

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 598**

51 Int. Cl.:

B29C 64/135 (2007.01)

B29C 64/268 (2007.01)

B29C 64/273 (2007.01)

B29C 64/286 (2007.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

B29C 64/264 (2007.01)

G03F 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2021** **E 21020496 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 4163083**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.10.2024

73 Titular/es:

**UPNANO GMBH (100.0%)
Modecenterstrasse 22, Top Nr. D 36
1030 Wien, AT**

72 Inventor/es:

GRUBER, PETER

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 982 598 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

Procedimiento y dispositivo de fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional

5 La invención se refiere a un procedimiento de fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional, en el que un haz emitido por una fuente de radiación electromagnética se enfoca en un punto focal dentro de un material por medio de una unidad de formación de imágenes ópticas y el punto focal se desplaza por medio de una unidad de deflexión dispuesta delante de la unidad de formación de imágenes ópticas en la dirección del haz, como resultado de lo cual se solidifica de forma sucesiva en cada caso un elemento volumétrico del material que se encuentra en el punto focal mediante absorción multifotónica.

La invención se refiere también a un dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional.

15 Un procedimiento para formar un componente en el que la solidificación de un material fotosensible se realiza mediante absorción multifotónica se conoce, por ejemplo, por el documento DE 10111422 A1. Para ello, se irradia con un haz láser enfocado el baño del material fotosensible, cumpliéndose las condiciones de irradiación para un proceso de absorción multifotónica que desencadene la solidificación solo en el entorno inmediato del foco, de tal manera que el foco del haz es guiado dentro del volumen del baño, según los datos geométricos del cuerpo moldeado que se va a producir, a las ubicaciones que se van a solidificar. El documento WO 2015/197794 A1 divulga un procedimiento para la fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional en el que un haz emitido por una fuente de radiación electromagnética se enfoca en un punto focal dentro de un material por medio de una unidad de formación de imágenes ópticas.

25 A este respecto, en el punto focal respectivo se solidifica un elemento volumétrico del material, adhiriéndose elementos volumétricos adyacentes entre sí y construyéndose el componente mediante la solidificación sucesiva de elementos volumétricos adyacentes. La construcción del componente se puede realizar capa por capa, es decir, los elementos volumétricos de una primera capa se solidifican antes de que se solidifiquen los elementos volumétricos de la capa siguiente.

30 Los dispositivos de irradiación para procedimientos de absorción multifotónica comprenden una óptica para enfocar un haz láser y un dispositivo de deflexión para la deflexión del haz láser. El dispositivo de deflexión está diseñado para enfocar el haz sucesivamente en puntos focales dentro del material que se encuentran en un, y el mismo, plano, que se extiende preferentemente de forma perpendicular a la dirección de incidencia del haz en el material. En un sistema de coordenadas x,y,z , este plano también se conoce como plano x,y . Los elementos volumétricos solidificados generados por la deflexión del haz en el plano x,y forman una capa del componente.

35 Para la construcción de una capa siguiente se realiza un cambio de la posición relativa de la óptica de enfoque con respecto al componente en la dirección z , que corresponde a una dirección de incidencia de dicho haz por lo menos un haz en el material y se extiende perpendicularmente al plano x,y . Mediante el ajuste generalmente motorizado de la óptica de enfoque con respecto al componente, el punto focal se desplaza a un nuevo plano x,y , que está espaciado con respecto al plano x,y anterior en la dirección z por el espesor de capa deseado.

45 La estructuración de un material adecuado mediante absorción multifotónica ofrece la ventaja de una resolución de estructura enormemente alta, pudiéndose lograr elementos volumétricos con tamaños estructurales mínimos de hasta $50\text{ nm} \times 50\text{ nm} \times 50\text{ nm}$. Sin embargo, debido al pequeño volumen del punto focal, el rendimiento de dicho procedimiento es muy reducido, dado que por ejemplo para un volumen de 1 mm^3 deben irradiarse en total más de 10^9 puntos. Esto genera tiempos de construcción muy largos, lo que es la razón principal del poco uso industrial de procedimientos de absorción multifotónica.

50 Para aumentar el rendimiento del componente sin perder la posibilidad de una alta resolución estructural, se ha propuesto ya variar el volumen del punto focal por lo menos una vez durante la construcción del componente, de modo que el componente se construya a partir de elementos volumétricos solidificados de diferentes volúmenes. Gracias al volumen variable del punto focal son posibles resoluciones altas (en caso de un volumen pequeño del punto focal). Simultáneamente (en caso de un volumen grande del punto focal) puede lograrse una alta velocidad de escritura (medida en mm^3/h). Mediante la variación del volumen del punto focal, se puede combinar una alta resolución con un alto rendimiento. A este respecto, la variación del volumen del punto focal se puede utilizar, por ejemplo, usando un volumen de punto focal grande dentro del componente que se va a construir para aumentar el rendimiento y usando un volumen de punto focal más pequeño en la superficie del componente para formar la superficie del componente con una resolución elevada. Un aumento del volumen del punto focal permite un mayor rendimiento de estructuración, dado que se incrementa el volumen de material solidificado en un proceso de irradiación. Para mantener una alta resolución con un alto rendimiento, se pueden usar volúmenes de punto focal pequeños para estructuras y superficies más finas, y se pueden usar volúmenes de punto focal más grandes para estructuras gruesas y/o para llenar espacios interiores. En el documento WO 2018/006108 A1, se describen procedimientos y dispositivos para cambiar el volumen del punto focal.

La invención tiene como objetivo perfeccionar un procedimiento y un dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional de tal manera que se aumente adicionalmente la velocidad de escritura (medida en mm^3/h).

5 Para alcanzar este objetivo, la invención prevé, en un procedimiento del tipo mencionado al comienzo, que el haz se divida en una pluralidad de haces por medio de un divisor de haz, cada uno de los cuales se enfoca sucesivamente en puntos focales dentro del material por medio de la unidad de deflexión y la unidad de formación de imágenes ópticas, estando previsto un número de módulos de moduladores acústico-ópticos correspondiente al número de haces, de modo que en la trayectoria de haz de cada haz esté dispuesto un módulo de moduladores acústico-ópticos que difracte el haz.

10 La invención permite, por lo tanto, la escritura en paralelo con varios haces, de modo que la velocidad de escritura se multiplica de forma correspondiente por el número de haces. A este respecto, el divisor de haz está diseñado para dividir el haz en por lo menos dos haces. El divisor de haz está diseñado preferentemente para dividir el haz en 2, 4, 8, 16, 32 o 64 haces. También es posible cualquier otro número de haces, por ejemplo un número impar de haces.

20 Debido a que en la trayectoria de haz de cada haz está dispuesto un módulo de moduladores acústico-ópticos, puede influirse en cada haz de forma independiente de los otros haces, preferentemente de tal manera que la posición del punto focal del haz respectivo pueda ajustarse independientemente de los puntos focales de los otros haces o que la intensidad de radiación del haz respectivo se puede ajustar independientemente de los puntos focales de los otros haces.

25 Dependiendo de la configuración de los módulos de moduladores acústico-ópticos, el punto focal se puede ajustar en cualquier dirección espacial. Preferentemente está previsto a este respecto que por lo menos uno de los módulos de moduladores acústico-ópticos se controle para desplazar el punto focal del haz asociado en la dirección z, correspondiendo la dirección z a una dirección de incidencia del haz respectivo en el material.

30 Como alternativa o adicionalmente, por lo menos uno de los módulos de moduladores acústico-ópticos puede controlarse para desplazar el punto focal del haz asociado en una dirección x y/o y, correspondiendo las direcciones x e y a dos direcciones ortogonales en un plano perpendicular a la dirección de incidencia del haz respectivo.

35 Mediante la disposición de por lo menos un modulador acústico-óptico en la trayectoria de haz de cada haz, cada punto focal puede desplazarse de forma continua y a alta velocidad en la dirección x, y y/o z. Esto permite elegir libremente la posición de un elemento volumétrico y, por lo tanto, también disponer elementos volumétricos fuera de las posiciones z definidas por el plano de capa, para lograr una adaptación óptima a la forma de la superficie que se debe conseguir en cada caso. El desplazamiento del punto focal en la dirección x, y y/o z no requiere ningún ajuste mecánico de la unidad de formación de imágenes ópticas con respecto al componente y, por lo tanto, es independiente del cambio de una primera capa a la siguiente. En particular, el punto focal se puede desplazar sin el uso de piezas móviles, sino únicamente mediante el efecto del módulo de moduladores acústico-ópticos mencionado anteriormente.

45 Un modulador acústico-óptico es un componente óptico que influye en la frecuencia y la dirección de propagación o la intensidad de la luz incidente. Para ello se crea en un cuerpo sólido transparente mediante ondas sonoras una rejilla óptica, en la que se difracta el haz luminoso. Esto se puede utilizar en configuraciones conocidas como deflectores acústico-ópticos, para producir una deflexión del haz, dependiendo el ángulo de deflexión de las longitudes de onda relativas de las ondas luminosas y sonoras en el sólido transparente. A este respecto, el ángulo de deflexión se puede ajustar cambiando la frecuencia de la onda sonora. Esto se puede utilizar para el ajuste fino descrito anteriormente del punto focal en la dirección x y/o.

50 El desplazamiento en la dirección z se realiza, por ejemplo, generando una onda sonora en el deflector acústico-óptico, cuya frecuencia se modula periódicamente. Mediante la variación periódica de la frecuencia de la onda sonora generada en el sólido transparente se produce en un deflector acústico-óptico el conocido como "efecto de lente cilíndrica", que enfoca el haz luminoso incidente del mismo modo que una lente cilíndrica. Mediante un control específico de la modulación periódica de la frecuencia se puede modificar la distancia focal de la lente cilíndrica y, de esta forma, la divergencia del haz que emerge del deflector acústico-óptico. El haz con la divergencia ajustada de esta forma se guía a través de una unidad de imagen del dispositivo de irradiación, en la que el haz se hace incidir de forma focalizada en el material por medio de un objetivo. El punto focal del haz introducido en el material varía, a este respecto, en la dirección z en función de la divergencia.

60 Una configuración preferida prevé que la modulación de la frecuencia de la onda sonora presente un gradiente de frecuencia de onda sonora constante. Esto favorece la formación del conocido como "efecto de lente cilíndrica".

65 Preferentemente, está previsto además que el punto focal se desplace mediante un cambio del gradiente de frecuencia de la onda sonora (constante) de la modulación de frecuencia. El cambio en el gradiente de frecuencia de la onda sonora se puede lograr, por ejemplo, cambiando el ancho de banda de la modulación de frecuencia

mientras se mantiene la misma duración del periodo de la modulación periódica. Alternativamente, el ancho de banda se puede mantener constante y el cambio en el gradiente de frecuencia de la onda sonora se puede provocar mediante un cambio de la duración del periodo.

5 La frecuencia fundamental de la onda sonora es en el caso de un sólido transparente fabricado, por ejemplo, de TeO_2 , preferentemente de 50 MHz o superior, en particular > 100 MHz, en particular de 100-150 MHz. La frecuencia fundamental se modula, por ejemplo, con por lo menos $\pm 10\%$, preferentemente ± 20 -30%. En el caso de una frecuencia fundamental de, por ejemplo, 110 MHz, esta se modula periódicamente, por ejemplo, con ± 25 MHz, es decir, el ancho de banda de la modulación de frecuencia es de 50 MHz y, por lo tanto, la frecuencia de la onda sonora se modula periódicamente entre 85 MHz y 135 MHz. Tal como ya se ha mencionado, la variación del gradiente de frecuencia de las ondas sonoras determina la distancia focal de la lente cilíndrica, siendo la frecuencia de modulación preferentemente de por lo menos 100 kHz, en particular de 0,1 a 10 MHz.

15 Además, también se puede utilizar un módulo de moduladores acústico-ópticos para cambiar la intensidad del haz introducido en el material. El cambio también puede incluir una reducción de la intensidad de la radiación a cero para que los haces provenientes del divisor de haz puedan encenderse y apagarse individualmente según sea necesario. Para ajustar la intensidad de la radiación, se cambia la amplitud de la onda sonora introducida en el modulador acústico-óptico.

20 Un módulo de moduladores acústico-ópticos comprende por lo menos un modulador acústico-óptico, tal como, por ejemplo, uno, dos o cuatro moduladores acústico-ópticos. En el caso de por lo menos dos moduladores acústico-ópticos, cada modulador puede estar configurado como un componente independiente, a través del cual se irradia uno tras otro el haz respectivo. Alternativamente, se pueden combinar funcionalmente por lo menos dos moduladores acústico-ópticos en un único componente modulador (conocido como versión multicanal), que presenta un cristal con la correspondiente entrada de sonido para cada canal.

30 Preferentemente, en los módulos de moduladores acústico-ópticos se utilizan en cada caso por lo menos dos moduladores acústico-ópticos dispuestos uno detrás de otro en la trayectoria del haz, presentando preferentemente los, por lo menos dos, moduladores acústico-ópticos direcciones de deflexión del haz que se extienden de forma sustancialmente perpendicular entre sí o una orientación de deflexión del haz idéntica. La combinación de dos moduladores acústico-ópticos, preferentemente dispuestos uno detrás de otro de forma perpendicular entre sí, elimina el astigmatismo que de otro modo se produciría con un solo modulador. En el caso de una disposición de dos moduladores acústico-ópticos en un plano, se duplica la posible trayectoria de ajuste del punto focal en las direcciones x e y. Según otra forma de realización preferida, pueden estar previstos cuatro moduladores acústico-ópticos dispuestos uno detrás de otro, de los cuales los dos primeros moduladores forman un primer par y los dos moduladores siguientes forman un segundo par. A este respecto, cada uno de los moduladores dentro de un par está diseñado con la misma orientación de deflexión del haz y los moduladores del primer par presentan una dirección de deflexión del haz que se extiende perpendicularmente con respecto a los moduladores del segundo par.

40 Mientras que el desplazamiento de los puntos focales por medio de los módulos de moduladores acústico-ópticos se utiliza para un posicionamiento fino de los puntos focales para solidificar elementos volumétricos, por ejemplo fuera de los puntos de retícula habituales (lo que se conoce como "litografía en escala de grises"), los haces de escritura se mueven por medio de una unidad de deflexión separada de los módulos de moduladores acústico-ópticos en las direcciones x e y a través de toda la zona de escritura. Una configuración preferida en este contexto prevé que los haces se sometan a una deflexión común en las direcciones x e y por medio de la unidad de deflexión, en particular un escáner galvanométrico, dispuesta detrás de los módulos de moduladores acústico-ópticos en la trayectoria del haz. Ventajosamente, la unidad de deflexión está dispuesta, a este respecto, en la trayectoria del haz entre los módulos de moduladores acústico-ópticos y la unidad de formación de imágenes ópticas. Para la deflexión bidimensional del haz o bien se puede desviar un espejo en dos direcciones o bien se colocan cerca uno del otro dos espejos de pie ortogonalmente giratorios, por medio de los cuales se refleja el haz. Además, entre los espejos es posible disponer un sistema de lentes, en particular una disposición 4f, de modo que el eje de rotación del primer espejo se proyecte sobre el segundo espejo, evitando así errores geométricos de imagen. Los dos espejos pueden accionarse respectivamente por medio de un accionamiento galvanométrico o por medio de un motor eléctrico. En cualquier caso, es esencial que todos los haces que se generan por el divisor de radiación y después pasan a través de un módulo de moduladores acústico-ópticos se deflecten por medio de una, y la misma, unidad de deflexión y después se enfoquen en el material usando una, y la misma, unidad de formación de imágenes ópticas.

60 El componente se construye preferentemente capa por capa con capas que se extienden en el plano x-y, comprendiendo el cambio de una capa a la siguiente capa el cambio de la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas con respecto al componente en la dirección z. Mediante el ajuste mecánico de la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas con respecto al componente se obtiene como resultado un ajuste aproximado de los puntos focales en la dirección z, es decir, el cambio de una capa a la siguiente. Sin embargo, para el ajuste de etapas intermedias en la dirección z, es decir, para el posicionamiento fino del punto focal en la dirección z, se cambian la posición de los puntos focales por medio de los módulos de

moduladores acústico-ópticos mencionados anteriormente.

Preferentemente se puede proceder a este respecto de tal manera que el punto focal se desplace en la dirección z por medio de los módulos de moduladores acústico-ópticos dentro del espesor de capa de una capa. A este respecto, dentro de una capa se pueden producir varias subcapas de elementos volumétricos dispuestas una encima de otra en la dirección z sin que sea necesario ajustar mecánicamente la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas con respecto al componente.

Según una aplicación preferida de la invención, por lo menos uno de los puntos focales se desplace en la dirección z por medio de los módulos de moduladores acústico-ópticos para formar un contorno exterior curvado del componente. Como alternativa o adicionalmente también se puede proceder de tal modo que por lo menos uno de los puntos focales se desplace en la dirección z por medio del módulo de moduladores acústico-ópticos para formar un contorno exterior del componente que discurra oblicuamente con respecto al plano x-y. A este respecto, el desplazamiento de por lo menos uno de los puntos focales en la dirección z puede seguir la forma de la superficie mediante el posicionamiento del punto focal en la zona del borde del componente a una distancia de la superficie del componente que se va a producir, que corresponde a la distancia del punto central imaginario del elemento volumétrico que se va a solidificar con respecto a la superficie exterior del elemento volumétrico.

Se obtiene un modo de procedimiento preferido cuando el material se encuentra sobre un soporte de material, tal como, por ejemplo, en una cubeta, y la irradiación del material se realiza desde abajo a través del soporte de material, que es por lo menos parcialmente transparente a la radiación. En este caso, se puede colocar una plataforma de construcción a una distancia del soporte de material y el componente se puede construir sobre la plataforma de construcción mediante la solidificación del material ubicado entre la plataforma de construcción y el soporte de material. Alternativamente también es posible efectuar la irradiación del material desde arriba.

En el contexto de la presente invención, el tiempo de construcción se puede acortar significativamente si las capas que se encuentran dentro del componente se construyen con un espesor de capa elevado y, por lo tanto, con elementos volumétricos de gran volumen y las zonas de borde se crean a partir de elementos volumétricos de pequeño volumen y en las zonas de los bordes se realiza adicionalmente un ajuste individual de la posición de los elementos volumétricos a lo largo de la dirección z para obtener una resolución estructural elevada en la superficie.

En un modo de procedimiento preferido, la variación del volumen de enfoque se realiza de tal manera que la relación volumétrica entre el volumen de punto focal más grande durante la fabricación de un componente y el volumen de punto focal más pequeño sea por lo menos 2, preferentemente por lo menos 5. Preferentemente está previsto que la variación del volumen del foco se realice en por lo menos una, preferentemente dos, en particular tres direcciones espaciales perpendiculares entre sí.

El cambio del volumen del punto focal se realiza preferentemente mediante la deflexión de los haces individuales por medio del módulo de moduladores acústico-ópticos asociado en una dirección transversal a la dirección de avance del respectivo haz de escritura, lo que es ocasionado por la unidad de deflexión, en particular el escáner galvanómetro. Si el escáner galvanométrico mueve el haz respectivo, por ejemplo en la dirección x, para solidificar sucesivamente elementos volumétricos que se encuentran uno tras otro en la dirección x, el módulo de moduladores acústico-ópticos asociado se puede controlar de tal manera que el haz se mueva en vaivén transversalmente a la misma, por ejemplo en la dirección y, a gran velocidad. A este respecto, la amplitud de dicho movimiento en vaivén determina la extensión del elemento volumétrico. Mediante un cambio en la amplitud se puede variar el volumen del punto focal o respectivamente, el volumen del elemento volumétrico que se va a solidificar. A este respecto, el movimiento en vaivén se realiza con una velocidad que corresponde a por lo menos a 5 veces, preferentemente a por lo menos 10 veces, la velocidad en la dirección de avance del haz de escritura, que se produce por la unidad de deflexión, en particular el escáner galvanométrico, en la dirección x. Se entiende que el procedimiento que se acaba de describir para cambiar el volumen del elemento volumétrico que se va a solidificar se puede llevar a cabo con una disposición invertida de las direcciones x e y, de modo que la unidad de deflexión siga moviendo el haz de escritura o, respectivamente, el punto focal en la dirección y y se realice un movimiento en vaivén rápido por medio del módulo de moduladores acústico-ópticos transversalmente a la misma, por ejemplo en la dirección x.

En el contexto de la invención se utiliza el principio de la absorción multifotónica para iniciar un proceso fotoquímico en el baño de material fotosensible. Los procedimientos de absorción multifotónica también comprenden, por ejemplo, procedimientos de absorción bifotónica. Como consecuencia de la reacción fotoquímica, se produce un cambio del material a por lo menos un estado diferente, lo que normalmente da como resultado una fotopolimerización. El principio de la absorción multifotónica se basa en que el proceso fotoquímico mencionado solo tiene lugar en aquellas zonas de la trayectoria del haz en las que existe una densidad fotónica suficiente para la absorción multifotónica. La densidad de fotones más elevada se obtiene en el punto focal del sistema de imagen óptico, de modo que la absorción multifotónica solo se produce con suficiente probabilidad en el punto focal. Fuera del punto focal, la densidad de fotones es inferior, por lo que la probabilidad de absorción multifotónica fuera del punto focal es demasiado baja como para provocar un cambio irreversible en el material mediante una reacción fotoquímica. La radiación electromagnética en la longitud de onda utilizada puede atravesar el material en gran

medida sin obstáculos y solo en el punto focal se produce una interacción entre el material fotosensible y la radiación electromagnética. El principio de la absorción multifotónica se describe, por ejemplo, por Zipfel et al, "Nonlinear magic: multiphoton microscopy in the biosciences", NATURE BIOTECHNOLOGY, VOLUMEN 21, NÚMERO 11, NOVIEMBRE DE 2003.

La fuente de radiación electromagnética puede ser preferentemente un haz láser colimado. El láser puede emitir tanto una como varias longitudes de onda fijas o variables. En particular, se trata de un láser continuo o pulsado con duraciones de pulso del orden de los nanosegundos, los picosegundos o los femtosegundos. A este respecto, un láser de femtosegundos pulsado ofrece la ventaja de que se requiere una potencia promedio más reducida para la absorción multifotónica.

Por material fotosensible se entiende cualquier material fluido o sólido en las condiciones de construcción que cambie a un segundo estado mediante la absorción multifotónica en el volumen del punto focal, por ejemplo mediante polimerización. A este respecto, el cambio de material debe limitarse al volumen del punto focal y su entorno inmediato. El cambio en las propiedades de una sustancia puede ser permanente y consistir, por ejemplo, en un cambio de estado líquido a sólido, pero también puede ser solo temporal. Incluso un cambio permanente puede ser reversible o irreversible. El cambio en las propiedades del material no tiene por qué ser obligatoriamente una transición completa de un estado a otro, sino que el material también puede encontrarse en una forma mixta de ambos estados.

La potencia de la radiación electromagnética y el tiempo de irradiación influyen en la calidad del componente producido. Mediante el ajuste de la potencia de radiación y/o el tiempo de irradiación se puede variar el volumen del punto focal dentro de un intervalo estrecho. Si la potencia de radiación es demasiado alta, se producen procesos adicionales que pueden provocar daños en el componente. Si la potencia de radiación es demasiado baja, no se pueden establecer cambios permanentes en las propiedades del material. Para cada material fotosensible existen parámetros típicos del proceso de construcción que están asociados con buenas propiedades del componente. En el contexto de la invención se fabrica preferentemente un componente con una potencia de radiación constante durante todo el proceso de construcción.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional, en particular para llevar a cabo un procedimiento según el primer aspecto de la invención, que comprende un soporte de material para un material solidificable y un dispositivo de irradiación que se puede controlar para la irradiación localmente selectiva del material solidificable con por lo menos un haz, caracterizado por que el dispositivo de irradiación comprende un divisor de haz para dividir un haz de entrada en una pluralidad de haces, una unidad de deflexión dispuesta detrás del divisor de haz en la trayectoria del haz y una unidad de formación de imágenes ópticas dispuesta detrás de la unidad de deflexión, para enfocar cada haz sucesivamente en puntos focales dentro del material, pudiendo solidificarse un elemento volumétrico del material que se encuentra en el punto focal mediante absorción multifotónica, en el que está previsto un número de módulos de moduladores acústico-ópticos correspondiente al número de haces, de modo que en la trayectoria de haz de cada haz esté dispuesto un módulo de moduladores acústico-ópticos, que comprende por lo menos un modulador acústico-óptico.

Los módulos de moduladores acústico-ópticos están diseñados preferentemente para desplazar el punto focal respectivo en la dirección z, correspondiendo la dirección z a una dirección de incidencia del haz asociado en el material.

La unidad de control de dicho por lo menos un módulo de moduladores acústico-ópticos comprende preferentemente un generador de frecuencia que está diseñado para modular periódicamente la frecuencia de la onda sonora.

Preferentemente está previsto, a este respecto, que el generador de frecuencia esté diseñado para modificar el gradiente de frecuencia de las ondas sonoras.

Preferentemente, está previsto además que los módulos de moduladores acústico-ópticos estén diseñados para desplazar el punto focal respectivo en una dirección x y/o y, correspondiendo las direcciones x e y a dos direcciones ortogonales en un plano perpendicular a la dirección de incidencia del haz respectivo.

Como ya se ha mencionado con respecto al procedimiento según la invención, es ventajoso que los módulos de moduladores acústico-ópticos comprendan cada uno por lo menos dos moduladores acústico-ópticos dispuestos uno detrás de otro en la trayectoria del haz, presentando dichos por lo menos dos moduladores acústico-ópticos preferentemente direcciones de su deflexión de haz que se extienden de forma sustancialmente perpendicular entre sí o una orientación idéntica de su deflexión de haz.

Además, la unidad de deflexión se puede disponer detrás de los módulos de moduladores acústico-ópticos en la trayectoria del haz, en particular formada por un escáner galvanométrico, que está diseñado para producir un desplazamiento común de los puntos focales en un plano x-y que se extiende transversalmente a la dirección z.

En particular, el dispositivo de irradiación puede estar diseñado para construir el componente capa por capa con capas que se extienden en el plano x-y, comprendiendo el cambio de una capa a la siguiente capa cambiar la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas con respecto al componente en la dirección z.

5 Preferentemente, el dispositivo de irradiación está diseñado de tal manera que el ajuste fino del punto focal en la dirección z se realiza dentro del espesor de capa de una capa por medio del modulador acústico-óptico.

10 Además puede estar previsto que el material se encuentre sobre un soporte de material, tal como, por ejemplo, en una cubeta, y que el material se irradie desde abajo a través del soporte de material por lo menos parcialmente transparente a la radiación.

15 Preferentemente, la plataforma de construcción está situada, a este respecto, de forma separada del soporte de material y el componente se construye sobre la plataforma de construcción mediante la solidificación de elementos volumétricos que se encuentran entre la plataforma de construcción y el soporte de material.

20 Es ventajoso que durante la construcción del componente se varíe el volumen del punto focal por lo menos una vez, de modo que el componente se construya a partir de elementos volumétricos solidificados de diferentes volúmenes.

La unidad de imagen puede estar configurada como lente f-theta o, preferentemente, estar compuesta por un objetivo de microscopía y una óptica de relé en disposición 4f, estando la unidad de deflexión y el objetivo situados en el plano focal de las lentes correspondientes.

25 La invención se explica a continuación con más detalle mediante ejemplos de realización representados esquemáticamente en las figuras. En las mismas, la figura 1 muestra una representación esquemática de un dispositivo según la invención, las figuras 2, 3 y 4 muestran una vista detallada de una configuración alternativa de un módulo de moduladores acústico-ópticos y la figura 5 muestra una representación esquemática de los puntos focales en el campo de imagen del dispositivo durante la fabricación de un componente.

30 En la figura 1, se designa con 1 un soporte sobre el que se va a construir un componente. El soporte está recubierto con un material fotopolimerizable 2, en el que se enfocan haces láser, enfocándose cada haz láser sucesivamente en puntos focales dentro del material fotopolimerizable, como resultado de lo cual un elemento volumétrico del material que se encuentra en el punto focal se solidifica mediante absorción multifotónica. Para ello se emite un haz láser a través de una fuente de radiación 3, se guía a través de un compresor de pulsos 4 y se divide en una pluralidad de haces (en el caso presente cuatro haces) en un divisor de radiación 5. Los haces se hacen incidir ahora en el material 2 por medio de un dispositivo de irradiación 6. Para ello, el dispositivo de irradiación 6 comprende una unidad de moduladores acústico-ópticos 7, un espejo deflector 8, un escáner galvanométrico 9 y una unidad de formación de imágenes ópticas 10 que comprende un objetivo que introduce los haces láser en el material 2 dentro de una zona de escritura.

35 La unidad de moduladores acústico-ópticos 7 comprende un número de módulos de moduladores acústico-ópticos 11 correspondiente al número de haces, cuyo por lo menos un modulador acústico-óptico divide el haz respectivo en un haz de orden cero y un haz de primer orden. El haz de orden cero se captura en una trampa de haces 12. El haz de primer orden se guía por medio de lentes de relé 13 y un elemento de deflexión 14 al espejo deflector 8, que guía los haces a la unidad de deflexión 9 (por ejemplo, un escáner galvanométrico), en la que los haces se reflejan sucesivamente en dos espejos 15. Los espejos 15 se accionan de forma que puedan pivotar alrededor de ejes de rotación que son ortogonales entre sí, de modo que los haces puedan desviarse tanto en la dirección x como en la dirección y. Los dos espejos 15 pueden accionarse respectivamente por medio de un accionamiento galvanométrico o un motor eléctrico. Los haces que emergen de la unidad de deflexión 9 alcanzan preferentemente a través de un sistema de lentes de relé opcional (no representado) el objetivo 10, que enfoca los haces en el material fotopolimerizable tal como ya se ha mencionado.

45 Para construir el componente capa por capa, los elementos volumétricos del material se solidifican una capa tras otra. Para construir una primera capa, los haces láser se enfocan sucesivamente en puntos focales, que están dispuestos en el plano focal del objetivo 10, dentro del material 2. A este respecto, la deflexión conjunta de los haces en el plano x,y se realiza por medio de la unidad de deflexión 9, estando limitada la zona de escritura por el objetivo 10. Para el cambio al plano siguiente, el objetivo 10 fijado a un soporte 16 se ajusta en la dirección z con respecto al soporte 1 mediante la distancia de subcapa de capa, que corresponde al espesor de la capa. Alternativamente, el soporte 1 también se puede ajustar con respecto a un objetivo 10 dispuesto de forma fija.

60 Si el componente que se va a producir es mayor en la dirección x y/o y que el área de escritura del objetivo 10, se construyen estructuras parciales del componente una al lado de otra (lo que se conoce como *stitching*). Para ello, el soporte 1 se dispone sobre una mesa en cruz que se puede desplazar en dirección x y/o y con respecto al dispositivo de irradiación 6.

Además, está prevista una unidad de control 17, que controla la unidad de moduladores acústico-ópticos 7, la unidad de deflexión 9, el ajustador de altura 16 y el soporte 1 fijado a la mesa en cruz.

Tal como se muestra en la figura 2, un módulo de moduladores acústico-ópticos 11 puede presentar dos moduladores acústico-ópticos 18 dispuestos uno detrás del otro, cuya dirección de deflexión del haz coincide. Esto tiene como resultado que la deflexión sea el doble que la de un modulador acústico-óptico individual y que la deflexión en las direcciones x, y y z se pueda controlar independientemente una de otra. Por lo tanto, se puede controlar cualquier punto dentro del intervalo de deflexión disponible y se posibilita el ajuste fino del punto focal en la dirección z. La desventaja de esta disposición es el astigmatismo que se produce debido a la lente cilíndrica del modulador acústico-óptico.

Los moduladores acústico-ópticos 11 forman respectivamente, a este respecto, un efecto de lente cilíndrico, que depende del gradiente de frecuencia de la onda sonora de la modulación de frecuencia. La distancia focal equivalente de la lente cilíndrica F_l se puede calcular de la forma siguiente:

$$F_l = \frac{v_a^2}{\lambda \frac{dF_a}{dt}}$$

en la que v_a representa la velocidad de propagación acústica en el cristal, λ la longitud de onda del haz láser y dF_a/dt el gradiente de frecuencia de la onda sonora en el cristal. En TeO_2 , con una velocidad de propagación de 4200 m/s a una longitud de onda del láser de 780 nm y el paso de un ancho de banda de ± 25 MHz (por ejemplo, a partir de una frecuencia de excitación fundamental de 110 MHz) dentro de un periodo de tiempo de 0,2 μs , se obtiene una distancia focal de la lente cilíndrica acústico-óptica de 90 mm. Con un objetivo 4 con una distancia focal de 9 mm y una ampliación de 20x se obtiene una nueva distancia focal de todo el sistema de

$$F_{\text{total}} = \frac{F_{\text{Obj}} F_l}{F_{\text{Obj}} + F_l}$$

que en el caso de los parámetros mencionados anteriormente corresponde a un desplazamiento en la dirección z de $\pm 90 \mu\text{m}$, dependiendo del signo del gradiente. Mediante el cambio del gradiente de frecuencia de la onda sonora, la posición z del elemento volumétrico se puede ajustar de forma lineal y continua.

En la forma de realización alternativa según la figura 3, un módulo de moduladores acústico-ópticos 11 comprende dos moduladores acústico-ópticos 18 dispuestos uno detrás del otro, cuya dirección de deflexión del haz se extiende perpendicularmente entre sí. Con respecto al haz de primer orden desviado, este módulo de moduladores acústico-ópticos 11 actúa como una lente cilíndrica con una distancia focal ajustable, de tal manera que el haz de primer orden presenta una divergencia ajustable, con lo que se permite un ajuste del punto focal en las direcciones x e y, pudiendo elegirse libremente la dirección de deflexión de la unidad de deflexión. Además, esta disposición minimiza el astigmatismo resultante porque se crean dos lentes cilíndricas ortogonales entre sí.

La figura 4 muestra una forma de realización modificada del módulo de moduladores acústico-ópticos 11, que presenta un primer par de moduladores acústico-ópticos 18 y un segundo par de moduladores acústico-ópticos 18, entre los cuales están dispuestas lentes de relé 19 para asegurar que el punto focal en la entrada y en la salida del módulo de moduladores acústico-ópticos 11 estén dispuestos en la misma línea. Los dos moduladores acústico-ópticos 18 de cada par presentan la misma dirección de deflexión. La dirección de deflexión de los moduladores del primer par es perpendicular a la dirección de deflexión de los moduladores del segundo par. Esto tiene el efecto de que se combinan las ventajas de la configuración según la figura 2 y las de la configuración según la figura 3.

En la figura 5, el área de escritura o, respectivamente, el campo de imagen 20 de la unidad de formación de imágenes ópticas 10 se representa en las direcciones x e y, siendo esta la sección del componente que se puede construir sin cambiar la posición relativa en las direcciones x e y entre la unidad de formación de imágenes ópticas 10 y el componente que se va a construir. Se pueden reconocer cuatro puntos focales 21 que están espaciados entre sí, de modo que se pueden fabricar al mismo tiempo cuatro elementos volumétricos del componente independientemente uno de otro. El movimiento de avance común de los puntos focales 21 en la dirección x se realiza por medio de la unidad de deflexión 9. Los puntos focales 21 también se pueden ajustar finamente independientemente entre sí por medio del respectivo módulo de moduladores acústico-ópticos 11 en la dirección x, y y/o z partiendo de su posición inicial actual definida por medio de la unidad de deflexión 9. Por ejemplo, durante el movimiento de avance de los puntos focales en la dirección x ocasionado por la unidad de deflexión 9, se puede realizar un ajuste fino en la dirección z para adaptar la posición de los elementos volumétricos a un contorno de componente curvo o uno que sea oblicuo con respecto a las direcciones de las coordenadas, de forma similar a una "litografía en escala de grises". Además, durante el movimiento de avance de los puntos focales en la dirección x ocasionado por la unidad de deflexión 9, se puede realizar un ajuste fino en la dirección y de tal manera que el haz láser se mueva en vaivén a alta velocidad para poder ajustar la extensión del elemento volumétrico que se va

a solidificar en la dirección y en función de la amplitud del movimiento en vaivén.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional, en el que un haz emitido por una fuente de radiación electromagnética (3) se enfoca por medio de una unidad de formación de imágenes ópticas (10) en un punto focal (21) dentro de un material (2) y el punto focal (21) se desplaza por medio de una unidad de deflexión (9) dispuesta delante de la unidad de formación de imágenes ópticas (10) en la dirección del haz, como resultado de lo cual se solidifica de forma sucesiva en cada caso un elemento volumétrico del material (2) que se encuentra en el punto focal (21) mediante absorción multifotónica, en el que el haz se divide por medio de un divisor de haz (4) en una pluralidad de haces, cada uno de los cuales se enfoca sucesivamente en unos puntos focales (21) dentro del material (2) por medio de la unidad de deflexión (9) y la unidad de formación de imágenes ópticas (10), caracterizado por que está previsto un número de módulos de moduladores acústico-ópticos (11) correspondiente al número de haces, de modo que en la trayectoria de haz de cada haz esté dispuesto un módulo de moduladores acústico-ópticos (11), que difracta el haz.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que por lo menos uno de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) se controla, con el fin de desplazar el punto focal (21) del haz asociado en una dirección z, correspondiendo la dirección z a una dirección de incidencia del haz respectivo en el material (2).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que por lo menos uno de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) se controla, con fin el desplazar el punto focal del haz asociado en una dirección x y/o y, correspondiendo las direcciones x e y a dos direcciones ortogonales en un plano perpendicular a la dirección de incidencia del haz respectivo.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que en cada uno de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) se utilizan por lo menos dos moduladores acústico-ópticos (18) dispuestos uno detrás de otro en la trayectoria del haz, presentando preferentemente dichos por lo menos dos moduladores acústico-ópticos (18) direcciones de deflexión de haz que se extienden de forma sustancialmente perpendicular entre sí o una orientación de deflexión de haz idéntica.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que los haces se someten a una deflexión conjunta en las direcciones x e y por medio de la unidad de deflexión (9), en particular un escáner galvanométrico, dispuesta detrás de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) en la trayectoria del haz.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el componente se construye capa por capa con unas capas que se extienden en el plano x-y, comprendiendo el cambio de una capa a la siguiente capa el cambio de la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas (10) con respecto al componente en la dirección z.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el desplazamiento del punto focal (21) se realiza en la dirección z por medio de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) dentro del espesor de capa de una capa.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que por lo menos uno de los puntos focales (21) se desplaza en la dirección z por medio de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) para formar un contorno exterior curvado o un contorno exterior del componente que se extiende oblicuamente con respecto al plano x,y, en el que se selecciona preferentemente un tamaño idéntico de los elementos volumétricos que forman el contorno exterior.
9. Dispositivo de fabricación generativa basada en litografía de un componente tridimensional, en particular para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende un soporte de material (1) para un material solidificable (2) y un dispositivo de irradiación (6) que se puede controlar para la irradiación localmente selectiva del material solidificable con por lo menos un haz, comprendiendo el dispositivo de irradiación (6) un divisor de haz (4) para dividir un haz de entrada en una pluralidad de haces, una unidad de deflexión dispuesta detrás del divisor de haz (4) en la trayectoria del haz y una unidad de formación de imágenes ópticas (10) dispuesta detrás de la unidad de deflexión (9) para enfocar cada haz sucesivamente en unos puntos focales (21) dentro del material (2), como resultado de lo cual un elemento volumétrico respectivo del material (2) que se encuentra en el punto focal (21) puede solidificarse mediante absorción multifotónica, caracterizado por que está previsto un número de módulos de moduladores acústico-ópticos (11) correspondiente al número de haces, de modo que en la trayectoria de haz de cada haz esté dispuesto un módulo de moduladores acústico-ópticos (11) que comprenda por lo menos un modulador acústico-óptico (18).
10. Dispositivo según la reivindicación 9, caracterizado por que los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) están diseñados para desplazar el respectivo punto focal (21) en una dirección z, correspondiendo la dirección z a una dirección de incidencia del haz asociado en el material (2).
11. Dispositivo según la reivindicación 9 o 10, caracterizado por que dicho por lo menos un modulador acústico-

óptico (18) comprende un generador de frecuencia, que está diseñado para la modulación periódica de la frecuencia de ondas sonoras.

5 12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado por que el generador de frecuencia está diseñado para cambiar el gradiente de frecuencia de ondas sonoras.

10 13. Dispositivo según la reivindicación 9, 10 u 11, caracterizado por que los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) están diseñados para desplazar el punto focal respectivo en una dirección x y/o y, correspondiendo las direcciones x e y a dos direcciones ortogonales en un plano perpendicular a la dirección de incidencia del haz respectivo.

15 14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 13, caracterizado por que los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) comprenden, en cada caso, por lo menos dos moduladores acústico-ópticos (18) dispuestos uno detrás de otro en la trayectoria del haz, presentando dichos por lo menos dos moduladores acústico-ópticos (18) preferentemente direcciones de su deflexión de haz que se extienden de forma sustancialmente perpendicular entre sí o una orientación de su deflexión de haz idéntica.

20 15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 14, caracterizado por que la unidad de deflexión (9) está dispuesta detrás de los módulos de moduladores acústico-ópticos (11) en la trayectoria del haz, estando formada en particular por un escáner galvanométrico, que está diseñado para efectuar un desplazamiento común de los puntos focales (21) en un plano x-y que se extiende transversalmente a la dirección z.

25 16. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 15, caracterizado por que el dispositivo de irradiación (6) está diseñado para construir el componente capa por capa con unas capas que se extienden en el plano x-y, comprendiendo el cambio de una capa a la siguiente capa el cambio en la posición relativa de la unidad de formación de imágenes ópticas (10) con respecto al componente en la dirección z.

30 17. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 16, caracterizado por que el dispositivo de irradiación (6) está diseñado de tal manera que el desplazamiento del punto focal (21) en la dirección z por medio del módulo de moduladores acústico-ópticos (11) se realiza dentro de un espesor de capa de una capa.

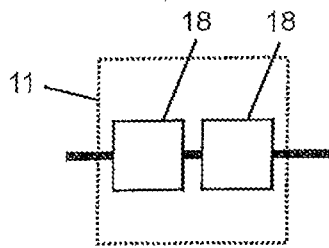


Fig. 2

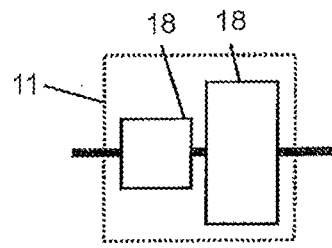


Fig. 3

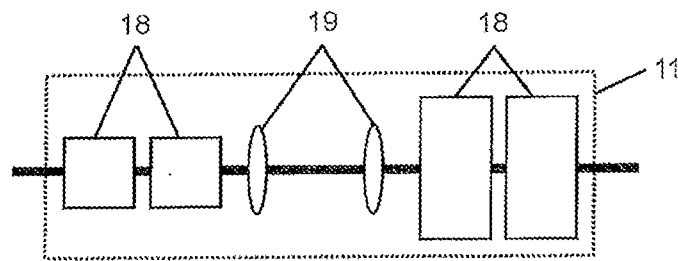


Fig. 4

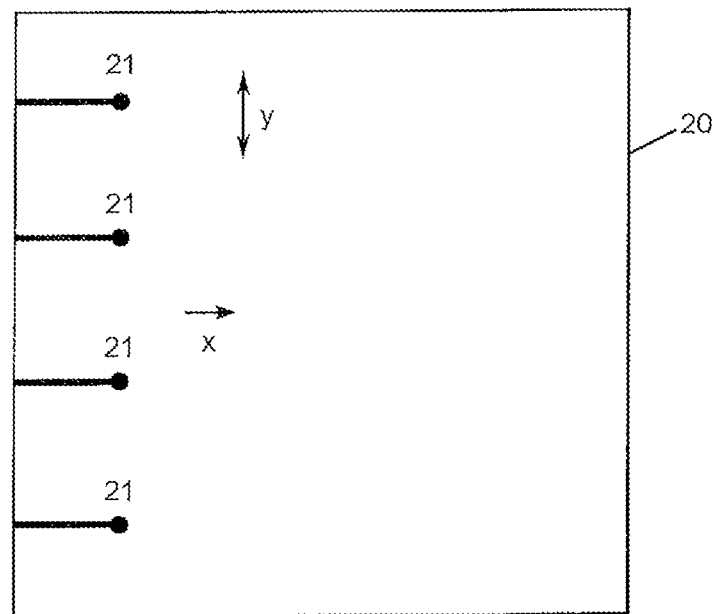


Fig. 5