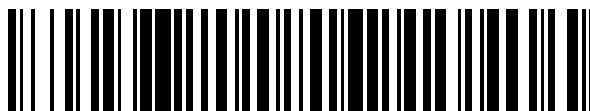


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 173**

51 Int. Cl.:

B23K 26/067 (2006.01)

B23K 26/06 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2012** **E 12007911 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014** **EP 2596901**

54 Título: **Dispositivo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima**

30 Prioridad:

24.11.2011 DE 102011119319

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

18.12.2014

73 Titular/es:

SLM SOLUTIONS GMBH (100.0%)
Roggenhorster Strasse 9c
23556 Lübeck, DE

72 Inventor/es:

WIESNER, ANDREAS;
SCHWARZE, DIETER y
SCHÖNEBORN, HENNER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 525 173 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

Dispositivo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima

5 La presente invención se refiere a un dispositivo óptico de irradiación según el preámbulo de la reivindicación 1, prevista para un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima. Además, la invención se refiere a un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 8 para la operación de un dispositivo óptico de irradiación de este tipo y un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima.

10 La fusión selectiva láserica (inglés: selective laser melting; abreviado: SLM) o el sinterizado selectivo láserico (inglés: selective laser sintering; abreviado: SLS) es un procedimiento generativo por capas mediante el cual materias primas pulverulentas, en particular metálicas y/o cerámicas, pueden ser elaboradas para componer piezas de formas complejas tridimensionales. Para ello se aplica una capa de materia prima pulverulenta sobre un sustrato y en función de la geometría deseada de la pieza a fabricar se aplica, localmente, rayos láser de manera selectiva. Los rayos láser que penetran en la capa de polvo producen un calentamiento y, consecuentemente, una fusión o sinterización de las partículas de polvo de materia prima. A continuación, se aplican, sucesivamente, otras capas de polvo de materia prima sobre la capa ya tratada por láser y se irradian nuevamente hasta que la pieza tenga la forma y tamaño deseados. La fusión láserica selectiva o sinterizado por láser pueden ser usados, en particular, para la fabricación de prototipos, útiles, repuestos o prótesis médicas, por ejemplo prótesis dentales u ortopédicas sobre la base de datos CAD.

Una estrategia de SLM/SLS consiste en dividir, virtualmente, la pieza a fabricar en un sector de camisa y un sector de núcleo. En primer lugar, en la fabricación de la pieza, el sector de camisa es irradiado mediante un rayo de luz que presenta un perfil de radiación comparativamente estrecho y/o gaussiano, mientras que, a continuación, el sector de núcleo es irradiado mediante un rayo de luz que presenta un perfil de rayo comparativamente ancho y/u homogéneo. Según ello, para esta así denominada estrategia camisa – núcleo se requieren al menos dos diferentes perfiles de haz.

El documento US 2001/0023861 A1 se refiere a un dispositivo de mecanización por láser para soldar, cortar, etc. mediante la aplicación de un haz láserico sobre una pieza para el uso en un línea de fabricación de vehículos. En este caso, se encuentra dispuesto a lo largo de un trayecto de transmisión de un haz láserico un primer y un segundo aparato de mando de fibra óptica (LWL), estando el primer láser conectado al primer aparato de mando (LWL) por medio de un primer cable de fibras ópticas y un segundo láser por medio de un segundo cable de fibras ópticas y los aparatos de mando de fibras ópticas están conectados por medio de un primer cable LWL y un segundo cable LWL. El primer aparato de mando LWL conecta, selectivamente, un primer y un segundo cable de fibras ópticas con un primer y un segundo cable LWL.

35 Un objetivo de la presente invención es indicar un dispositivo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima, un procedimiento para la operación de un dispositivo óptico de irradiación de este tipo y un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima, con ayuda de los cuales las piezas pueden ser fabricadas de manera más eficiente.

40 El objetivo anterior se consigue mediante un dispositivo óptico de irradiación con las características de la reivindicación 1, un procedimiento para la operación de un dispositivo óptico de irradiación con las características de la reivindicación 8, y un equipo con las características de la reivindicación 15.

La presente invención se basa, entre otros, en el conocimiento respecto de la propagación de luz en una fibra óptica.

45 Bajo fibra óptica se debe entender guía de ondas para ondas electromagnéticas. La luz a guiar en la fibra óptica puede ser conducida en la fibra óptica mediante guiado monomodal en modo fundamental o bien mediante guiado multimodal en modo fundamental y, adicionalmente, en uno o más modos de orden superior. El modo fundamental puede ser degenerado doblemente, por ejemplo en una fibra óptica cilíndricosimétrica, según los dos grados de libertad de polarización de una onda electromagnética. En este último caso se habla, sin embargo, de guiado monomodal.

50 Que un rayo de luz sea guiado en una fibra óptica mediante guiado monomodal o mediante guiado multimodal depende de los parámetros físicos del rayo de luz y de los parámetros físicos de la fibra óptica.

Para el guiado de un rayo de luz dentro de una fibra óptica cilíndrica son relevantes, por ejemplo, la longitud de onda λ del rayo de luz y la longitud de onda cut-off λ_{CO} de la fibra óptica. Un guiado monomodal del rayo de luz sólo es posible mientras la longitud de onda λ es más larga que la longitud de onda cut-off λ_{CO} de la fibra óptica o de la misma longitud que la onda cut-off λ_{CO} de la fibra óptica, es decir es $\lambda \geq \lambda_{CO}$. Si la longitud de onda λ del rayo de luz

es más corta que la longitud de onda cut-off λ_{CO} , es decir $\lambda < \lambda_{CO}$, se puede presentar el guiado multimodal. Consecuentemente, que una fibra óptica sea una fibra óptica monomodal o una fibra óptica multimodal depende de la longitud de onda cut-off λ_{CO} de la fibra óptica y de la longitud de onda λ del rayo de luz a guiar. Si la longitud de onda cut-off de la fibra óptica λ_{CO} y/o la longitud de onda λ del rayo de luz a guiar son desconocidas, es imposible

hacer una aseveración basada en la cantidad de modos en que es guiado el rayo de luz.

Por ejemplo, para una fibra óptica cilíndrica que presenta un núcleo (de fibra) con un diámetro de núcleo d y con un índice de refracción n_K y, asimismo, una camisa envolvente del núcleo (inglés: cladding) con un índice de refracción n_M , se calcula la longitud de onda cut-off λ_{CO} de la fibra óptica según:

$$\lambda_{CO} = \frac{\pi d NA}{2,405},$$

siendo NA la abertura numérica de la fibra óptica y

$$NA = \sqrt{n_K^2 - n_M^2}.$$

En particular, la distribución de intensidad lateral del campo de modos, que representa un rayo de luz al emerger en un extremo de fibra de una fibra óptica multimodal, depende de mediante cuántos y mediante cuáles modos el rayo de luz es guiado en la fibra óptica multimodal. Contrariamente, mediante cuántos y mediante cuáles modos es guiado el rayo de luz en la fibra óptica multimodal depende, en particular, de cómo el rayo de luz es modulado en la fibra óptica multimodal. Ello significa que mediante una modulación cuidadosa del rayo de luz es posible generar en la fibra óptica multimodal casi cualquier perfil de haz del rayo de luz emergente de la fibra óptica multimodal.

De esta manera, por ejemplo, es posible modular de tal manera un rayo de luz con un perfil de haz de forma gaussiana, que el rayo de luz, al reemerger de la fibra óptica multimodal, ilumine totalmente, en lo esencial, el núcleo de fibra de la fibra óptica multimodal y presente en al menos una sección parcial de la sección transversal del núcleo de fibra un perfil de haz casi homogéneo.

A la inversa, ello significa que para la generación de un perfil de haz deseado, en particular homogeneizado u homogéneo, emergente de una fibra óptica, la fibra óptica debe estar configurada, realmente, como una fibra óptica multimodal para el correspondiente rayo de luz.

O sea, con ayuda de una fibra óptica multimodal, el perfil de haz de un rayo de luz puede ser manipulado selectivamente. Es posible, en particular, mediante el desvío selectivo de un rayo de luz en una fibra óptica multimodal conmutar entre un primer perfil de haz y un segundo perfil de haz diferente del primer perfil de haz.

Un dispositivo óptico de irradiación según la invención para un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima se indica en la reivindicación 1.

Consecuentemente, el dispositivo óptico de irradiación según la invención permite que mediante el desvío selectivo de un rayo de luz se pueda, mediante una fibra óptica multimodal, conmutar entre un primer perfil de haz y un segundo perfil de haz diferente del primer perfil de haz. Ello permite, en particular, una conmutación necesaria para una estrategia camisa – núcleo entre dos perfiles de haz diferentes. Si, por ejemplo, el primer perfil de haz es un perfil de haz comparativamente angosto y/o de forma gaussiana y el segundo perfil de haz un perfil de haz comparativamente ancho y/u homogéneo, con la ayuda de la presente invención se puede durante la fabricación de una pieza, primeramente, irradiar el sector de camisa con el primer perfil de haz y, a continuación, el sector de núcleo con el segundo perfil de haz, conmutando entre los dos pasos de construcción del primer estado conductor de luz al segundo estado conductor de luz. O sea, en total, la presente invención posibilita una fabricación más eficiente de piezas.

Una ventaja adicional de la presente invención es que mediante la conmutación opcional según la invención un único rayo de luz puede ser direccionado a través de dos diferentes trayectos de haces. Mediante este principio de desvío, para la disponibilidad de dos diferentes perfiles de haz no es necesario conmutar ida y vuelta entre dos rayos de luz, de los cuales uno, ante la falta de uso, debe ser “aparcado” en una trampa de rayos (inglés: beam dump). Esto posibilita un aprovechamiento eficiente de la potencia lumínica existente.

El primer perfil de haz puede ser un perfil de haz de forma gaussiana. El segundo perfil de haz puede ser un perfil de haz nivelado, homogeneizado, uniforme, casi uniforme, homogéneo, casi homogéneo, con forma de sombrero de copa y/o casi con forma de sombrero de copa. Una anchura que caracteriza el primer perfil de haz en la distribución

de intensidad lateral del primer perfil de haz es más angosta que una anchura caracterizadora del segundo perfil de haz en la distribución de intensidad lateral del segundo perfil de haz.

La fibra óptica multimodal (inglés: multi mode; abreviado: MM) puede estar conformada como una fibra óptica multimodal cilíndrica, una fibra óptica multimodal cilíndricosimétrica, una fibra óptica multimodal de salto de índice, una fibra óptica multimodal de gradiente de índice y/o una fibra óptica multimodal de cristal fotónico (inglés: photonic cristal). Una fibra óptica multimodal de salto de índice es una fibra óptica multimodal cilindrosimétrica que presenta un núcleo (de fibra) con un diámetro de núcleo d_{MM} y un índice de refracción $n_{K,MM}$ y una camisa que envuelve el núcleo (inglés: cladding) con un índice de refracción $n_{M,MM}$. Preferentemente es válido: $n_{K,MM} > n_{M,MM}$. Adicionalmente, la fibra óptica multimodal puede estar envuelta por otras camisas o capas, por ejemplo un recubrimiento de protección (inglés: coating) y/o una camisa de protección exterior (inglés: jacket). La fibra óptica multimodal también puede estar configurada como fibra óptica multimodal mantenedora de polarización (inglés: polarization maintaining; abreviado: PM). El diámetro de núcleo d_{MM} tiene, preferentemente, 100 μm . La fibra óptica multimodal puede estar caracterizada por una longitud de onda cut-off $\lambda_{CO,MM}$ necesaria para el guiado monomodal.

La conexión de entrada y/o la conexión de salida pueden estar, en cada caso, configurados como un tubo dispuesto concéntricamente respecto del eje de haz del rayo de luz que atraviesa la conexión de entrada y/o la conexión de salida.

El tubo puede presentar un diámetro exterior de 40 mm y/o un diámetro interior ajustado al paso sin pérdidas del rayo de luz que atraviesa la conexión de entrada y/o la conexión de salida, para que el perfil de haz del rayo de luz no sea perjudicado por la conexión de entrada y/o la conexión de salida. Un tubo está, preferentemente, preparado para que se le pueda conectar otro componente del dispositivo óptico de irradiación como, por ejemplo, un componente óptico descrito más adelante y/o un colimador de entrada descrito más adelante.

El dispositivo de conmutación comprende, preferentemente, una primera unidad deflectora de luz configurada para desviar, en el segundo estado de guía de luz del dispositivo de conmutación, el rayo de luz que presenta el primer perfil de haz entrante a través de la conexión de entrada a un primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal, de tal manera que el rayo de luz presente el segundo perfil de haz al emerger de un segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal. Preferentemente, una primera unidad deflectora de luz está configurada para, en el segundo estado conductor de luz, desviar el rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada al primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal, de tal manera que el rayo de luz, al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal, ilumine totalmente al menos una sección de núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal de manera uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea. De esta manera, el campo de modos que representa el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal puede presentar, al menos sobre una sección de la superficie de salida del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal, una distribución de intensidad lateral nivelada homogenizada, uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea.

Preferentemente, el dispositivo de conmutación incluye una segunda unidad deflectora de luz, configurada para, en el segundo estado conductor de luz del dispositivo de conmutación, desviar a la conexión de salida el rayo de luz que presenta el segundo perfil de haz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal. Además, la segunda unidad deflectora de luz puede estar diseñada para, en el segundo estado conductor de luz, dirigir el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal de tal manera a la conexión de salida, que se extienda de manera coaxial al rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada.

La primera unidad deflectora de luz del dispositivo de conmutación puede incluir un primer espejo deflector de luz, movable hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos entrante a través de la conexión de entrada. El primer espejo deflector de luz puede estar configurado para desacoplar y/o desviar de su trayectoria de rayos original el rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada. El primer espejo deflector de luz puede estar configurado, en particular, para desviar el rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada en, preferentemente, 90° aproximadamente. Además, la primera unidad deflectora de luz puede incluir un primer colimador deflector de luz. El primer colimador deflector de luz puede estar configurado para, en el segundo estado conductor de luz, dirigir y/o enfocar el rayo de luz mediante el primer espejo deflector de luz hacia el primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal.

La segunda unidad deflectora de luz del dispositivo de conmutación puede incluir un segundo colimador deflector de luz. El segundo colimador deflector de luz puede estar configurado para, en el segundo estado conductor de luz, enfocar y/o colimar el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal. La segunda unidad deflectora de luz puede, además, incluir un primer espejo deflector de luz, movable hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos entrante a través de la conexión de entrada. El segundo espejo deflector de luz puede estar diseñado para, en el segundo estado conductor de luz, dirigir de tal manera el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal a través de la conexión de salida, que se extienda de manera coaxial al rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada. El segundo espejo deflector de luz puede estar configurado para desviar el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal en, preferentemente, 90° aproximadamente.

El dispositivo óptico de irradiación puede incluir un colimador de entrada. El colimador de entrada puede ser conectado con una fibra óptica, en particular con una fibra óptica monomodal. El colimador de entrada puede estar configurado para colimar y/o conducir a través de la conexión de entrada el rayo de luz emergente de la fibra óptica conectada con el colimador de entrada.

- 5 Además, el dispositivo óptico de irradiación puede incluir una fibra óptica monomodal (inglés: single mode; abreviado: SM) apropiada para el guiado monomodal de una longitud de onda central λ de un rayo de luz. La fibra óptica monomodal puede ser usada como medio láseractivo de un láser configurado como láser de fibra. La fibra óptica monomodal puede estar conectada en un extremo de fibra con un colimador de entrada.

10 La fibra óptica monomodal puede estar configurada como una fibra óptica monomodal cilíndrica, una fibra óptica monomodal cilindrosimétrica, una fibra óptica monomodal de salto de índice, una fibra óptica monomodal de gradiente y/o una fibra óptica monomodal de cristal fotónico. Una fibra óptica monomodal de salto de índice es una fibra óptica monomodal cilindrosimétrica que presenta un núcleo (de fibra) con un diámetro de núcleo d_{SM} y un índice de refracción $n_{K,SM}$ y una camisa que envuelve el núcleo (cladding) con un índice de refracción $n_{M,SM}$. Preferentemente, es válido: $n_{K,SM} > n_{M,SM}$. Adicionalmente, la fibra óptica monomodal puede estar envuelta por otras camisas o capas, por ejemplo un recubrimiento de protección (coating) y/o una camisa de protección exterior (jacket). La fibra óptica monomodal también puede estar configurada como fibra óptica monomodal mantenedora de polarización (polarization maintaining; PM). El diámetro de núcleo d_{SM} tiene, preferentemente, 20 μm . La fibra óptica monomodal puede estar caracterizada por una longitud de onda cut-off $\lambda_{CO, SM}$ necesaria para el guiado monomodal.

20 El dispositivo óptico de irradiación incluye, además, un láser para la generación de un rayo de luz que presenta una longitud de onda central λ . El láser produce, preferentemente, un rayo de luz que presenta un espectro de banda estrecha con una longitud de onda central λ . Como longitud de onda central λ se entiende el valor central del espectro. La longitud de onda central λ puede estar entre 1000 nm y 1100 nm, preferentemente entre 1050 nm y 1075 nm, particularmente preferente en 1064 nm. La longitud de onda central λ experimenta, preferentemente, una gran absorción en un polvo de materia prima a procesar. La potencia de salida del láser es, por ejemplo, en
25 operación de onda continua (inglés: continuous wave; abreviado: CW) de 1 kW. Sin embargo, la potencia de salida del láser también puede ser ajustable. El láser puede estar configurado como láser de fibras.

El láser puede estar configurado para generar el rayo de luz con una longitud de onda central λ que es más larga que la longitud de onda cut-off $\lambda_{CO, SM}$ de la fibra óptica monomodal necesaria para el guiado monomodal. Además,
30 el láser está configurado para generar el rayo de luz con una longitud de onda central λ que es más corta que la longitud de onda cut-off $\lambda_{CO, MM}$ de la fibra óptica multimodal necesaria para el guiado monomodal.

El láser y la fibra óptica monomodal pueden estar conectados entre sí y ajustados de tal manera que un rayo de luz, descrito solamente mediante el modo fundamental de la fibra óptica monomodal, emerja en un extremo de fibra de la fibra óptica monomodal apartado del láser.

35 La fibra óptica monomodal, un extremo de fibra de la fibra óptica monomodal, el colimador de entrada, la primera unidad deflectora de luz, el primer espejo deflector de luz, el primer colimador deflector de luz, la fibra óptica multimodal y/o el primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal pueden estar dispuestos, posicionados y/o orientados entre sí en el segundo estado conductor de luz de tal manera que el rayo de luz, al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal, presente el segundo perfil de haz. Preferentemente, la fibra óptica
40 monomodal, el extremo de fibra de la fibra óptica monomodal, el colimador de entrada, la primera unidad deflectora de luz, el primer espejo deflector de luz, el primer colimador deflector del luz, la fibra óptica multimodal y/o el primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal pueden estar dispuestos, posicionados y/o bien orientados de tal manera que el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal ilumine totalmente al menos una sección del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal de manera uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea. De esta manera, el campo de modos que representa el rayo de luz al emerger del
45 segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal puede presentar una distribución de intensidad lateral nivelada, homogenizada, uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea, al menos sobre una sección de la superficie de salida del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal.

Además, el dispositivo óptico de irradiación puede incluir componentes ópticos configurados para enfocar el rayo de luz emergente de la conexión de salida en un foco y/o guiar el foco de manera tridimensional en el espacio.
50

En particular, los componentes ópticos pueden estar configurados para enfocar el rayo de luz emergente de la conexión de salida en un punto cualquiera dentro del campo de escaneado. En particular, los componentes ópticos pueden estar configurados para enfocar el rayo de luz emergente de la conexión de salida en un punto cualquiera dentro de un campo de escaneado plana, o sea sin curvar. En este caso, el control del foco por medio de los
55 componentes ópticos se puede producir de tal manera que se pueda prescindir de un objetivo f-theta para el enfoque del rayo de luz. Los componentes ópticos pueden estar configurados, además, para ensanchar el rayo de luz emergente de la conexión de salida. El factor de ensanchamiento es, por ejemplo, 1,68.

En el primer estado conductor de luz, el colimador de entrada y los componentes ópticos pueden estar configurados y dispuestos de tal manera que el extremo de fibra de la fibra óptica monomodal y/o el perfil de haz del rayo de luz emergente de la fibra óptica monomodal sea/n reproducidos nítidamente en el campo de escaneado. El segundo colimador de entrada, el segundo espejo deflector de luz y los componentes ópticos pueden estar configurados y dispuestos en el primer estado conductor de luz de tal manera que el extremo de fibra de la fibra óptica multimodal y/o el perfil de haz del rayo de luz emergente de la fibra óptica multimodal sea/n reproducidos nítidamente en el campo de escaneado.

Un procedimiento para la operación de un equipo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima se indica en la reivindicación 1.

Preferentemente, en el procedimiento en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada, que presenta el primer perfil de haz, es guiado a un primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal de tal manera que el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal presente el segundo perfil de haz. Preferentemente, en el segundo estado conductor de luz, el haz de luz entrante a través de la conexión de entrada, es direccionado al primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal, de tal manera que el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal ilumine totalmente al menos una sección del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal de manera uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea. De esta manera, el campo de modos que representa el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal puede presentar una distribución de intensidad lateral nivelada, homogenizada, uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea, al menos sobre una sección de la superficie de salida del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal.

Preferentemente, en el procedimiento en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal que presenta el segundo perfil de haz es dirigido a la conexión de salida. En particular, en el segundo estado conductor de luz, el haz de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal es dirigido de tal manera a la conexión de salida, que se extienda de manera coaxial al haz de luz entrante a través de la conexión de entrada.

Preferentemente, en el procedimiento entre el primer y el segundo estado conductor de luz se mueve un primer espejo deflector de luz hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada. El rayo de luz emergente a través de la conexión de entrada puede ser desacoplado y/o desviado de su trayectoria de rayos inicial mediante el primer espejo deflector de luz. En particular, el rayo de luz emergente a través de la conexión de entrada puede ser desviado de su trayectoria de rayos original en, preferentemente, 90° aproximadamente mediante el primer espejo deflector de luz. Además, en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz dirigido mediante el primer espejo deflector de luz puede ser dirigido y/o enfocado al primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal con la ayuda de un primer colimador deflector de luz.

Preferentemente, en el procedimiento en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal es concentrado y/o colimado mediante un segundo colimador deflector de luz. Preferentemente, en el procedimiento entre el primer y el segundo estado conductor de luz un segundo espejo deflector de luz es movido hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada. En particular, el haz de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal es guiado mediante un segundo espejo deflector de luz de tal manera a la conexión de salida, que se extienda de manera coaxial al rayo de luz entrante a través de la conexión de entrada. El rayo de luz emergente del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal puede ser desviado mediante el segundo espejo deflector de luz en, preferentemente, 90° aproximadamente.

En el procedimiento, un rayo de luz es, preferentemente, colimado y/o conducido a través de la conexión de entrada mediante un colimador de entrada. Además, en el procedimiento, preferentemente, para una longitud de onda central λ del rayo de luz se pone a disposición una fibra óptica monomodal apropiada para el guiado monomodal

En el procedimiento, mediante un láser se genera un rayo de luz que presenta una longitud de onda central λ . En particular, el rayo de luz generado puede ser guiado mediante una fibra óptica monomodal apropiada para la longitud de onda central λ del rayo de luz generado para el guiado monomodal de tal manera que el rayo de luz presente, al emerger de la fibra óptica monomodal, un primer perfil de haz mediante el guiado monomodal en la fibra óptica monomodal. Preferentemente, el rayo de luz emergente de la fibra óptica monomodal es colimado mediante el colimador de entrada y/o el rayo de luz colimado es conducido a través de la conexión de entrada.

En particular, el rayo de luz puede ser generado mediante el láser con una longitud de onda central λ que es más larga que una longitud de onda cut-off $\lambda_{CO, SM}$ de la fibra óptica monomodal necesaria para el guiado monomodal. El rayo de luz es generado mediante el láser con una longitud de onda central λ más corta que una longitud de onda cut-off $\lambda_{CO, SM}$ de la fibra óptica multimodal necesaria para el guiado monomodal.

En el procedimiento en el segundo estado conductor de luz, la fibra óptica monomodal, un extremo de fibra de la

fibra óptica monomodal, el colimador de entrada, la primera unidad deflectora de luz, el primer espejo deflector de luz, el primer colimador deflector de luz, la fibra óptica multimodal y/o el primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal pueden estar dispuestos, posicionados y/u orientados entre sí, preferentemente de tal manera que el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal presente el segundo perfil de haz.

En particular, la fibra óptica monomodal, el extremo de fibra de la fibra óptica monomodal, el colimador de entrada, la primera unidad deflectora de luz, el primer espejo deflector de luz, el primer colimador deflector del luz, la fibra óptica multimodal y/o el primer extremo de fibra de la fibra óptica multimodal están dispuestos, posicionados y/o bien orientados de tal manera que el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal ilumine totalmente al menos una sección del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal de manera uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea. De esta manera, el campo de modos que representa el rayo de luz al emerger del segundo extremo de fibra de la fibra óptica multimodal puede presentar una distribución de intensidad lateral nivelada homogenizada, uniforme, casi uniforme, homogénea y/o casi homogénea, en al menos una sección de la superficie de salida del núcleo (de fibra) de la fibra óptica multimodal.

En el procedimiento, el rayo de luz emergente de la conexión de salida es enfocado, preferentemente, mediante componentes ópticos en un foco y el foco es conducido tridimensionalmente en el espacio mediante componentes ópticos.

Un equipo según la invención para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima incluye un sustrato, sobre el cual se pueden aplicar capas de polvo del polvo de materia prima, y un dispositivo óptica de irradiación descrito anteriormente. El dispositivo óptico de irradiación está configurado y dispuesto para irradiar mediante el rayo de luz una capa de polvo aplicada sobre el sustrato, para fabricar del polvo de materia prima una pieza tridimensional mediante un procedimiento generativo de construcción.

En tanto en esta descripción se describa un procedimiento o pasos individuales de un procedimiento para la operación de un dispositivo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima, es posible realizar el procedimiento o las etapas individuales del procedimiento mediante un dispositivo óptico de irradiación diseñado apropiadamente. Algo análogo es válido para la explicación del modo de operación de un dispositivo óptico de irradiación que realiza pasos de procedimientos. En este sentido, las características de dispositivos y procedimientos de esta descripción son equivalentes/ intercambiables.

A continuación, la invención es explicada en detalle mediante los dibujos adjuntos, en los cuales

la figura 1a muestra una representación esquemática de un dispositivo óptico de irradiación según un ejemplo de realización, en el cual se encuentra un dispositivo de conmutación en un primer estado conductor de luz,

la figura 1b muestra una representación esquemática del dispositivo óptico de irradiación de la figura 1a, en el cual se encuentra el dispositivo de conmutación en un segundo estado conductor de luz,

la figura 2a muestra una representación esquemática de un perfil de haz de un rayo de luz emergente de una fibra óptica monomodal,

la figura 2b muestra una representación esquemática de un perfil de haz de un rayo de luz entrante a través de una conexión de entrada,

la figura 2c muestra una representación esquemática de un perfil de haz de un rayo de luz emergente de una fibra óptica multimodal,

la figura 2d muestra una representación esquemática de un perfil de haz de un rayo de luz emergente a través de una conexión de salida, y

la figura 3 muestra una representación esquemática de un equipo para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima.

En las figuras 1a, 1b y 3, un dispositivo óptico de irradiación está señalado en general con la referencia 10. El dispositivo óptico de irradiación 10 puede ser usado en un equipo 100 para la fabricación de piezas mediante irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima, como se muestra, por ejemplo, en la figura 3.

El dispositivo óptico de irradiación 10 incluye un láser 12. El láser 12 produce un rayo de luz 14 que presenta un espectro de banda estrecha con una longitud de onda central λ . La longitud de onda central λ se encuentra, por ejemplo, en el rango de 1 μm , en 1064 nm aproximadamente. La longitud de onda central λ experimenta una gran absorción en el polvo de materia prima a procesar. La potencia de salida del láser 12 es, por ejemplo, en operación de onda continua (inglés: continuous wave; abreviado: CW) de 1 kW.

El rayo de luz 14 es conducido dentro de una fibra óptica monomodal 16. Por ejemplo, el láser 12 puede estar

configurado como láser de fibras. En este caso, la fibra óptica monomodal 16 puede servir como medio láseractivo del láser 12. Una fibra óptica monomodal 16 es, por ejemplo, una fibra óptica cilindrosimétrica que incluye un núcleo de fibra con un diámetro de núcleo d_{SM} de 20 μm y un cladding que envuelve el núcleo de fibra. La longitud de onda cut-off $\lambda_{CO,SM}$ de la fibra óptica monomodal 16 y la longitud de onda central λ del rayo de luz 14 están adaptados de tal manera uno al otro que el rayo de luz 14 es guiado dentro de la fibra óptica monomodal 16 mediante el guiado monomodal.

El rayo de luz 14 emerge como rayo de luz 14 monomodal (inglés: single-mode; abreviado: SM) de un extremo de fibra 17 de la fibra óptica monomodal 16 apartada del láser 12. En otras palabras: al emerger el rayo de luz 14 de la fibra óptica monomodal 16, el rayo de luz 14 es descrito solamente mediante el modo fundamental, por ejemplo el modo TEM_{00} y, en buena aproximación, presenta un perfil de haz de forma gaussiana 20.

El perfil de haz 20 gaussiano se muestra en la figura 2a. En este caso, la curva de distribución de intensidad lateral $I(r)$ del rayo de luz 14 representa una distribución acampanada como función de la distancia lateral r del centro de haces $r = 0$. La anchura D_{20} de la distribución $I(r)$, dentro de la cual la intensidad $I(r)$ del perfil de haz 20 es mayor o igual a $1/e^2 = 13,5\%$ de la intensidad máxima I_{20} , es de, por ejemplo, 16 μm en función del diámetro de núcleo d_{SM} de 20 μm .

El dispositivo de irradiación óptica 10 tiene asignado un colimador la entrada 18. Por ejemplo, el colimador de entrada 18 presenta una distancia focal f_{EK} de 50 mm. El extremo de fibra 17 está dispuesto en el foco o en el plano focal del colimador de entrada 18. El colimador de entrada 18 recolecta el rayo de luz 14 emergente de la fibra óptica monomodal 16, colima el rayo de luz 14 a un rayo de luz 14 esencialmente colimado (es decir, después de emerger del colimador de entrada 18 la divergencia residual del rayo de luz 14 es despreciable) y conduce el rayo de luz 14 colimado a través de una conexión de entrada 22. El perfil de haz 23 del haz de luz 14 que pasa a través de la conexión de entrada 22 permanece de forma gaussiana debido a la colimación del rayo de luz 14, pero el diámetro de haz D_{23} del rayo de luz 14 colimado, dentro del cual la intensidad $I(r)$ del perfil de haz 23 del rayo de luz 14 colimado es mayor o igual a $1/e^2$ de la intensidad máxima I_{23} , es ahora de 6,3 mm aproximadamente (véanse las figuras 1a y 2b).

En la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22 se encuentra conectado una conexión de salida 24 aguas abajo de la conexión de entrada 22. La conexión de entrada 22 está configurada como tubo cilindrosimétrico. A la conexión de entrada 22 puede estar embridado el colimador de entrada 18, corriendo el eje óptico del colimador de entrada 18 de forma coaxial con el eje de simetría de la conexión de entrada 22.

El dispositivo óptico de irradiación 10 incluye, además, un dispositivo de conmutación 26 que, opcionalmente, es conmutable entre un primer estado conductor de luz y un segundo estado conductor de luz. El primer estado conductor de luz se muestra en la figura 1a, siendo el segundo estado conductor de luz mostrado en la figura 1b.

El dispositivo de comunicación 26 está configurado para, en el primer estado de conducción, guiar el rayo de luz 14 con el perfil de haz 23 de forma gaussiana a través de la conexión de entrada 22 a la conexión de salida 24 de tal manera que el rayo de luz 14 presente al emerger de la conexión de salida 24 al menos aproximadamente el mismo perfil de haz 23 de forma gaussiana que a la entrada del rayo de luz 14 a través de la conexión de entrada 22 (véase la figura 2b). Con otras palabras: en el primer estado conductor de luz, el rayo de luz 14 colimado es pasado sin cambios y sin desvíos de la conexión de entrada 22 a través y/o directamente a la conexión de salida 24. Para ello, el colimador de entrada 18, la conexión de entrada 22 y la conexión de entrada 24 están dispuestos entre sí de tal manera que, en el primer estado conductor de luz, el rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22 emerja colimado de la conexión de salida 24 con un perfil de haz 23 y diámetro de haz D_{23} inalterados.

El dispositivo de conmutación 26 está configurado, además, para guiar, en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz 14 con el perfil de haz 23 de forma gaussiana, entrante a través de la conexión de entrada 22, mediante una fibra óptica multimodal 28 a la conexión de salida 24, de tal manera que el rayo de luz 14' mediante guiado multimodal en la fibra óptica multimodal 28 presente al emerger de la conexión de salida 24 un perfil de haz 29 diferente del perfil de haz 23 de forma gaussiana del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22 (véase la figura 2d).

La fibra óptica multimodal 28 es, por ejemplo, una fibra óptica cilindrosimétrica que incluye un núcleo de fibra con un diámetro de núcleo d_{SM} de 100 μm y un cladding que envuelve el núcleo de fibra. La longitud de onda cut-off $\lambda_{CO,MM}$ de la fibra óptica multimodal 28 y la longitud de onda central λ del rayo de luz 14 están adaptados de tal manera uno al otro, que el rayo de luz 14 pueda ser o sea conducido dentro de la fibra óptica multimodal 28 mediante el guiado multimodal.

Para generar el perfil de haz 29 que se diferencia del perfil de haz 23, el dispositivo de conmutación 26 incluye una primera unidad deflectora de luz 30 preparada para en el segundo estado conductor de luz guiar el rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22 en un primer extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28, de tal manera que el rayo de luz 14', al salir de un segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28,

presente un perfil de haz 35 deseado de forma no gaussiana.

Para ello, la primera unidad deflectora de luz 30 incluye un primer espejo deflector de luz 36 que puede ser movido hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22, y un primer colimador deflector de luz 38 diseñado para, en el segundo estado conductor de luz, enfocar el rayo de luz 14 guiado mediante el primer espejo deflector de luz 36 en el primer extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28.

El primer espejo deflector de luz 36 incluye una superficie plana altamente reflectante para la longitud de onda λ del rayo de luz 14 que, en el segundo estado conductor de luz, está incorporado a la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 de tal manera que la normal de la superficie del primer espejo deflector de luz 36 forma con la trayectoria de rayos el rayo de luz 14 un ángulo de 45° aproximadamente. De esta manera, el rayo de luz 14 es desviado en más o menos 90° , sin embargo en este proceso permanece colimado. El rayo de luz 14 entra entonces en el primer colimador deflector de luz 38 y es concentrado por el mismo. El primer colimador deflector de luz 38 modula el rayo de luz 14 en la fibra óptica multimodal 28 a través del primer extremo de fibra 32. El primer colimador deflector de luz 38 presenta una distancia focal f_{LK1} de 60 mm.

La fibra óptica monomodal 16, el extremo de fibra 17 de la fibra óptica monomodal 16, el colimador de entrada 18, la primera unidad deflectora de luz 30, el primer espejo deflector de luz 36, el primer colimador deflector de luz 38, la fibra óptica multimodal 28 y/o el primer extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28 están o son dispuestos entre sí de tal manera que el rayo de luz 14' presente al salir de la fibra óptica multimodal 28 el perfil de haz 35 de forma no gaussiana deseado.

Para ello, el sistema compuesto del colimador de entrada 18 y la primera unidad deflectora de luz 30 o del primer espejo deflector 36 y el primer colimador deflector de luz 38 reproduce el extremo de fibra 17 de la fibra óptica monomodal 16 en el primer extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28ab. En este caso, el eje óptico del primer colimador deflector de luz 38 corta el primer extremo de fibra 32 de manera excéntrica (o sea, fuera de centro o fuera de eje). Con otras palabras: el eje óptico del primer colimador deflector de luz 38 corta el primer extremo de fibra 32 en un punto que presenta una distancia distinta de cero del centro del núcleo de fibra de la fibra óptica multimodal 28 en el primer extremo de fibra 32. Adicional o alternativamente, el eje óptico del primer colimador deflector de luz 38 puede incidir respecto del eje de simetría del núcleo de fibra cilindrosimétrico de la fibra óptica multimodal 28 oblicuamente (o sea no en forma coaxial ni paralela) sobre el primer extremo de fibra 32. Con otras palabras: preferentemente, el eje óptico del primer colimador deflector de luz 38 incluye, al entrar en el primer extremo de fibra 32, con el eje de simetría del núcleo de fibra cilindrosimétrico de la fibra óptica multimodal 28 un ángulo θ_1 , donde $\text{modulo}[\theta_1, 180^\circ] \neq 0^\circ$.

Dicha circunstancia también puede ser formulada mediante la trayectoria de rayos o curva de los rayos del rayo de luz 14. En el segundo estado de deflexión de luz, el rayo de luz 14 incide en el extremo de fibra 32 de forma excéntrica (o sea, fuera de centro o fuera de eje). Por lo tanto, el rayo de luz 14 corta el primer extremo de fibra 32 en un punto de intersección de tal manera que el centro del punto de intersección presenta una distancia distinta de cero del centro del núcleo de la fibra óptica multimodal 28 en el primer extremo de fibra 32. Adicional o alternativamente, el haz principal del rayo de luz 14 puede incidir oblicuamente (o sea ni en forma coaxial ni paralela) respecto del eje de simetría del núcleo de fibra cilindrosimétrico de la fibra óptica multimodal 28 en el primer extremo de fibra 32. Con otras palabras: o sea, preferentemente, haz principal del rayo de luz 14 incluye, inmediatamente de entrar en el primer extremo de fibra 32, con el eje de simetría del núcleo de fibra cilindrosimétrico de la fibra óptica multimodal 28 un ángulo θ_2 , donde $\text{modulo}[\theta_2, 180^\circ] \neq 0^\circ$.

Adicionalmente, se debe puntualizar que el núcleo de fibra con diámetro de núcleo $d_{SM} = 20 \mu\text{m}$ de la fibra óptica monomodal 16 es reproducido mediante el colimador de entrada 18 con una distancia focal $f_{EK} = 50 \text{ mm}$ y el primer colimador deflector de luz 38 con una distancia focal $f_{LK1} = 60 \text{ mm}$ sobre una imagen con diámetro $d'_{SM} = d_{SM} f_{LK1}/f_{EK} = 24 \mu\text{m}$ en el núcleo de fibra con diámetro de núcleo $d_{MM} = 100 \mu\text{m}$ de la fibra óptica multimodal 28. La diferencia entre d'_{SM} y d_{MM} lleva a una discrepancia de modos (inglés: mode mismatch) entre el campo de modos a modular del rayo de luz 14 y el modo fundamental de la fibra óptica multimodal 28.

Mediante la manera descrita anteriormente del ajuste y/o mediante la manera descrita anteriormente de la modulación, el rayo de luz 14 es conducido dentro de la fibra óptica multimodal 28 mediante un guiado multimodal. Ello significa que durante la propagación del rayo de luz 14 se usan u ocupan mediante la fibra óptica multimodal 28 no solamente una, sino varios modos de preparación posibles para la longitud de onda λ del rayo de luz 14 dentro de la fibra óptica multimodal 28. Mediante el guiado multimodal, al emerger el rayo de luz 14' en el segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28, el perfil de haz 35 del rayo de luz 14' se diferencia, significativamente, de una distribución de forma gaussiana, por ejemplo de la del perfil de haz 20.

O sea, se puede decir: la primera unidad deflectora de luz 30 o bien la fibra óptica monomodal 16, el primer extremo de fibra 17 de la fibra óptica monomodal 16, el colimador de entrada 18, la primera unidad deflectora de luz 30, el primer espejo deflector de luz 36, el primer colimador deflector de luz 38, la fibra óptica multimodal 28 y/o el primer

extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28 están configurados o dispuestos de tal manera entre sí, que en el segundo estado conductor de luz, el rayo de los 14 entrante a través de la conexión de entrada 22 es guiado al primer extremo de fibra 32 de la fibra óptica multimodal 28 de tal manera que el rayo de luz 14', al salir del segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28, pueda iluminar totalmente de manera nivelada, homogeneizada, casi uniforme y/o casi homogénea el núcleo de fibra de la fibra óptica multimodal 28. Con otras palabras: el campo de modos que representa el rayo de luz 14' presenta, al emerger del segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28, una distribución de intensidad lateral nivelada, homogenizada, casi homogénea y/o casi con forma de sombrero de copa, al menos sobre una sección parcial de la superficie de salida del núcleo de fibra de la fibra óptica multimodal 28. Por lo tanto, incluso al salir del segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28, también el rayo de luz 14' mismo presenta un perfil de haz 35 nivelado, homogenizado, casi homogéneo y/o casi con forma de sombrero de copa.

El perfil de haz 35 se muestra en la figura 2c. En este caso, la curva de distribución de intensidad lateral $I(r)$ del rayo de luz 14' representa una distribución en función de la distancia lateral r del centro de haces $r = 0$. La anchura D_{35} de la distribución $I(r)$, dentro de la cual la intensidad $I(r)$ del perfil de haz 35 es mayor o igual a $1/e^2$ de la intensidad máxima I_{35} es, por ejemplo, de 80 μm .

El dispositivo de conmutación 10 incluye, además, una segunda unidad deflectora de luz 40, configurada para, en el segundo estado de conducción de luz del dispositivo de conmutación 10, guiar a la conexión de salida 24 el rayo de luz 14' que presenta el segundo perfil de haz 35 emergente del segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28.

Para ello, la segunda unidad deflectora de luz 40 incluye un segundo espejo deflector de luz 42 que es movable hacia dentro o hacia fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión entrada 22 y un segundo colimador deflector de luz 44 configurado para, en el segundo estado conductor de luz, colimar el rayo de luz 14' emergente del segundo extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28 y guiarlo al segundo espejo deflector de luz 42 que en el segundo estado conductor de luz guía el rayo de luz 14' a la conexión de salida 22.

Por lo tanto, el rayo de luz 14' emergente de la fibra óptica multimodal 28 es recogido por el segundo colimador deflector de luz 44 y colimado. Para ello, el segundo extremo de fibra 34 se encuentra en el foco o bien en el plano focal del segundo colimador deflector de luz 44. El segundo colimador deflector de luz 44 presenta una distancia focal f_{Lk2} de 60 mm. El rayo de luz 14' colimado incide, a continuación, en el segundo espejo deflector de luz 42. El segundo espejo deflector de luz 42 incluye una superficie de espejo altamente reflectante y plana para la longitud de onda λ del rayo de luz, que en el segundo estado conductor de luz está de tal manera introducida en la trayectoria de rayos del rayo de luz 14' que la normal de superficie de la superficie de espejo del segundo espejo deflector de luz 42 incluye con la trayectoria de rayos del rayo de luz 14' un ángulo de 45° aproximadamente y desvía el rayo de luz 14' en 90° aproximadamente, de tal manera que en este proceso permanece colimado y se extiende de manera coaxial con el rayo de luz 14 entrante a través de la conexión entrada 22.

Mediante la colimación del rayo de luz 14', el perfil de haz 29 del rayo de luz 14' emergente a través de la conexión de salida 24 mantiene la forma nivelada, homogeneizada, casi homogénea y/o casi de sombrero de copa del perfil de haz 35 (véase la figura 2d), sin embargo el diámetro de rayo D_{29} del rayo de luz 14', dentro del cual la intensidad $I(r)$ del perfil de haz 29 del rayo de luz 14' colimado es mayor o igual a $1/e^2$ de la intensidad máxima I_{29} es ahora más o menos 9,6 mm (véanse las figuras 1b y 2b).

El primer y segundo espejo deflector de luz 36, 42 están montados sobre carros de traslación (inglés: translation stages) (no mostrados en detalle), que permiten un movimiento lineal preciso del primer y del segundo espejo deflector de luz 36, 42 perpendicular a la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión entrada 22. Los carros de transacción cumplen las especificaciones de precisión requeridos para el segundo estado conductor de luz respecto de la estabilidad y reproducibilidad. El primer y segundo espejo deflector de luz 36, 42 se encuentran en el primer estado conductor de luz fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 entrante a través de la conexión de entrada 22.

El dispositivo óptico de irradiación 10 incluye, además, un primer componente óptico 46 conectado en la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 o 14' (según el estado conductor de luz) aguas abajo del dispositivo de conmutación 26 y un segundo componente óptico 48 conectado en la trayectoria de rayos del rayo de luz 14 o 14' aguas abajo del primer componente óptico 46.

La conexión de salida 24 está configurada como tubo cilindrosimétrico al cual el primer componente óptico 46 está embridado de tal manera que el eje óptico del primer componente óptico 46 se extienda de manera coaxial respecto del eje de simetría de la conexión de salida 24.

El primer y el segundo componente óptico 46, 48 se usan para enfocar el rayo de luz 14 o 14' emergente de la conexión de salida 24 en un foco 50 y para el guiado tridimensional del foco en el espacio. En particular, el primer y segundo componente óptico 46, 48 están configurados para enfocar el rayo de luz 14, 14' sobre cualquier punto dentro de un campo de escaneado 52. Para que el rayo de luz 14, 14' pueda ser enfocado en cualquier punto dentro

del campo de escaneado 52, la posición espacial del foco 50 es ajustable en tres dimensiones espaciales mediante el primer y el segundo componente óptico 46, 48.

Para ello, el primer componente óptico 46 ajusta la posición z del foco 50 de manera axial respecto de la normal a la superficie del campo de escaneado 52. Con este propósito, el primer componente óptico 46 incluye una lente 54 desplazable a lo largo del eje óptico del primer componente óptico 46. El segundo componente óptico 48 ajusta lateralmente las posiciones x e y del foco 50 respecto de la normal a la superficie del campo de escaneado 52. Para ello, el segundo componente 48 incluye dos espejos 48a, en cada caso giratorios sobre un eje de giro, estando los ejes de giro situados perpendiculares uno respecto del otro. Para mayor claridad, las figuras 1a, 1b y 3 muestran solamente uno de los dos espejos 48a. Por ejemplo, el segundo componente óptico 48a está configurado como escáner de galvanómetro. Las posiciones x, y, z se muestran en las figuras 1a, 1b y 3 mediante un sistema de coordenadas.

Preferentemente, el primer y el segundo componente óptico 46, 48 están configurados para enfocar el rayo de luz 14, 14' en cualquier punto dentro de un campo de escaneado 52 plana, o sea no curvado. Para ello, la configuración del primer componente óptico 46 permite prescindir de un objetivo f-theta para la el enfoque del rayo de luz 14, 14'. El campo de escaneado 52 mide, por ejemplo, una superficie cuadrada de más o menos 300 mm x 300 mm.

El primer componente óptico 46 está, además, configurado para ensanchar el rayo de luz 14, 14'. El factor ensanchado es, por ejemplo, 1,68. La distancia focal del primer componente óptico 46, o sea la distancia del campo de escaneado 52 a la superficie óptica del primer componente óptico 46 que a lo largo de la trayectoria de rayos del rayo de luz 14, 14' esté más próximo al campo de escaneado 52 es, por ejemplo, de 636 mm.

En el primer estado conductor de luz, el sistema compuesto de un colimador de entrada 18, el primer y el segundo componente óptico 46, 48 reproducen de manera nítida el extremo de fibra 17 de la fibra óptica monomodal 16 en el campo de escaneado 52. Por lo tanto, también el perfil de haz 20 del rayo de luz 14 emergente de la fibra óptica monomodal 16 es reproducido nítidamente sobre el campo de escaneado 52 mediante el sistema 18, 46, 48.

Contrariamente, en el segundo estado conductor de luz, el sistema compuesto del segundo colimador conductor de luz 44, el segundo espejo deflector de luz 42, el primer y el segundo componente óptico 46, 48 reproducen de manera nítida el extremo de fibra 34 de la fibra óptica multimodal 28 en el campo de escaneado 52. Por lo tanto, también el perfil de haz 35 del rayo de luz 14' emergente de la fibra óptica multimodal 28 es reproducido nítidamente en el campo de escaneado 52 mediante el sistema 42, 44, 46, 48.

En la figura 3 se muestra un equipo 100 para la fabricación de piezas mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima. El dispositivo óptico de irradiación 10 está conectado con el equipo 100 de tal manera que el rayo de luz 14 o 14' (según el estado conductor de luz) disponible mediante el dispositivo óptico de irradiación 10 sea entregado a través de una ventana 110 a una cámara de polvo 120. El equipo 100 incluye dentro de la cámara de polvo 120 un sustrato 130 sobre el que se pueden aplicar capas de polvo 140 del polvo de materia prima. El dispositivo óptico de irradiación 10 está configurado y dispuesto de tal manera en el equipo para irradiar mediante el foco 50 del rayo de luz 14 o 14' una capa de polvo 140 aplicada sobre el sustrato 130, para del polvo de materia prima fabricar una pieza tridimensional mediante un procedimiento generativo de construcción.

El dispositivo óptico de irradiación 10 puede incluir una unidad de entrada (no mostrada en detalle) configurada para registrar datos (por ejemplo, datos CAD) representativos de la pieza a fabricar. Además, el dispositivo óptico de irradiación 10 puede incluir una unidad de control (tampoco mostrada en detalle) que está conectada con la unidad de entrada y configurada para conmutar el dispositivo de conmutación 26 entre el primer estado conductor de luz y el segundo estado conductor de luz en función de los datos representativos de la pieza a fabricar registradas por la unidad de entrada.

El perfil de rayos 20 mostrado en la figura 2a es apropiado para un procesamiento detallado y preciso (exposición o irradiación) en los contornos exteriores, es decir en el sector envolvente de la capa de polvo. Contrariamente, el perfil de rayos 35 mostrado en la figura 2c es apropiado para un procesamiento plano (exposición o irradiación) en el sector de núcleo de la capa de polvo.

Por lo tanto, el dispositivo de comunicación 26 se encuentra en el primer estado conductor de luz (véase la figura 1a) cuando son generados los contornos exteriores, es decir el sector envolvente de la pieza a fabricar. Contrariamente, el dispositivo de conmutación 26 se encuentra en el segundo estado conductor de luz (véase la figura 1b) cuando se produce una exposición plana en el sector de núcleo de la capa de polvo.

Para evitar influencias térmicas, mecánicas y/o acústicas sobre el modo de funcionamiento del dispositivo de conmutación 26, el dispositivo de conmutación 26 puede estar encapsulado con ayuda de una carcasa 45 mostrada con línea de trazos en las figuras 1a, 1b y 3. La carcasa 45 está aislada térmica, mecánica y/o acústicamente respecto del entorno. Además, la temperatura dentro de la carcasa 45 puede ser mantenida estable mediante elementos apropiados para ello.

La conexión entrada 22 y la conexión de salida de 24 están conectadas, permanentemente, por ejemplo mediante atornillado, con la carcasa 45 del dispositivo de conmutación 26.

En tanto no se indique explícitamente lo contrario, las mismas referencias numéricas de las figuras se usan para los mismos elementos o los que tengan el mismo efecto. Por lo demás, es posible cualquier combinación de las características detalladas en las figuras.

5

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo óptico de irradiación (10) para un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante irradiación de capas de polvo de un polvo de materia prima por medio de radiación láser, incluyendo:

-un láser (12) para la generación de un rayo de luz (14), cuyo espectro como longitud de onda central (λ) es un valor mediano, caracterizado por:

- una fibra óptica multimodal (28) con una longitud de onda cut-off- $(\lambda_{CO,MM})$ para la longitud de onda central (λ) de un rayo de luz (14), entrante a través de una conexión de entrada (22), que presenta un primer perfil de haz (20, 23) para el guiado multimodal en el modo fundamental y, adicionalmente, en uno o más modos de orden superior, siendo la longitud de onda central (λ) del rayo de luz (14) más corta que la longitud de onda cut-off- $(\lambda_{CO,MM})$ de la fibra óptica (28), y

- un dispositivo óptico de conmutación (26) que para una estrategia camisa - núcleo es, opcionalmente, conmutable entre un primer estado conductor de luz y un segundo estado conductor de luz,

estando el dispositivo de conmutación (26) configurado para, en el primer estado conductor de luz, guiar el rayo de luz (14) entrante a través de una conexión de entrada (22) a una conexión de salida (24) de tal manera que el rayo de luz (14) presenta, al emerger de la conexión de salida (24), el primer perfil de haz (23), y en el segundo estado conductor de luz, guiar el rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22) a la conexión de salida (24) mediante la fibra óptica multimodal (28) de tal manera que el rayo de luz (14') presenta, al emerger de la conexión de salida (24), en la fibra óptica multimodal mediante una guía multimodal, un segundo perfil de haz (29) diferente del primer perfil de haz (23) y una anchura (D_{23}) caracterizadora del primer perfil de haz (23) que en la distribución de intensidad lateral del primer perfil de haz (23) es más angosto que una anchura caracterizadora (D_{29}) del segundo perfil de haz (29) en la distribución de intensidad lateral del segundo perfil de haz (29).

2. Dispositivo óptico de irradiación según la reivindicación 1, incluyendo el dispositivo de conmutación (26) una primera unidad deflectora de luz (30) configurada para guiar, en el segundo estado deflector de luz del dispositivo de conmutación (26), el rayo de luz (14) que presenta el primer perfil de haz (23), entrante a través de la conexión de entrada (22), a un primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28), de tal manera que el rayo de luz (14') presenta el segundo perfil de haz (29) al emerger de un segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28), y el dispositivo de conmutación (26) incluye, además, una segunda unidad deflectora de luz (40) configurada para, en el segundo estado conductor de luz del dispositivo de conmutación (26), desviar a la conexión de salida (24) el rayo de luz (14') que presenta el segundo perfil de haz (29, 35) emergente del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28).

3. Dispositivo óptico de irradiación según la reivindicación 2, incluyendo la primera unidad deflectora de luz (30) del dispositivo de conmutación (26) un primer espejo deflector de luz (36) que puede ser movido hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22), y un primer colimador deflector de luz (38) configurado para, en el segundo estado conductor de luz, enfocar el rayo de luz (14) guiado mediante el primer espejo deflector de luz (36) en el primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28), y la segunda unidad deflectora de luz (40) del dispositivo de conmutación (26) incluyendo un segundo espejo deflector de luz (42) que es movable hacia dentro o hacia fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22) y un segundo colimador deflector de luz (44) configurado para, en el segundo estado conductor de luz, colimar el rayo de luz (14') emergente del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28) y guiarlo al segundo espejo deflector de luz (42) que en el segundo estado conductor de luz guía el rayo de luz (14') a la conexión de salida (24).

4. Dispositivo óptico de irradiación según una de las reivindicaciones 1 a 3, incluyendo, además:

- una fibra óptica monomodal (16) apropiada para el guiado monomodal de la longitud de onda central (λ) del rayo de luz (14) generado, y

- un colimador de entrada (18) configurado para colimar el rayo de luz (14) emergente de la fibra óptica monomodal (16) y guiarlo a través de la conexión de entrada (22).

5. Dispositivo óptico de irradiación según la reivindicación 4, estando el láser (12) configurado para generar el rayo de luz (14) con una longitud de onda central (λ) que es más larga que una longitud de onda cut-off ($\lambda_{CO,SM}$) de la fibra óptica monomodal (16) necesaria para el guiado monomodal.

6. Dispositivo óptico de irradiación según las reivindicaciones 4 o 5, estando un extremo de fibra (17) de la fibra óptica monomodal (16), el colimador de entrada (18), la primera unidad deflectora de luz (30) y el primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28) dispuestos entre sí de tal manera que el rayo de luz (14'), al emerger del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28), presenta un segundo perfil de haz (29, 35) nivelado, homogenizado, casi homogéneo y/o casi con forma de sombrero de copa.

7. Dispositivo óptico de irradiación según una de las reivindicaciones 4 a 6, incluyendo, además:

- componentes ópticos (46, 48, 48a, 54) para enfocar el rayo de luz (14, 14') emergente de la conexión de salida en un foco (50) y para el guiado tridimensional del foco (50) en el espacio.

5 8. Procedimiento para la operación de un equipo óptico de irradiación para un equipo para la fabricación de piezas tridimensionales mediante la irradiación por rayos láser de capas de polvo de un polvo de materia prima, con los pasos:

- generación de un rayo de luz (14), cuyo espectro como longitud de onda central (λ) es un valor mediano, y
- guiado a través de una conexión de entrada (22) del rayo de luz (14) que presenta la longitud de onda central (λ) y un primer perfil de haz (20, 23),

caracterizado por:

- puesta a disposición de una fibra óptica multimodal (28) con una longitud de onda cut-off- $(\lambda_{CO,MM})$ apropiada para la longitud de onda central (λ) del rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22), para el guiado multimodal en el modo fundamental y, adicionalmente, en uno o más modos de orden superior, siendo la longitud de onda central (λ) del rayo de luz (14) más corta que la longitud de onda cut-off- $(\lambda_{CO,MM})$ de la fibra óptica (28), y

- conmutación opcional mediante un dispositivo de conmutación (26) para una estrategia camisa - núcleo entre un primer estado conductor de luz y un segundo estado conductor de luz,

siendo el rayo de luz (14) entrante guiado en el primer estado de conducción a través de la primera conexión de entrada (22), a una conexión de salida (24) de tal manera que el rayo de luz (14) presenta, al emerger de la conexión de salida (24), el primer perfil de haz (23), y en el segundo estado conductor de luz, guiar el rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22) de tal manera a la conexión de salida (24) mediante la fibra óptica multimodal (28), que el rayo de luz (14') presenta, al emerger de la conexión de salida (24), en la fibra óptica multimodal (28) mediante una guía multimodal un segundo perfil de haz (29) diferente del primer perfil de haz (23) y una anchura (D_{23}) caracterizadora del primer perfil de haz (23) que en la distribución de intensidad lateral del primer perfil de haz (23) es más angosto que una anchura caracterizadora (D_{29}) del segundo perfil de haz (29) en la distribución de intensidad lateral del segundo perfil de haz (29).

9. Procedimiento según la reivindicación 8, siendo en el segundo estado de guiado de luz del dispositivo de conmutación (26) el rayo de luz (14) que presenta el primer perfil de haz (20, 23), entrante a través de la conexión de entrada (22), guiado a un primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28) mediante una primera unidad deflectora de luz (30) del dispositivo de conmutación (26) de tal manera que el rayo de luz (14') presenta el segundo perfil de haz (29, 35) al emerger de un segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28) y, en el segundo estado conductor de luz del dispositivo de conmutación (26), el rayo de luz (14') que presenta el segundo perfil de haz (29, 35), emergente del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28) guiado mediante una segunda unidad deflectora de luz (40) del dispositivo de conmutación (26) a la conexión de salida (24).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el cual se mueve entre el primer y el segundo estado conductor de luz un primer espejo deflector de luz (36) de la primera unidad deflectora de luz (30) hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22) y en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz (14) guiado mediante el primer espejo deflector de luz (36) es enfocado mediante un primer colimador deflector de luz (38) de la primera unidad deflectora de luz (30) en el primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28), y entre el primer y el segundo estado conductor de luz un segundo espejo deflector de luz (42) de la segunda unidad deflectora de luz (40) es movido hacia dentro o fuera de la trayectoria de rayos del rayo de luz (14) entrante a través de la conexión de entrada (22) y en el segundo estado conductor de luz, el rayo de luz (14') emergente del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28) es colimado mediante un segundo colimador deflector de luz (44) de la segunda unidad deflectora de luz (40) y guiado al segundo espejo deflector de luz (42) y guiado mediante el segundo espejo deflector de luz (42) a la conexión de salida (24).

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 10, incluyendo, además, los pasos:

- guiado del rayo de luz (14) generado mediante una fibra óptica monomodal (16) apropiada para la longitud de onda central (λ) del rayo de luz (14) generado para el guiado monomodal de tal manera que el rayo de luz (14) presenta, al emerger de la fibra óptica monomodal (16), un primer perfil de haz (20, 23) mediante el guiado monomodal en la fibra óptica monomodal (16), y

- colimado del rayo de luz (14) emergente de la fibra óptica monomodal (16) y guiado del rayo de luz (14) colimado a través de la conexión de entrada (22) mediante un colimador de entrada (18).

12. Procedimiento según la reivindicación 11, siendo mediante el láser (12) generado el rayo de luz (14) con una longitud de onda central (λ) que es más larga que una longitud de onda cut-off ($\lambda_{CO,SM}$) de la fibra óptica monomodal (16) necesaria para el guiado monomodal.

13. Procedimiento según las reivindicaciones 11 o 12, siendo un extremo de fibra (17) de la fibra óptica monomodal (16), el colimador de entrada (18), la primera unidad deflectora de luz (30) y el primer extremo de fibra (32) de la fibra óptica multimodal (28) dispuestos entre sí de tal manera en el segundo estado conductor de luz que el rayo de luz (14'), al emerger del segundo extremo de fibra (34) de la fibra óptica multimodal (28) presenta un segundo perfil de haz (29, 35) nivelado, homogenizado, casi homogéneo y/o casi con forma de sombrero de copa.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 13, incluyendo, además, los pasos:

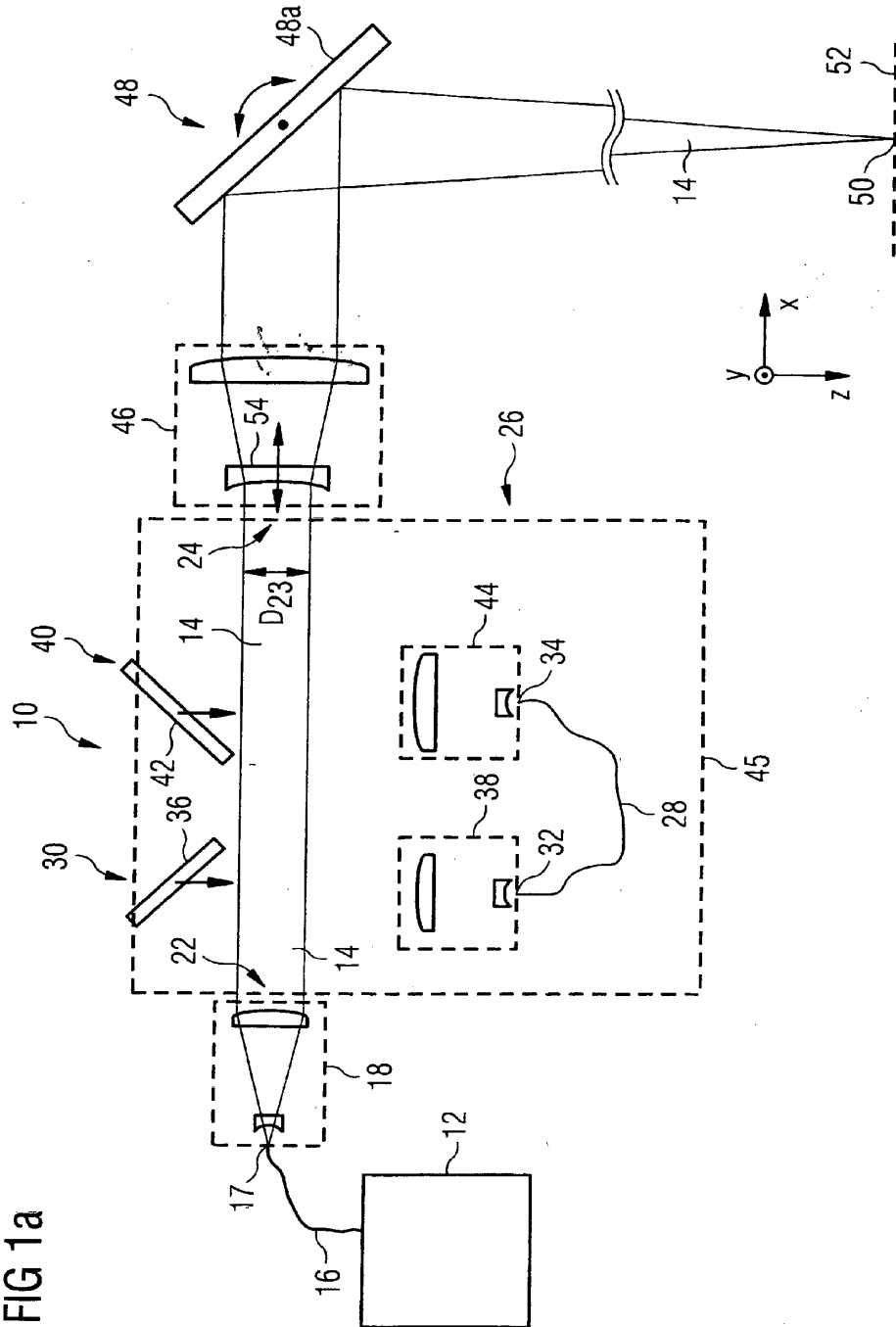
- enfocado del rayo de luz (14, 14') emergente de la conexión de salida (24) en un foco (50) y guiado tridimensional del foco (50) en el espacio mediante componentes ópticos (46, 38, 48a, 54).

15. Equipo (100) para la fabricación de piezas tridimensionales mediante irradiación de capas de polvo de un polvo de materia prima por medio de radiación láser, incluyendo:

- un sustrato (130) sobre el cual es posible aplicar capas de polvo (140) de un polvo de materia prima y

- un dispositivo óptico de irradiación (10) según una de las reivindicaciones 1 a 7, estando el dispositivo óptico de irradiación (10) configurado y dispuesto de tal manera para irradiar mediante el rayo de luz (14, 14') una capa de polvo (140) aplicada sobre el sustrato 130, para del polvo de materia prima fabricar una pieza tridimensional mediante un procedimiento generativo de construcción.

FIG 1a



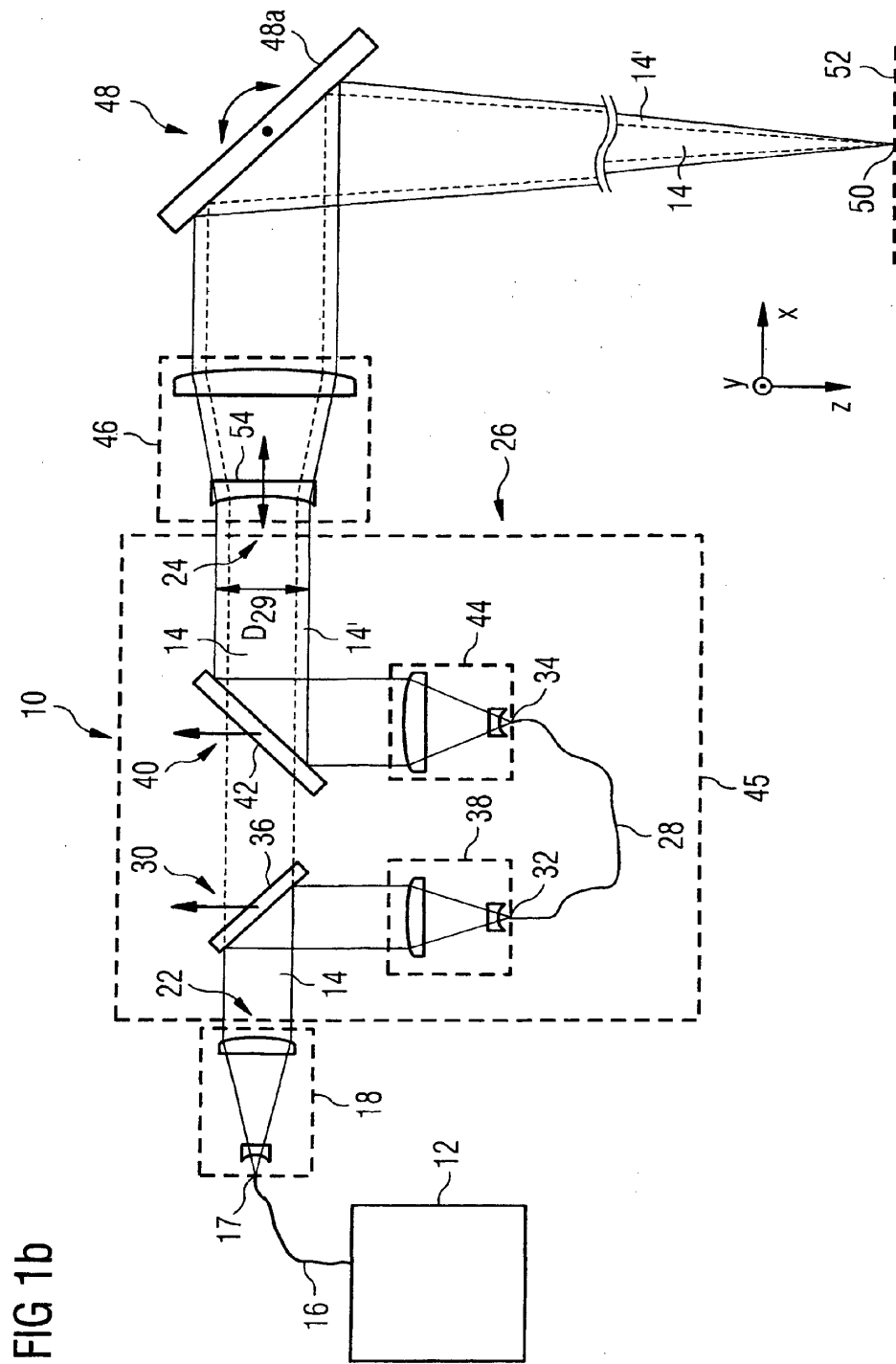


FIG 2a

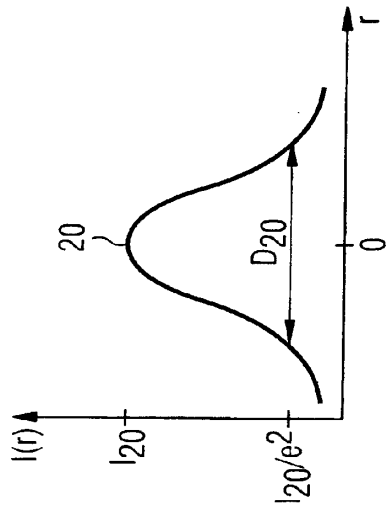


FIG 2b

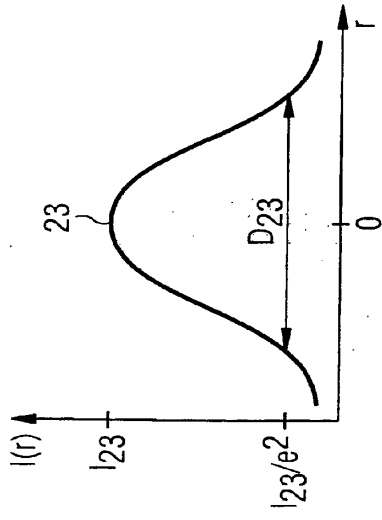


FIG 2c

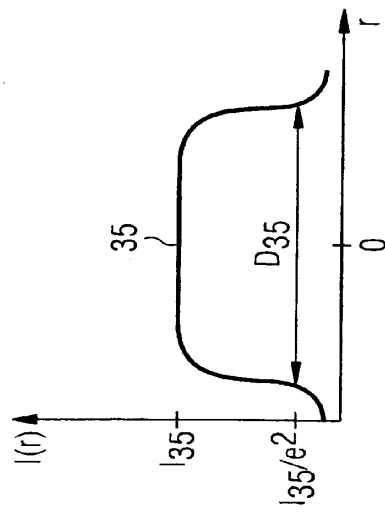


FIG 2d

