azul con una longitud de onda de 459nm puede crear de forma ventajosa un tamaño de punto que es menos de o igual a aproximadamente 35µm, en algunos casos con el mismo sistema óptico que el sistema de IR. Dado que el sistema óptico puede ser el mismo, el volumen de construcción permanece inalterable pero la resolución y la calidad superficial se mejora mejor que un factor de 1, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 2,3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10. Si la lente del toque final de la impresora 3-D basada en un sistema de láser azul es cambiada para producir un punto de 70µm, entonces se logra la misma resolución que el sistema IR, pero ahora el volumen de construcción puede aumentarse un factor de 150x.

TABLA 2		
Rendimiento	Láser IR actual	Sistema de láser azul
Potencia	2000W	1000W
Velocidad de impresión	20cc/h	50cc/h
Resolución	70µm	70µm
Volumen de construcción	9,8"x9.8"x11"	53"x53"x55"
Acabado superficial	~2Ra	~2Ra

De forma alternativa mirando a la figura 2, una impresora 3-D en este modo de realización se basa en un par de etapas de traslación lineal en lugar de escáneres para imprimir el patrón. Las etapas de traslación lineal cambian la geometría fundamental que gobierna el tamaño de punto y la velocidad de escritura y abre la posibilidad de utilizar una lente de una longitud focal lo suficientemente corta de manera que el tamaño de punto sea de menos de 1000 nanómetros (nm), 900nm, 800nm, 700nm, 600nm o 500nm. Este tamaño de punto submicrónico puede ser adecuado para la fabricación directa de dispositivos micro-electromecánicos (MEMS). Los haces (2002, 2004 y 2006) láser se pueden trasladar a través de la superficie de un sustrato (por ejemplo, polvo) utilizando una etapa (2007) de traslación para escribir directamente un patrón o bien un sustrato o con la inyección directa al sustrato en el haz con una boquilla coaxial. La resolución de la pieza puede ser el resultado de un haz de diámetro pequeño y el tamaño del sustrato, tal como el polvo de escala nanométrica (por ejemplo, 50nm) utilizado para escribir directamente la pieza.

La etapa (2007) de traslación puede permitir al sustrato ser trasladado en un plano X-Y (ortogonal a la dirección General de propagación de la luz láser) y/o a lo largo de un eje Z, el cual puede ser paralelo a la dirección General de propagación de la luz láser. La etapa (2007) de traslación puede incluir dos subetapas lineales. La etapa (2007) de traslación puede ser parte de un soporte de sustrato, el cual puede estar configurado para soportar el sustrato durante la fabricación del objeto. Una etapa de traslación puede incluir un motor, tal como un motor de paso a paso. La etapa (2007) de traslación puede incluir un translador (2008) vertical que puede trasladar la etapa a lo largo del eje Z durante la fabricación. El translador (o elevador) vertical puede escalar el sustrato en incrementos de al menos aproximadamente 5 nanómetros (nm) 10nm, 20nm, 30nm, 40nm, 50nm, 100nm, 200nm, 300nm, 400nm, 500nm, 1 micrómetro (µm), 2µm, 3µm, 4µm, 5µm, 10µm, 20µm, 30µm, 40µm o 50µm durante la fabricación.

Como una alternativa, o en adición a, un conjunto que comprende un láser (2001) visible, un sistema (2003) de alineación x-y y una lente (2005) de objetivo se puede mover verticalmente con respecto al sustrato, que puede ser

situado en la etapa (2007). El conjunto puede cubrir un translador vertical que puede escalonar el conjunto en incrementos de al menos aproximadamente 5 nanómetros (nm) 10nm, 20nm, 30nm, 40nm, 50nm, 100nm, 200nm, 300nm, 400nm, 500nm, 1 micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), 2 $\mu\text{m}$ , 3 $\mu\text{m}$ , 4 $\mu\text{m}$ , 5 $\mu\text{m}$ , 10 $\mu\text{m}$ , 20 $\mu\text{m}$ , 30 $\mu\text{m}$ , 40 $\mu\text{m}$  o 50 $\mu\text{m}$  durante la fabricación del objeto.

5 En algunos modos de realización, el láser (2001) y la lente (2002-2005) de objetivos son trasladados como un subsistema a través del sustrato a medida que la potencia en el haz es modulada, por lo tanto definiendo la pieza capa por capa. El láser (20001) puede ser un láser visible de modo único. El láser (2001) puede incluir uno o más diodos de láser visible. Por ejemplo, la potencia en el haz es modulada encendiendo o apagando el láser, o incrementando o disminuyendo la potencia del láser de una manera que es predeterminada basada en la forma de la pieza (u objeto)  
10 que está siendo fabricada. Como una alternativa, el láser puede ser estacionario, y un cabezal óptico es trasladado a través de la parte que toma ventaja de la naturaleza altamente colimada del haz láser. Dicha técnica del cabezal óptico volante pueden incluir componentes como los utilizados normalmente en cortadores de hecho de hoja plana de CO<sub>2</sub>. Véase, por ejemplo Todd, Robert H.; Allen, Dell K.; Alting, Leo (1994). Guía de referencia de procesos de fabricación. Industrial Press Inc. ISBN-0-8311-3049-0.

15 La velocidad de fabricación o manufacturación se puede mejorar en muchos sistemas hoy en día con un láser capaz de ser modulado a una velocidad mucho más alta que los láseres de fibra de hoy en día. Cuando se escribe un objeto (o pieza), la velocidad de escaneado y la potencia del láser pueden determinar lo rápido que se puede mover el haz para un material dado. Sin embargo, como el haz de láser se mueve a través de un sustrato (por ejemplo, polvo en un lecho de polvo) puede ser necesario apagar el láser cuando no se supone que ahí ninguna estructura presente en la  
20 pieza en el punto particular en la capa que está siendo impresa. Cuanto más rápido es escaneado el haz a través del sustrato y más pequeño es el tamaño característico, más rápido se tiene que apagar y entender el haz láser. El láser descrito en esta solicitud es capaz de ser modulado en velocidades de modulación sustancialmente altas. La velocidad de modulación sustancialmente alta puede mejorar las características superficiales (por ejemplo, rugosidad) de la pieza que está siendo fabricada así como permitir que se fabriquen componentes con una resolución espacial muy  
25 alta.

Los láseres infrarrojos (IR) utilizados hoy en día pueden limitarse a una velocidad de modulación de 50kHz (1kHz=1000 ciclos por segundo). Sin embargo, el láser de luz visible (por ejemplo el láser azul) basado en dispositivos y sistemas de la presente divulgación es capaz de ser modulado a velocidades mayores que o iguales a aproximadamente 50kHz,  
30 100kHz, 200kHz, 300kHz, 400kHz, 500kHz, 1GHz (1GHz=1000kHz), 2GHz, 3GHz, 4GHz, 5GHz, o 10GHz. Para lograr velocidades de producción con este tipo de sistema, se pueden procesar múltiples dispositivos en paralelo con el mismo sistema láser utilizando un interruptor de distribución de haz de alta velocidad o consiste más láser paralelo sincronizados con el sistema de movimiento. Un interruptor de ejemplo es un interruptor de haz de puertos múltiples, tal como por ejemplo, un interruptor de haz de puertos múltiples que comprende 2, 3, 4, 5 o 6 canales.

Dispositivos y sistemas basados en láser de luz visible de la presente divulgación se pueden utilizar para formar  
35 objetos (o piezas) que tienen superficies sustancialmente suaves. En algunos casos, la rugosidad superficial de un objeto (o pieza) formada utilizando dispositivos y sistemas de la presente divulgación puede estar entre aproximadamente 0,1nm y 50nm o 1nm y 20nm, o 1nm y 10nm, medidos por microscopio electrónico de transmisión (TEM).

Dispositivos y sistemas basados en láser de luz visible de la presente divulgación pueden ser utilizados para formar  
40 objetos (o piezas) que tienen relaciones de aspecto sustancialmente altas (por ejemplo, longitud dividida por anchura). En algunos casos, la relación de aspecto de una característica en un objeto (o pieza) formado utilizando dispositivos y sistemas de la presente divulgación puede ser de al menos aproximadamente 1,1:1, 1,2:1, 1,3:1, 1,4:1, 1,5:1, o 2:1, o 5:1, o 10:1, o 20:1, 50:1, 100:1 o más.

El dispositivo y los sistemas de la presente divulgación pueden emplear fuentes de láser visible escaladas a una alta  
45 potencia y a un alto brillo. Las fuentes de láser de alta potencia pueden tener una potencia mayor de aproximadamente 100 vatios, o mayor de aproximadamente 200 vatios, o mayor de aproximadamente 300 vatios, o mayor de aproximadamente 400 vatios, o mayor de aproximadamente 500 vatios, o mayor de aproximadamente 1000 vatios, o mayor de aproximadamente 2000 vatios. Fuentes de láser de la presente divulgación pueden funcionar en un modo único, que puede incluir un rendimiento limitado de difracción cercana para el sistema láser con un bajo valor de M<sup>2</sup>,  
50 donde M<sup>2</sup> define la cáustica del haz y cuánto de próximo el haz láser entra en un rendimiento limitado por difracción. Tal y como se utiliza en el presente documento, a menos que se especifique lo contrario, M<sup>2</sup> se define como el número de veces que la difracción limita el haz y puede ser igual o mayor que 1, o mayor que o igual a aproximadamente 1,1, pero aún en modo transversal único, o mayor que o igual a aproximadamente 1,3, pero aún en modo transversal único.

La figura 3 muestra una fuente (3000) de láser visible de modo único de alta potencia, de acuerdo con modos de  
55 realización de la invención. El láser (3000) incluye un conjunto de alta potencia, diodos (3001) de láser visible de alto brillo. La luz de láser visible de los diodos (3001) se puede colimar y formar en un haz mediante la combinación de haz y el conjunto (3002) óptico de formación para hacer coincidir la apertura numérica y los requerimientos del punto de un convertidor de fibra de Raman o resonador (3010), que comprende un espejo (3003) posterior de alta reflexividad (HR), una fibra (3004) óptica de baja pérdida y un acoplador (3005) de salida de baja reflexividad. El convertidor (3010)  
60 de Raman convierte la potencia de la pluralidad de diodos de láser visible dispuestos en un conjunto lineal o



bidimensional en un haz (3006) láser coherente único utilizando un enfoque no lineal, tal como una dispersión de Raman estimulada (SRS).

En un ejemplo, el espejo (3003) posterior puede ser un elemento de alta reflexividad y el acoplador (3005) de salida puede ser una faceta esfoliada o pulida con el recubrimiento dieléctrico apropiado. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un elemento de alta reflexividad y el acoplador (3005) de salida es una rejilla. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un elemento de alta reflexividad y el acoplador (3005) de salida está embebido en una fibra con rejilla de Bragg (FBG). En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior está embebido en una FBG diseñada para tener una alta reflexividad para el modo  $TEM_{00}$  de orden más bajo y el acoplador (3005) es una faceta esfoliada o pulida con el recubrimiento dieléctrico apropiado. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es una FBG embebida diseñada para tener una alta reflexividad para el modo  $TEM_{00}$  de orden más bajo y el acoplador (3005) es una rejilla. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un volumen con rejilla de Bragg (VBG) y el acoplador (3005) de salida es una faceta esfoliada o pulida con el recubrimiento dieléctrico apropiado. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un elemento de alta reflexividad y el acoplador (3005) de salida es una FGB embebida de reflexividad inferior. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es una FBG embebida y el acoplador (3005) de salida es un espejo de baja reflexividad. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un VBG y el acoplador (3005) de salida es una faceta esfoliada o pulida con el recubrimiento dieléctrico apropiado. En otro ejemplo, el espejo (3003) posterior es un espejo de alta reflexividad y el acoplador (3005) es un VBG de baja reflexividad.

La fibra (3010) puede estar en comunicación óptica con el conjunto (3002) óptico. La fibra (3010) puede incluir un núcleo central que es de modo único, o casi de modo único, un revestimiento de diámetro más grande que el núcleo para capturar la salida del conjunto de diodo de láser visible y un revestimiento exterior para guiar la luz del conjunto de diodo de láser visible a lo largo de la fibra. El núcleo central puede tener un diámetro mayor que o igual a aproximadamente  $3\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $5\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $15\mu\text{m}$  o mayor que o igual a aproximadamente  $25\mu\text{m}$ . La primera región de revestimiento puede tener un diámetro mayor que o igual a aproximadamente  $50\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $80\mu\text{m}$  o mayor que o igual a aproximadamente  $100\mu\text{m}$ . La región de revestimiento exterior puede tener un diámetro mayor que el diámetro del revestimiento interior un factor mayor que o igual a aproximadamente 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2, 3, 4, 5 o 10. En algunos ejemplos, el revestimiento exterior tiene un diámetro que es mayor que o igual a aproximadamente  $55\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $90\mu\text{m}$  o mayor que o igual a aproximadamente  $110\mu\text{m}$ . En algunas soluciones, con el fin de proporcionar una resistencia y durabilidad, el revestimiento exterior puede tener un diámetro que es mayor que o igual a aproximadamente  $125\mu\text{m}$ .

El diámetro de la primera región de revestimiento puede ser un parámetro importante en el funcionamiento del láser visible debido a que la intensidad de la luz de diodo de láser visible (por ejemplo, láser azul) define la ganancia que se puede generar con el proceso SRS. La ganancia de una fibra de Raman puede determinarse por la cantidad de potencia de bombeo en el núcleo de la fibra. La potencia para generar la ganancia de Raman puede residir en el revestimiento justo fuera de la región del núcleo. Dado que el revestimiento es mayor en diámetro que en el núcleo, la ganancia de Raman para el láser es significativamente menor que la ganancia que sucede cuando toda la potencia está confinada en el núcleo. Por ejemplo, un láser de Raman visible de 200 vatios requiere la potencia de bombeo desde el conjunto de diodos de láser que sea capaz de ser lanzada en la región de revestimiento interior que necesita ser del orden de  $60\mu\text{m}$  con el fin de lograr una suficiente ganancia para un funcionamiento eficiente. Como otro ejemplo, un láser de Raman visible de 2000 vatios requiere un diámetro de revestimiento de  $85\text{-}100\mu\text{m}$  para lograr un funcionamiento eficiente, que es accionado por la habilidad de los diodos de láser que son lanzados como diodos de bombeo en el revestimiento exterior.

Los diodos de láser visible de la presente invención pueden ser capaces de más de aproximadamente 1 vatio de potencia de salida de una banda estrecha adecuada para lanzar una pluralidad de diodos de láser en una fibra con un diámetro de menos de  $100\mu\text{m}$ . El brillo del diodo de láser es definido como el producto de la potencia de salida, el ancho de banda y el ángulo de divergencia. El ancho de banda estrecho puede ser mayor que o igual a aproximadamente  $5\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $10\mu\text{m}$ , mayor que o igual a aproximadamente  $15\mu\text{m}$ , pero en algunos casos no mayor que aproximadamente  $35\mu\text{m}$ . El ángulo de divergencia en el eje rápido puede ser mayor que o igual a aproximadamente 20 grados, mayor que o igual a aproximadamente 40 grados, o mayor que o igual a aproximadamente 90 grados desde un diodo de láser. El ángulo de divergencia en el eje lento puede ser mayor que o igual a aproximadamente 1 grado, mayor que o igual a aproximadamente 10 grados, o mayor que o igual a aproximadamente 20 grados. El diodo de láser puede tener una divergencia de eje rápido entre aproximadamente 18 y 25 grados de anchura a media altura (FWHM) y una divergencia de eje lento entre aproximadamente 12 y 15 grados de anchura a media altura (FWHM), que es un brillo de fuente de  $20\text{MW}/\text{cm}^2$  estereorradianes. El brillo de fuente define el número máximo de dispositivos que pueden ser acoplados en una fibra óptica, cuanto más alto es el número de brillo, mayor es el número de dispositivos que pueden acoplarse.

La fibra óptica puede ser un diseño de triple revestimiento tal y como se describió anteriormente, con una pérdida sustancialmente baja en el rango de longitud de onda visible debido a la dispersión de Rayleigh tanto en el núcleo de modo único central como en el primer revestimiento. En algunos casos, los diodos de láser funcionan a  $450\text{nm}$  y producen una ganancia por encima de un rango de  $10\text{nm}$ , entre  $451\text{nm}$  y  $461\text{nm}$  dependiendo de las pérdidas de dispersión intrínsecas en la fibra óptica. La fibra puede tener una pérdida de dispersión de Rayleigh de menos de 10 decibelios/km (dB/km) a  $459\text{nm}$  que es sustancialmente inferior que una fibra de núcleo de sílice puro que puede tener

pérdidas mayores que o igual a 50dB/km. La ganancia de Raman que es generada puede ser suficiente para superar las pérdidas de Rayleigh en la fibra, si las pérdidas en la fibra son menores de aproximadamente 50dB/km, menores de 40dB/km, menores de 30dB/km, menores de 20dB/km, menores de 10dB/km, menores de 5dB/km, o menores de 1dB/km. Cuanto menores son las pérdidas en la fibra, mayor es la eficiencia total del láser.

5 El conjunto de diodo de láser puede ser de un diseño modular basado en placas que combinan y condicionan las salidas de un conjunto lineal de diodos de láser. La figura 4 muestra una placa de láser que incluye un conjunto lineal de diodos (4001) de láser visible de alta potencia con una óptica de colimación asociada con cada diodo de láser para proporcionar fuentes (4004) colimadas, así como un sistema (4003) óptico de formación del haz y un grupo de elementos (4004) ópticos de compresión (también en el presente documento “compresor de haz”) para eliminar el espacio entre las fuentes de luz colimadas en un eje.

10 En un ejemplo, la óptica de colimación es una lente cilíndrica esférica a lo largo de un eje y el sistema (4003) óptico de formación del haz es una lente cilíndrica en otro eje. En otro ejemplo, el sistema (4003) óptico de formación del haz comprende dos elementos ópticos que forman un telescopio cilíndrico para redimensionar un eje del sub-haz.

15 En algunos ejemplos, un compresor (4004) de haz es un espejo o prisma giratorio. En un ejemplo, cada compresor de haz comprende al menos un espejo giratorio. El espejo giratorio puede ser un prisma que funciona en un modo de reflexión interna total (TIR). En algunos casos, un espejo giratorio es un sustrato recubierto dieléctrico de alta reflexividad, tal como, por ejemplo, un recubrimiento dieléctrico en un sustrato de sílice fundido que puede tener un 99% de reflexividad para una luz no polarizada en 459nm, o un espejo metálico con un recubrimiento de reflexividad mejorada, tal como, por ejemplo, un espejo aluminizado con una reflexividad mejorada que permite por encima de un 92% de reflexión para una luz naturalizada en 459nm.

20 En un ejemplo, un compresor (4004) de haz para cada placa comprende una placa con recubrimientos de alta reflectividad/anti-reflectividad alternados para reflejar los haces desde cada placa o pasar los haces desde cada placa. En otro ejemplo, un compresor (4004) de haz para cada placa comprende una pila de prismas orientados para dirigir el haz para cada placa de láser para ser paralelo mientras minimiza el espacio muerto entre los haces para cada placa de láser. En otro ejemplo, un compresor (4004) de haz para cada placa comprende una placa con orificios de alta reflexividad/alternados en la placa para reflejar los haces desde cada placa o para pasar los haces desde cada placa.

25 En algunos ejemplos, el sistema (4003) óptico de formación del haz comprende uno o más prismas anamórficos. En un ejemplo, el sistema (4003) óptico de formación del haz comprende un par de prismas anamórficos.

30 Los sub-haces comprimidos pueden constituir el compuesto que se refleja en una óptica (4005) entrelazada en la óptica (4006) de enfoque final para entregar la potencia del láser a una fibra (4007) de bombeo o directamente a una fibra (4007) láser. La fibra (4007) láser puede ser una fibra revestida triple con un núcleo de modo único o un núcleo de modo casi único. La cavidad láser se puede formar con o bien espejos externos, rejillas, o fibras con rejilla de Bragg (FBG) embebidas en el núcleo central. En algunos modos de realización, un resonador láser se basa en FBG embebidas dado que las rejillas tienen una selectividad tanto espectral como modal, que permite al láser de Raman funcionar en un modo transversal único incluso si el núcleo de fibra es de modo múltiple.

35 El núcleo central puede ser un núcleo de silicio fundido que tiene el coeficiente de ganancia de Raman más bajo en comparación con un núcleo dopado con germanio o un núcleo dopado con fósforo. El cambio de Raman para el núcleo de silicio fundido y dopado con germanio es similar y menor de aproximadamente 12nm a 450nm, pero el desplazamiento para el núcleo dopado con fósforo es sustancialmente mayor, con un desplazamiento de hasta aproximadamente 75 nm a 450 nm. El núcleo central puede ser un núcleo de silicio fundido para minimizar el potencial para la generación central de color en la fibra. Se puede añadir un dopante al núcleo para suprimir efectos de foto-oscuramiento adicionales, y el foto-oscuramiento se puede minimizar evitando que cualquiera de los componentes ultravioleta (UV) se genere en la cavidad láser. Siempre que la emisión láser esté confinada en el componente de dispersión de Stokes, la longitud de onda puede ser más larga que la longitud de onda de bombeo y no habrá ninguna radiación UV generada. La ganancia para las onda de Stokes puede ser sustancialmente mayor que para la onda Anti-Stokes, haciéndola menor posiblemente que longitudes de ondas que se generarán por eventos de dispersión de onda Anti-Stokes.

40 Un dopante, tal como un material que tiene grupos hidroxilos (OH), se puede añadir al núcleo y al primer revestimiento de fibra para suprimir las pérdidas de dispersión de Rayleigh en el régimen visible. El requisito fundamental de cualquier sistema láser es que las ganancias en el sistema puedan exceder las pérdidas en el sistema. Aunque la dispersión de Raman estimulada puede proporcionar una ganancia suficiente para superar los 50dB/km en fibras ópticas estándar, puede suceder un funcionamiento láser eficiente cuando las pérdidas asociadas a la dispersión de Rayleigh son menores que 50dB/km, menores que 40dB/km, menores que 30dB/km, menores que 20dB/km, menores que 10dB/km, menores que 5dB/km o menores que 1dB/km.

55 Escalar la salida de potencia del sistema láser se puede lograr apilando las placas láser en la figura 4 para formar un conjunto bidimensional de haces de diodo de láser. Por ejemplo, los láseres pueden montarse en una placa refrigerada única que se puede apilar para formar una fuente bidimensional de potencia de diodo de láser. La placa puede ser refrigerada mediante un fluido refrigerante, tal como agua. En algunos casos, la refrigeración se puede lograr con la ayuda de ventiladores, aletas de calor y/o un intercambiador de calor que emplea un fluido refrigerante.

En algunas situaciones, las placas láser son apiladas con un espacio mínimo entre cada uno de los haces producidos por cada una de las placas. Las placas láser pueden ser apiladas con un espacio muerto igual a la altura del haz láser emitido por la placa.

5 Con referencia la figura 5, se muestra un sistema láser que tiene múltiples placas. Cada placa tiene un punto de montaje a tierra de precisión para establecer la planicidad y el espaciado de cada placa (5006). Las placas pueden mantenerse físicamente juntas para formar una pila de placas. Las placas pueden mantenerse físicamente juntas utilizando un miembro de sujeción mecánica (por ejemplo, tornillos) o un miembro de sujeción químico (por ejemplo, un adhesivo). Cada haz de una placa puede estar separado de forma precisa para crear un hueco, donde se puede entrelazar otro haz (5002, 5003) para minimizar el espacio muerto entre los haces lanzados en la lente (4006). Dos conjuntos de láseres con una separación (5001, 5007) complementaria se utilizan con el haz desde cada placa de haz entrelazada entre los haces de la otra placa. Cada conjunto puede incluir una pluralidad de diodos de láser de luz visible. Las placas láser pueden ser idénticas en el diseño pero montadas en direcciones opuestas para permitir una plataforma común a través de todo el sistema. El método (5004, 5005) de combinación de haz puede consistir en o bien una pila de prismas o una placa que transmite o refleja de forma alternativa cada uno de los haces. La parte de transmisión de la placa (5005) puede ser o bien un agujero o una región revestida anti-reflexión de la placa donde la placa es un material tal como silicio fundido o un metal. La porción reflectante de la placa (5004) puede ser o bien un recubrimiento dieléctrico o un espejo metálico mejorado. De forma alternativa, un método de combinación, tal como una pila de prismas, se puede utilizar en o bien una configuración de refracción o en una configuración de reflexión interna total (TIR), para combinar de forma alternativa los haces para cada una de las placas láser.

20 Los haces creados desde el conjunto de placas bidimensional pueden colimarse altamente y pueden combinarse además con otros conjuntos de placas bidimensionales utilizando o la longitud de onda o la polarización para aumentar adicionalmente el brillo de bombeo. Con referencia la figura 6A y 6B, se pueden utilizar fuentes múltiples dentro de un ancho de banda de longitud de onda de por encima de 5nm (6011, 6012) o (6021, 6022) para crear ganancia a través del proceso SRS en una fibra (6001, 6002) de silicio fundido. El ancho de banda espectral de bombeo de longitud de onda para una pluralidad de fuentes puede ser menor de aproximadamente 4nm, menor de 3nm, menor de 2nm o menor de 1nm. Un ancho de banda de bombeo espectral sustancialmente más amplio para los diodos de láser se puede utilizar con una fibra dopada con fósforo debido a un perfil de ganancia más amplio para la fibra. Para el caso de una fibra dopada con fósforo, el ancho de banda de bombeo espectral para una pluralidad de fuentes de láser puede ser menor de aproximadamente 35nm, menor de 25nm, menor de 15nm, menor de 5nm o menor de 1nm.

### 30 Sistemas de control

Dispositivos, sistemas y métodos de la presente divulgación se pueden implementar utilizando sistemas de control informático. La figura 7 muestra un sistema 701 informático que está programado o de otro modo configurado para regular el funcionamiento del dispositivo, sistema y método de impresión en 3D de la presente divulgación. El sistema 701 una informático incluye una unidad de procesamiento central (CPU, también "procesador" o "procesador de ordenador" en el presente documento) 705, que puede ser un procesador de un sólo núcleo o de múltiples núcleos, una pluralidad de procesadores para procesamiento en paralelo. El sistema 701 informático también incluye una memoria o una ubicación 710 un acero de memoria (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio, una memoria de sólo lectura, una memoria flash), una unidad 715 de almacenamiento electrónico (por ejemplo, un disco duro), una interfaz 720 de comunicación (por ejemplo un adaptador de red) para comunicar con uno o más sistemas diferentes, y dispositivos 725 periféricos, tal como un caché, otra memoria, adaptadores de almacenamiento de datos y/o una visualización electrónica. La memoria 710, la unidad 715 de almacenamiento, la interfaz 720 y los dispositivos 725 periféricos están en comunicación con la CPU 705 a través de un bus de comunicación (líneas sólidas) tal como una placa base. La unidad 715 de almacenamiento puede ser una unidad de almacenamiento de datos (o repositorio de datos) para almacenar datos. El sistema 701 informático puede estar conectado de forma operativa a una red de ordenadores ("red") 730 con la ayuda de la interfaz 720 de comunicación. La red 730 puede ser Internet, una internet y/o una extranet, o una intranet y/o una extranet que está en comunicación con Internet. La red 730 en algunos casos es una red de telecomunicación y/o de datos. La red 730 puede incluir uno o más servidores informáticos, que pueden permitir una computación distribuida, tal como una computación en la nube. La red 730, en algunos casos con la ayuda del sistema 701 informático, puede implementar una red punto a punto, la cual puede permitir a los dispositivos conectados al sistema 701 informático comportarse como un cliente o un servidor.

La CPU 705 puede ejecutar una secuencia de instrucciones legibles por máquina, que pueden implementarse en un programa o software. Las instrucciones pueden almacenarse en una ubicación de memoria, tal como la memoria 710. Ejemplos de operaciones realizadas por la CPU 705 pueden incluir recuperar, decodificar, ejecutar y reescribir.

55 La CPU 705 puede ser parte de un circuito, tal como un circuito integrado, se pueden incluir uno o más componentes distintos del sistema 701 en el circuito. En algunos casos, el circuito es un circuito integrado de aplicación específica (ASIC).

La unidad 715 de almacenamiento puede almacenar archivos, tales como controladores, librerías y programas guardados. La unidad 715 de almacenamiento puede almacenar datos de usuario, por ejemplo, preferencias de usuario y programas de usuario. El sistema 701 informático en algunos casos puede incluir una o más unidades de

almacenamiento de datos adicionales que son externas al sistema 701 informático, tal que están situadas en un servidor remoto que está en comunicación con el sistema 701 informático a través de una intranet o de Internet.

El sistema 701 informático puede comunicarse con uno o más sistemas informáticos remotos a través de la red 730. Por ejemplo, el sistema 701 informático puede comunicarse con un sistema informático remoto de un usuario.

5 Ejemplos de sistemas informáticos remotos incluyen ordenadores personales (por ejemplo, un PC portátil) un PC de pizarra o de tableta (por ejemplo, un iPad de Apple®, un Samsung® Galaxy Tab) teléfonos, teléfonos inteligentes (por ejemplo, un iPhone de Apple®, un dispositivo con Android, Blackberry®) o asistentes digitales personales. El usuario puede acceder al sistema 701 informático a través de la red 730.

El sistema 701 informático puede estar en comunicación con un dispositivo o sistema 735 de impresión en 3-D. El sistema 701 informático puede estar en comunicación con un dispositivo de impresión en 3-D o bien directamente (por ejemplo, mediante una conectividad cableada o inalámbrica directa), o a través de la red 730. El dispositivo o sistema 735 de impresión en 3-D puede ser cualquier dispositivo o sistema descrito anteriormente y en cualquier lugar en el presente documento, tal como, por ejemplo, el sistema láser de impresión en 3-D de la figura 1.

Métodos como los descritos en el presente documento se pueden implementar por medio de un código ejecutable por máquina (por ejemplo un procesador informático) almacenado en una ubicación de almacenamiento electrónica del sistema 701 informático, tal como, por ejemplo, en la memoria 710 o en una unidad 715 de almacenamiento electrónico. El código ejecutable por máquina o legible por máquina puede estar proporcionado en forma de software. Durante el uso, el código se puede ejecutar por el procesador 705. En algunos casos, el código puede ser recuperado de la unidad 715 de almacenamiento y almacenado en la memoria 710 para un acceso fácil por el procesador 705. En algunas situaciones, la unidad 715 de almacenamiento electrónico puede ser excluida, y las instrucciones ejecutables por máquina son almacenadas en la memoria 710.

El código se puede pre-compilear y configurar para el uso con una máquina que tenga un procesador adaptado para ejecutar el código, o puede compilarse durante el tiempo de ejecución. El código puede ser suministrado en un lenguaje de programación que puede ser seleccionado para permitir que el código se ejecute de una forma pre-compilada o as-  
 25 compilada.

Aspectos de los sistemas y métodos proporcionados en el presente documento, tal como el sistema 701 informático, se pueden implementar en programación. Varios aspectos de la tecnología pueden considerarse como “productos” o “artículos de fabricación” típicamente en forma de código ejecutable por máquina (o procesador) y/o datos asociados que son forzados o implementados en un tipo de medio legible por máquina. El código ejecutable por máquina se puede almacenar en una unidad de almacenamiento electrónico, tal como memoria (por ejemplo memoria de sólo lectura, memoria de acceso aleatorio, memoria flash) o un disco duro. Medios de tipo “almacenamiento” pueden incluir cualquiera o toda la memoria tangible de los ordenadores, procesadores o similares, o módulos asociados de los mismos, tales como memorias de diversos semiconductores, unidades de cinta, unidades de disco y similares, que pueden proporcionar un almacenamiento transitorio en cualquier momento para la programación del software. Todo o parte del software puede a veces ser comunicado a través de Internet o varias redes de telecomunicación distintas. Dichas comunicaciones, por ejemplo, pueden permitir la carga del software desde un ordenador o procesador a otro, por ejemplo, desde un servidor de gestión o un ordenador central en la plataforma informática de un servidor de aplicación. Por tanto, otros tipos de medios que pueden soportar los elementos de software incluyen ondas ópticas, eléctricas y electromagnéticas tales como las utilizadas a través de interfaces físicas entre dispositivos locales, a través de redes de líneas terrestres cableadas y ópticas y sobre enlaces aéreos. Los elementos físicos para aportar dichas ondas, tales como enlaces cableados o inalámbricos, enlaces ópticos o similares, también pueden considerarse como medios que soportan el software. Tal y como se utiliza en el presente documento, a menos que se limite a medios de “almacenamiento” tangible no transitorios, términos tales como “medio legible” por ordenador o máquinas se refiere a cualquier medio que participa en proporcionar instrucciones a un procesador para su ejecución.

Por tanto, un medio legible por máquina tal como un código ejecutable por ordenador puede tomar muchas formas, incluyendo pero no limitado a, un medio de almacenamiento tangible, un medio de onda portadora o un medio de transmisión física. Un medio de almacenamiento no volátil incluye, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, tal como cualquiera de los dispositivos de almacenamiento en cualquier ordenador(es) o similares, tal como los que pueden utilizarse para implementar las bases de datos, etcétera, mostradas en los dibujos. Los medios de almacenamiento volátil incluyen memoria dinámica, tal como memoria principal o tal como una plataforma informática. Los medios de transmisión tangible incluyen cables coaxiales; cables de cobre y fibras ópticas, incluyendo los cables que comprenden un bus dentro de un sistema informático. Los medios de transmisión de onda portadora pueden tener la forma de señales eléctricas o electromagnéticas, u ondas acústicas o luminosas tales como las generadas durante las comunicaciones de datos de radiofrecuencia (RF) e infrarroja (IR). Formas comunes de medios legibles por ordenador por lo tanto incluyen por ejemplo: un disquete, un disco flexible, un disco duro, una cinta magnética, cualquier otro medio magnético, un CD-ROM, DVD o DVD-ROM, cualquier otro medio óptico, cinta de papel para tarjetas perforadas, cualquier otro medio de almacenamiento físico con patrones de agujeros, una RAM, una ROM, una PROM y EPROM, una FLASH-EPROM, cualquier otro chip o cartucho de memoria, una onda portadora que transporte datos o instrucciones, cables o enlaces que transporten dicha onda portadora, o cualquier otro medio desde el que un ordenador pueda leer código de programación y/o datos. Muchas de estas formas de medios legibles por ordenador

pueden involucrarse en transportar una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador para su ejecución.

Ejemplos

5 Los siguientes ejemplos son proporcionados para diversos métodos, configuraciones y sistemas ilustrativos que pueden realizarse con la fuente de láser visible de alta potencia en un sistema de impresión en 3-D. Estos ejemplos son para propósitos ilustrativos únicamente y no pretenden limitar el alcance de la presente invención.

10 Volviendo a la figura 1 se muestra de forma esquemática un sistema de impresión en 3-D, que incluye un sistema informático y un software para convertir un modelo sólido directamente a una pieza sólida utilizando una sinterización láser para fundir un sustrato en polvo capa por capa. El láser (1001) visible en este ejemplo incluye el láser (4000) en la figura 4 y la placa (4000) de láser dibujada en la figura 4 donde los diodos (4001) de láser visible son diodos de láser de alto brillo, de alta potencia, que emiten luz láser a una longitud de onda de aproximadamente 450nm. Una lente (4002) esférica es utilizada para colimar cada una de las fuentes y utilizada durante la fabricación para alinear el haz de salida de cada láser en la placa de láser. Los láseres son alineados con el eje lento perpendicular a la placa de láser para permitir a un telescopio (4003) cilíndrico alinearse con el eje lento del diodo láser para hacer circular la divergencia del sub-haz tanto en el eje lento como en el rápido. Los elementos (4003) de telescopio cilíndricos son colocados durante el proceso de fabricación con una máquina de recogida y colocación (por ejemplo, un robot), que puede ser personalizada o suministrada por uno de varios fabricantes de dichas máquinas. El robot de recogida y colocación puede ser capaz de colocar una óptica y orientarla a lo largo de 6 ejes, así como aplicar un adhesivo de curado por UV o un epoxi térmico para fijar la óptica en su sitio. Después de la colocación, el sistema puede que no requiera ninguna alineación adicional después de ser fijado a la placa con una resina curable por ultravioleta (UV). Los espejos o prismas (4004) giratorios también se colocan mediante una máquina de recogida y colocación durante la fabricación, y puede que no requieran ninguna alineación adicional después de ser fijados a la placa con una resina curable por UV. Los haces de salida desde las placas de láser son alineados ajustando la posición de la asfera de colimación durante la fabricación para formar un punto único en el campo lejano que corresponda a los sub-haces que son paralelos y altamente alineados. En algunas situaciones, una óptica de enfoque final es una asfera para minimizar el punto láser y para maximizar la apertura utilizable de la lente.

15 Las placas de láser pueden ser apiladas para formar un haz bidimensional como el mostrado en la figura 5 (5000) y entrelazado (5002) para formar un haz único. El haz único formado a partir de dos conjuntos entrelazados se puede entonces combinar utilizando filtros dicróicos o rejillas con la longitud de onda de los dos grupos diferentes de conjuntos que están separados 2nm. Después de que dos grupos de conjuntos se combinen en un filtro dicróico, se puede utilizar un polarizador para combinar un grupo similar de conjuntos dispuestos con su polarización ortogonal al primer grupo de conjuntos, por lo tanto resultando en que 4 conjuntos son combinados con otros 4 conjuntos para formar un haz con un incremento de 8x en el brillo de fuente que utiliza la longitud de onda y la combinación de polarización. Este enfoque puede tener características similares al descrito en la patente número 5,715,270 de Zediker y otros ("sistemas de láser de diodo directo de alta potencia y alta eficiencia y métodos para los mismos"). La combinación de polarización se puede realizar o bien antes de la formación del haz compuesto (combinando la longitud de onda) o después. El haz compuesto es entonces lanzado en el núcleo de bombeo de una fibra de revestimiento triple (4007, figura 4) con un núcleo de silicio fundido. El haz de alta densidad en el núcleo de bombeo para crear ganancia a través de un proceso SRS tanto en el revestimiento como en el núcleo. Sin embargo, el núcleo tiene una cavidad de láser asociada con el mismo (3003 y 3005, figura 3), que lleva a una oscilación en el núcleo. Un completo del láser que utiliza ecuaciones de dispersión de Raman estimulada se utiliza para modelar el comportamiento del láser de Raman bombeado del diodo de láser visible. Una ecuación de ejemplo para la dispersión de Raman estimulada puede encontrarse en M. Rini. y otros, "Modelización y optimización numérica de las sedes de fibras de Raman en cascada", IEEE, revista de electrón cuántico, vol. 36, págs. 117-1122 (2000).

20 La evolución de la potencia de bombeo en un modo de salida único para este caso es mostrada en la figura 6A y en la figura 6B. La figura 6A muestra una potencia de modo único que se propaga hacia delante (6001) y que se propaga hacia atrás (6002) en un núcleo de 10µm como una función de la posición en la fibra de resonador que oscila a 460nm. La figura 6B muestra las señales de bombeo de propagación (6011, 6012) hacia delante y de propagación (6021, 6022) hacia atrás en el revestimiento de diámetro de 85µm como una función de la posición en la figura de resonador. Las bombas de propagación hacia delante incluyen dos longitudes de onda separadas en 450nm (6011) y 452nm (6012). Similarmente, la bomba de propagación hacia atrás incluye dos longitudes de onda separadas en 450nm (6021) y 452nm (6022). El revestimiento exterior que establece la apertura numérica de revestimiento de bombeo en 0,49 tiene un diámetro de 125µm. La potencia de salida de modo transversal único para este ejemplo es mayor de 2kW utilizando un acoplador (3005) de salida un 30% reflexivo.

25 La salida de láser puede ser controlada directamente modulando los diodos de bombeo o el láser se puede configurar como un oscilador maestro-amplificador de potencia y oscilador maestro se puede modular a una alta velocidad. Con referencia la figura 1, el haz de láser pasa a través de un par de escáneres (1003) x-y para trasladar el haz de láser a través de la parte superior del sustrato (1007), que es un lecho de polvo en este ejemplo. Los escáneres x-y pueden ser situados o bien antes o después del enfoque del objetivo (1005) dependiendo de la longitud focal de la lente. El diámetro del punto (1006) que se forma es una función del diámetro del haz (1004) colimado y la longitud focal de la lente (1005) de objetivo. Un punto de diámetro de 70µm puede formarse mediante una lente de longitud focal de

5 158,4cm (62,4") si el haz de láser de entrada tiene una divergencia de 44 $\mu$ rad. Una divergencia de haz de 44 $\mu$ rad corresponde a un diámetro de haz (1004) de entrada de 1,3 cm para una longitud de onda de 459nm. Este diámetro de haz es el resultado de una lente de longitud focal de 22,6cm que colima (1002) la salida de modo único del láser (1001) que es un diámetro de modo de 10 $\mu$ m existente en el láser. El resultado es un sistema que se puede escanear sobre un plano de 1346mm x 1346mm (53" x 53") del sustrato (1007). Combinando esto con un elevador (1008) de gran desplazamiento se permite un volumen de construcción de 1346 mm x 1346 mm x 1397 mm (53" x 53" x 55").

10 El láser se puede escanear sobre un lecho de polvo para definir la pieza. El hecho de polvo se hace rodar sobre la pieza después de que cada capa es escaneada y el elevador es discriminado 100nm, dando una resolución de capa de 100nm. El polvo tiene un diámetro mayor de 10nm, un diámetro mayor de 50nm pero un diámetro no mayor de 100nm para este ejemplo particular. El diámetro del polvo puede afectar a la rugosidad superficial y a la velocidad de construcción de la pieza. La velocidad de construcción de la pieza puede ser mayor que o igual a aproximadamente 50 centímetros cúbicos por hora utilizando un láser de 1kW en 459nm tal y como se muestra en la tabla 2. Esto es sobre un factor de 2,5x más rápido que un láser de IR y un factor de 150x de volumen de construcción que representa una mejora sustancial sobre la tecnología actual.

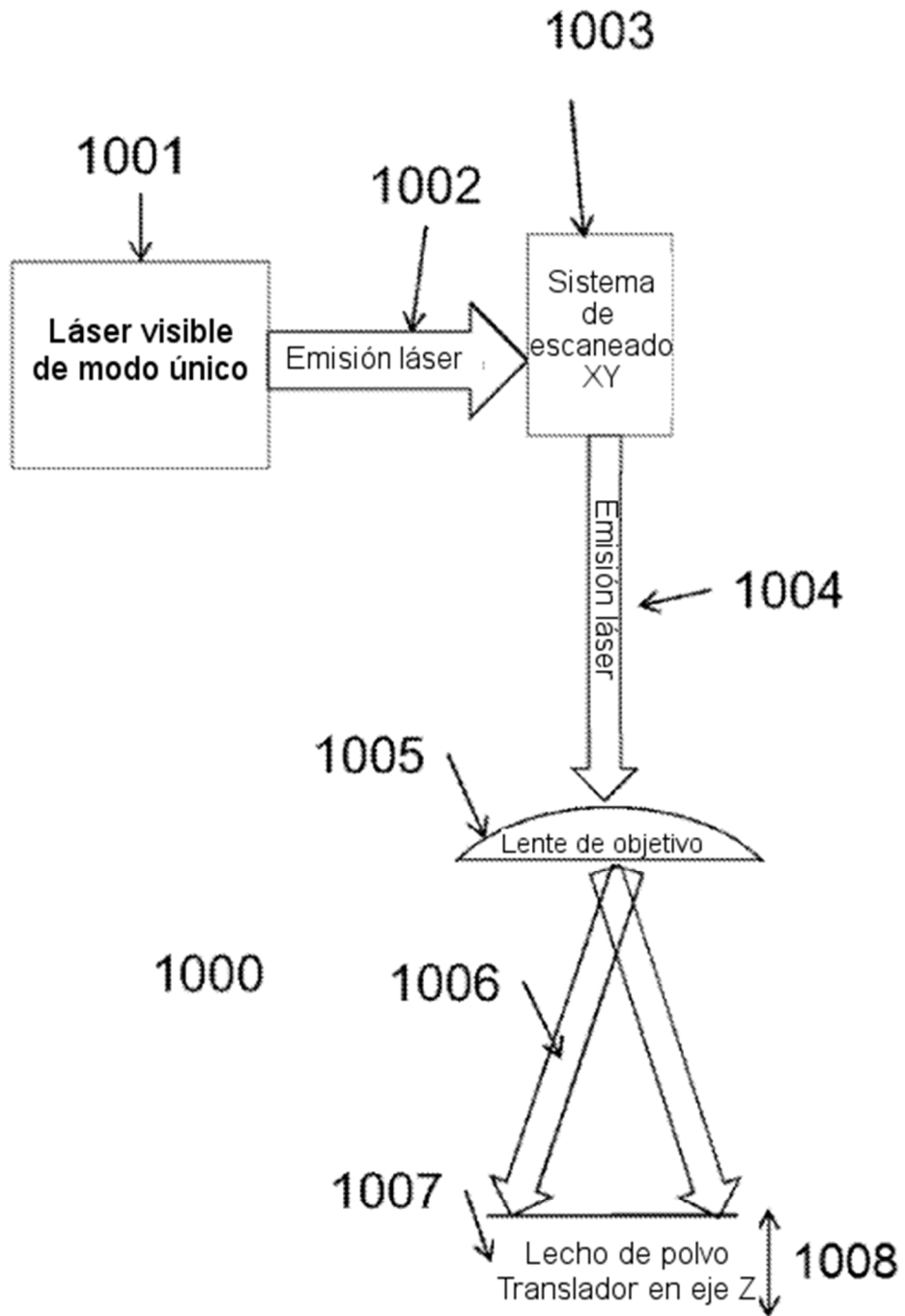
15 Aunque han sido mostrados y descritos en el presente documento modos de realización preferidos de la presente invención, será obvio para el experto en la técnica que dichos modos de realización son proporcionados a modo de ejemplo únicamente. No se pretende que la invención esté limitada por los ejemplos específicos proporcionados dentro de la memoria descriptiva. Aunque la invención ha sido descrita con referencia a la memoria descriptiva mencionada anteriormente, las descripciones e ilustraciones de los modos de realización en el presente documento no se pretende  
20 que se interpreten en un sentido limitativo. Numerosas variaciones cambios y sustituciones se le ocurrirán al experto en la técnica sin alejarse de la invención. Además, debería entenderse que todos los aspectos de la invención no están limitados a las representaciones específicas, configuraciones o proporciones relativas establecidas en el presente documento que dependen de diversas condiciones y variables. Debería entenderse que varias alternativas a los modos de realización de la invención descritos en el presente documento se pueden emplear para llevar a la práctica la invención. Por lo tanto se contempla que la invención también cubrirá cualquiera de dichas alternativas, modificaciones, variaciones o equivalentes. Se pretende que las siguientes reivindicaciones definan el alcance de la  
25 invención.

**REIVINDICACIONES**

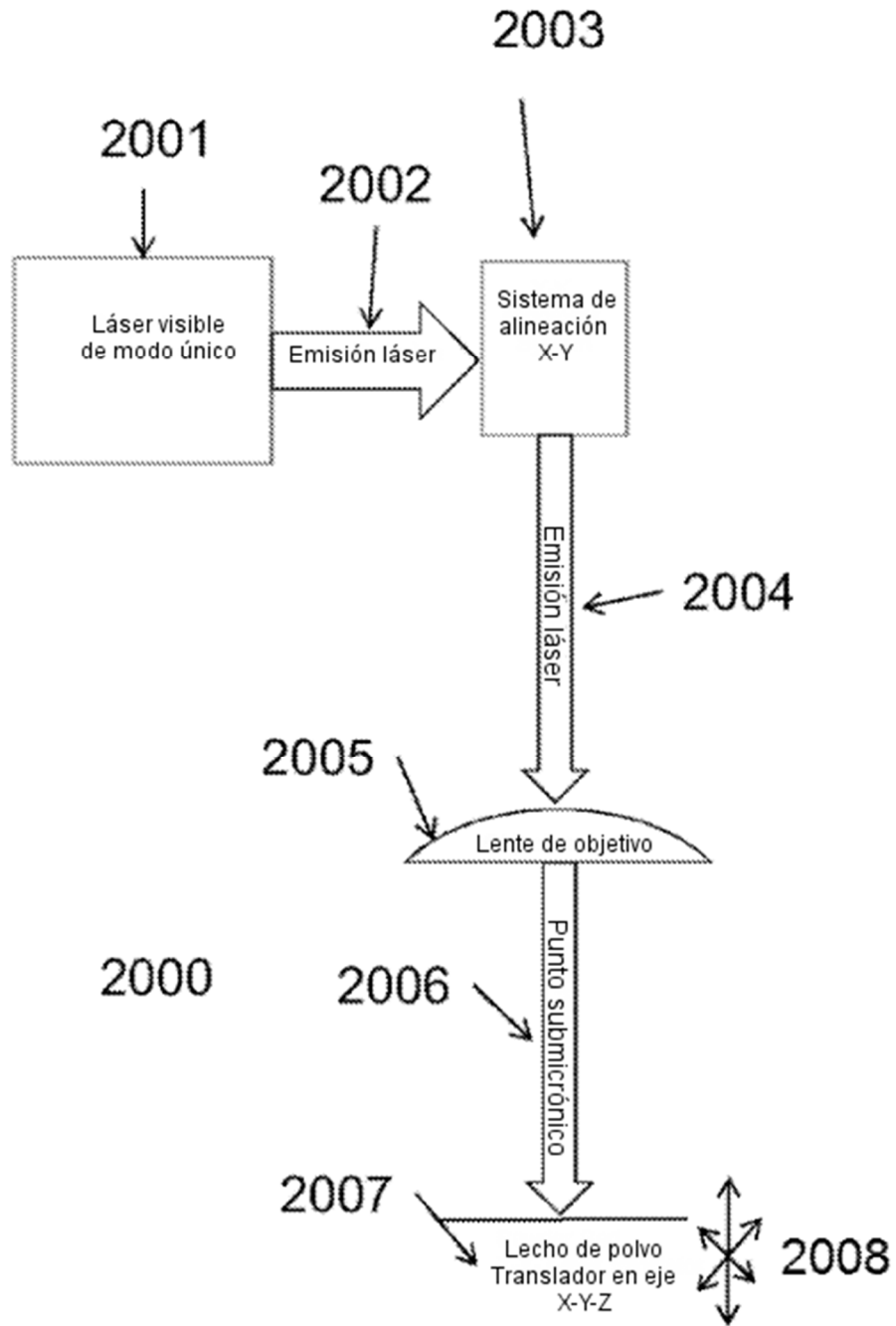
1. Un sistema de impresión para formar un objeto tridimensional, que comprende:
  - a. una fuente (1001) de luz láser;
  - b. un sustrato (1007) en comunicación óptica con dicha fuente (1001) de luz láser;
- 5    caracterizado por:
  - c. la fuente (1001) de luz láser generando un haz coherente de luz (1006) visible que tiene una longitud de onda entre 380nm y 760nm mediante la dispersión de Raman estimulada;
  - d. un módulo (1003) de escaneado aguas abajo de dicha fuente (1001) de luz láser, en donde dicho módulo (1003) de escaneado está adaptado para generar un movimiento de escaneado de dicho haz coherente de luz (1006) visible con respecto a dicho sustrato (1007), cuyo movimiento de escaneado se corresponde a una forma predeterminada del objeto tridimensional; y
  - e. un sistema (701) de control informático conectado de forma operativa a dicha fuente (1001) de luz láser y dicho módulo de escaneado, en donde dicho sistema (701) de control informático está programado para (i) controlar dicho movimiento de escaneado de una manera predeterminada y (ii) modular una potencia de dicha fuente (1001) de luz láser, para formar dicho objeto desde dicho sustrato (1007).
- 10    2. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicho módulo de escaneado está adaptado para (i) mover dicho haz coherente de luz visible, o (ii) mover dicho sustrato con respecto a dicho haz coherente de luz visible.
- 15    3. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde el módulo de escaneado comprende uno o más galvanómetros.
- 20    4. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicho módulo de escaneado comprende al menos dos etapas de traslación lineales ortogonales que mueven dicho sustrato con respecto a dicho haz coherente de luz visible.
- 25    5. El sistema de impresión de la reivindicación 1, que además comprende una lente de objetivo entre dicha fuente de luz láser y dicho sustrato, en donde dicha lente de objetivo enfoca dicho haz coherente de luz visible sobre dicho sustrato.
- 30    6. El sistema de impresión de la reivindicación 5, en donde dicha lente de objetivo es una lente f-teta.
- 35    7. El sistema de impresión de la reivindicación 5, en donde dicha lente de objetivo es una lente de longitud focal corta que genera un punto submicrónico en dicho sustrato desde dicho haz coherente de luz visible.
- 40    8. El sistema de impresión de la reivindicación 1, que además comprende un translador vertical el cual (i) mueve dicho sustrato a lo largo de una dirección generalmente paralela a una dirección de dicho haz coherente de luz visible, o (ii) mueve un conjunto que comprende dicha luz láser a lo largo de una dirección generalmente paralela a una dirección de dicho haz coherente de luz visible.
- 45    9. El sistema de impresión de la reivindicación 8, en donde dicho translador vertical mueve dicho sustrato o dicho conjunto en incrementos de al menos aproximadamente 10 nanómetros.
- 50    10. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicha fuente de luz láser comprende uno o más diodos de láser visible.
- 55    11. El sistema de impresión de la reivindicación 10, en donde un diodo individual entre dichos uno o más diodos de láser visible es un chip de láser individual que está unido a una placa.
- 60    12. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicha fuente de luz láser comprende grupos de diodos de láser, en donde cada grupo de dicha pluralidad comprende una pluralidad de diodos de láser, y en donde grupo de dicha pluralidad genera uno o más haces de luz coherente que están comprendidos en dicho haz de luz coherente.
- 65    13. El sistema de impresión de la reivindicación 12, que además comprende una lente de colimación que alinea haces de luz para cada grupo de dicha pluralidad de diodos de láser.
- 70    14. El sistema de impresión de la reivindicación 13, que además comprende una óptica de circulación para realizar la divergencia de haces de luz desde dicha lente de colimación simétrica.
- 75    15. El sistema de impresión de la reivindicación 12, que además comprende un elemento óptico de compresión que comprime los haces de luz desde dichos grupos de diodos de láser, reduce o minimiza el espacio muerto entre dichos haces de luz.

16. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicho haz coherente de luz visible es un haz de modo único coherente.
17. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicha fuente de luz láser comprende una fibra óptica, y en donde dicha fuente de luz láser genera dicho haz coherente de luz visible en dicha fibra óptica con una pérdida de Rayleigh que es menor de aproximadamente 50 decibelios por kilómetro (dB/km).
18. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicha fuente de luz comprende al menos un diodo de láser y una fibra en comunicación óptica con dicho diodo de láser.
19. El sistema de impresión de la reivindicación 18, en donde dicha fibra comprende (i) un núcleo central que es sustancialmente de modo único, (ii), un revestimiento de diámetro mayor que el núcleo central que captura una pluralidad de haces de luz visible emitidos desde dicho conjunto de diodos de láser, y (iii) un revestimiento exterior que guía dichos haces de luz visible emitidos desde dicho conjunto de diodos de láser a lo largo de dicha fibra.
20. El sistema de impresión de la reivindicación 19, en donde dicho núcleo y dicho revestimiento exterior están dispuestos de tal manera que dicha pluralidad de haces de luz visible atraviesan dicho núcleo central para crear una ganancia en el núcleo central a través de una dispersión de Raman estimulada.
21. El sistema de impresión de la reivindicación 1, en donde dicho objeto es un componente de un dispositivo mecánico micro-electrónico (MEMS).
22. Un método para formar un objeto tridimensional, que comprende:
- proporcionar una fuente (1001) de luz láser y un módulo (1003) de escaneado ópticamente aguas abajo de dicha fuente (1001) de luz láser;
  - utilizar dicha fuente (1001) de luz láser, generando un haz coherente de luz (1006) visible, que tiene una longitud de onda entre 380nm y 760nm, mediante dispersión de Raman estimulada;
  - dirigir dicho haz coherente de luz (1006) visible a un sustrato (1007) que está en comunicación óptica con dicha fuente (1001) de luz láser;
  - generar una característica en o desde dicho sustrato, cuya característica corresponde a al menos una porción de una forma predeterminada de dicho objeto tridimensional;
  - utilizar dicho módulo (1003) de escaneado, generando un movimiento de escaneado de dicho haz coherente de luz (1006) visible con respecto a dicho sustrato (1007), cuyo movimiento de escaneado se corresponde a dicha forma predeterminada de dicho objeto tridimensional; y
  - mover dicho sustrato (1007) con respecto a dicha luz láser a lo largo de una dirección (2008) que es generalmente paralela a dicho haz coherente de luz visible.
23. El método de la reivindicación 22, en donde (e) comprende modular una potencia de dicha fuente de luz láser.
24. El método de la reivindicación 23, en donde dicha potencia es modulada a una frecuencia de al menos aproximadamente 50kHz.
25. El método de la reivindicación 22, que además programa dicho movimiento de escaneado en memoria, cuyo movimiento de escaneado es determinado a partir de una forma tridimensional de dicho objeto.
26. El método de la reivindicación 22, en donde dicha característica tiene una rugosidad superficial desde aproximadamente 0,1 nanómetros (nm) y 50nm medidos por microscopio electrónico de transmisión.
27. El método de la reivindicación 22, en donde en (f), dicho sustrato se mueve a una distancia de al menos aproximadamente 10 nanómetros.
28. El método de la reivindicación 22, en donde en (f), (i) dicho sustrato se mueve a lo largo de una dirección generalmente paralela a la dirección de dicho haz coherente de luz visible, o (ii) un conjunto que comprende dicha fuente de luz láser se mueve a lo largo de una dirección generalmente paralela a una dirección de dicho haz coherente de luz visible.
29. El método de la reivindicación 22, en donde dicho sustrato es polvo.
30. El método de la reivindicación 29, que además comprende reponer dicho polvo después de (d).

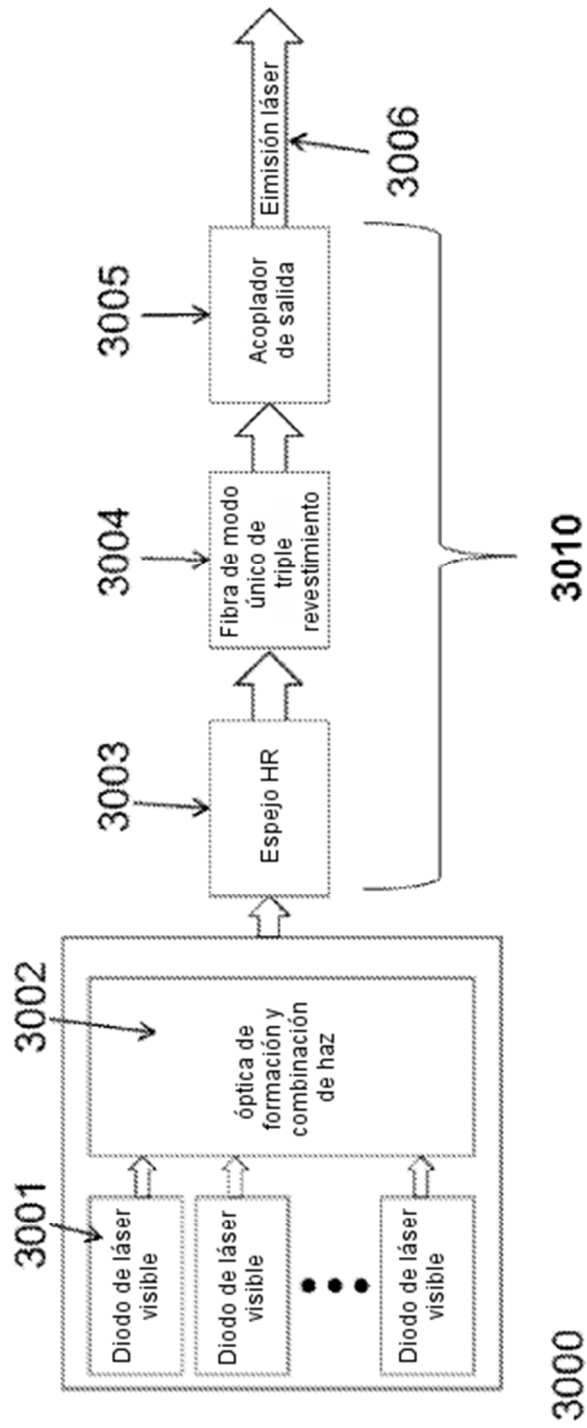




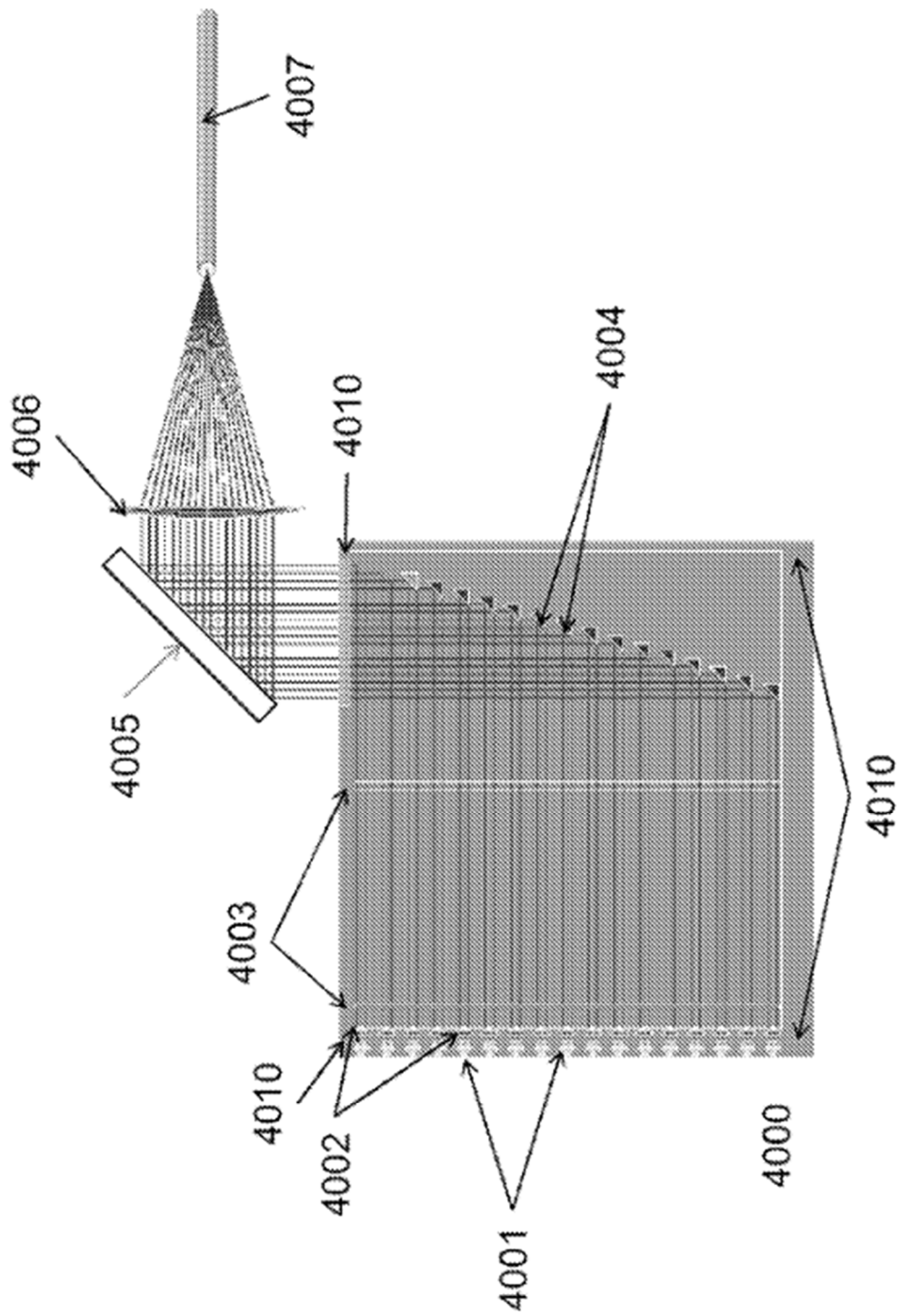
**FIG. 1**



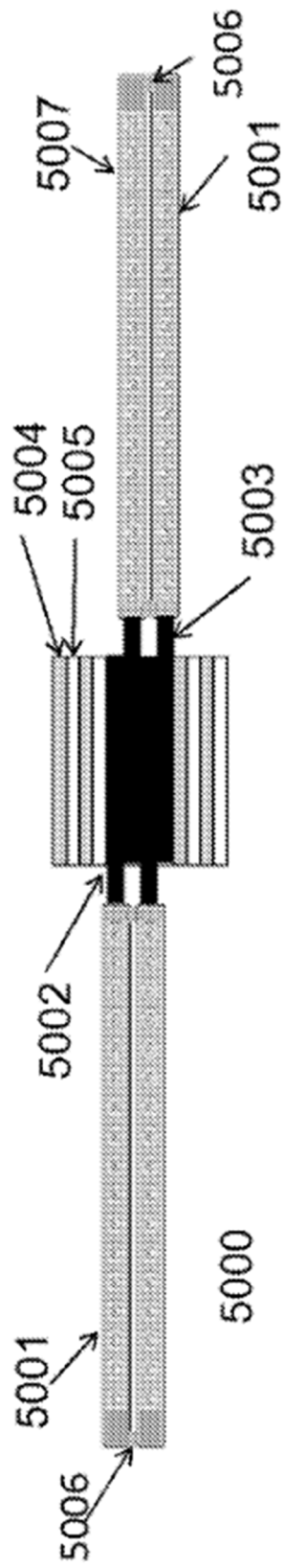
**FIG. 2**



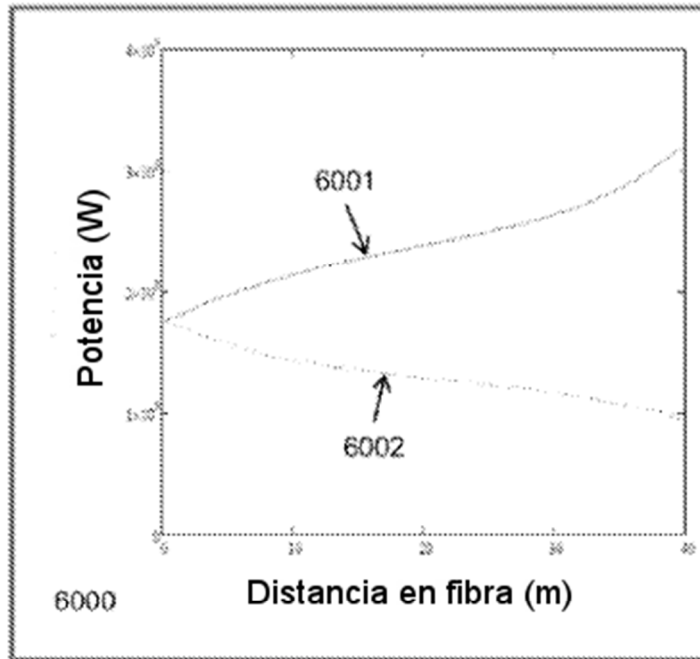
**FIG. 3**



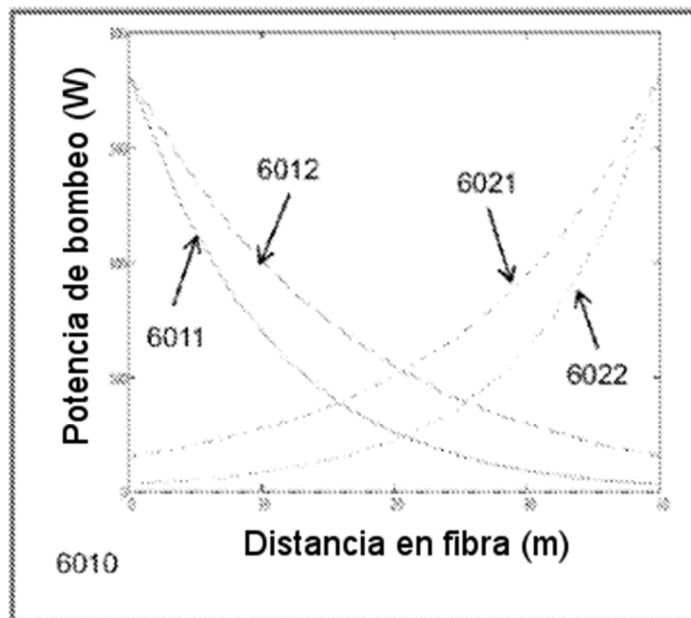
**FIG. 4**



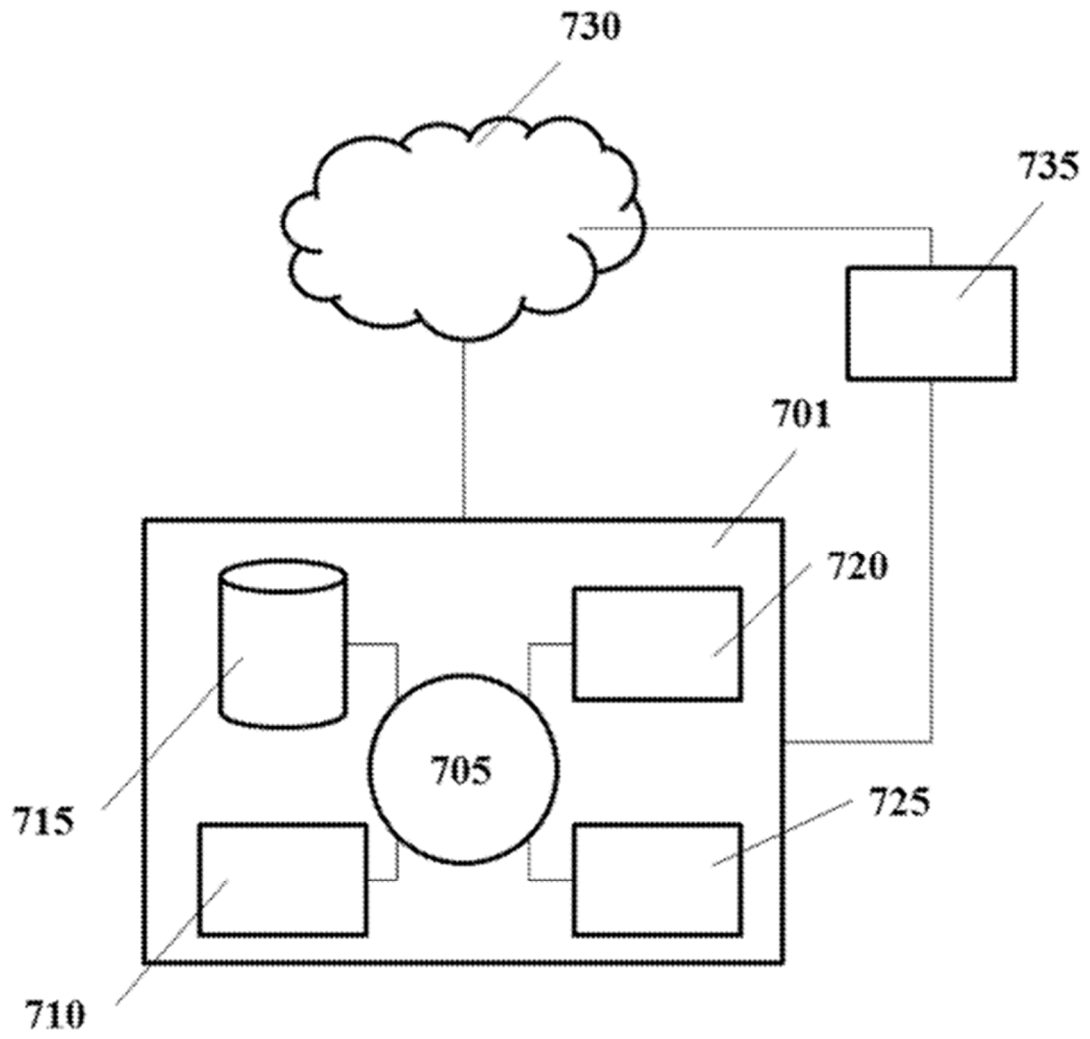
**FIG. 5**



**FIG. 6A**



**FIG. 6B**



**FIG. 7**