

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 073**

51 Int. Cl.:

B29C 64/135 (2007.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 50/02 (2015.01)

B29C 64/386 (2007.01)

B29C 64/273 (2007.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2011** **E 15160153 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019** **EP 2905121**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para generar estructuras tridimensionales**

30 Prioridad:

11.05.2010 DE 102010020158

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

15.04.2020

73 Titular/es:

**MULTIPHOTON OPTICS GMBH (100.0%)
Building C, Friedrich-Bergius-Ring 15
97076 Würzburg, DE**

72 Inventor/es:

**HOUBERTZ, RUTH;
STICHEL, THOMAS y
STEENHUSEN, SÖNKE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 754 073 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 y procedimiento para generar estructuras tridimensionales

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para generar estructuras tridimensionales, como cuerpos y estructuras superficiales, de un material que debe solidificarse, especialmente de un material que
5 contiene organopolisiloxano, por solidificación selectiva localmente del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica inducida por luz.

Por el estado de la técnica se conoce que se generan cuerpos o estructuras superficiales tridimensionales, por ejemplo, mediante procesos inducidos por luz, especialmente mediante reticulación orgánica, generándose primero solo una capa o un plano como componente bidimensional de la estructura creada y estructurándose la estructura
10 tridimensional del cuerpo o de la estructura superficial mediante el procesamiento sucesivo de capas o planos bidimensionales consecutivos. Ejemplos de estos procedimientos que trabajan bidimensionalmente son la estereolitografía, el sinterizado selectivo por láser (SLS por sus siglas en inglés) o la impresión 3D (3DP). En los procedimientos bidimensionales son desventajosos los tiempos de producción, proporcionalmente largos, ya que los cuerpos que deben fabricarse son generados por capas y después de efectuarse cada solidificación de capa debe prepararse una nueva capa que debe solidificarse. Estas desventajas pesan especialmente cuando los cuerpos que
15 deben fabricarse deben generarse con tamaños que se encuentran en el intervalo de milímetros y centímetros.

En una variante especial de la estereolitografía, la exposición se efectúa a través del fondo transparente del contenedor de baño para evitar una interacción del cuerpo que se forma con la atmósfera gaseosa que se encuentra sobre la superficie de baño, por ejemplo, una reacción de oxidación. El material líquido se solidifica, a este respecto,
20 en la cercanía inmediata del fondo de contenedor. Para evitar que el material que debe solidificarse se adhiera al fondo, este debe estar cubierto por una superposición de capas con un líquido que se puede polimerizar como capa de separación, ver documento DE 41 02 260 A1, reivindicación 13. Esto hace que el procedimiento sea difícil de controlar, pues al desplazarse la plataforma de soporte, el líquido que debe solidificarse debe poder fluir hacia el interior de la hendidura entre la capa de separación y la última capa solidificada sin que el líquido de separación se
25 agite. Por lo tanto, el procedimiento apenas es adecuado para la fabricación de cuerpos de materiales de partida con una viscosidad elevada, como son habitualmente los organopolisiloxanos – especialmente, los que no presentan disolventes –. También el documento EP0379068 A2 desvela una estereolitografía, efectuándose la exposición a través del fondo transparente del contenedor de baño.

Los procedimientos tridimensionales, en los que una radiación modificadora del material interactúa directamente en el volumen de un material de partida sólido o líquido no procesado todavía, ofrecen procesos más rápidos. Por el documento WO 03/037606 A1 se conoce el empleo de la polimerización de dos o varios fotones durante la solidificación de materiales que contienen organopolisiloxano (la polimerización se efectúa por absorción de dos
30 fotones (TPA por sus siglas en inglés) o de varios fotones). A este respecto se emplea radiación con una longitud de onda que en circunstancias normales no se absorbe en material reactivo. Por el enfoque de impulsos láser con una duración de femtosegundos en el material da como resultado la absorción de varios fotones en el foco de la óptica, por lo cual pueden inducirse cambios químicos similares a los que se producen al emplear radiación láser con longitudes de onda considerablemente más cortas. Los cambios de material pueden desencadenarse, así,
35 deliberadamente, en el espacio tridimensional.

Una desventaja de procedimientos tridimensionales conocidos, así como de dispositivos para su implementación, es el hecho de que, las estructuras solo se pueden generar con un tamaño restringido en el intervalo de los micrómetros, especialmente cuando hay requisitos exigentes en cuanto a precisión. Está justificada esta desventaja en la pequeña distancia de trabajo, necesaria para conseguir una precisión suficiente, de la óptica, es decir, en la distancia entre plano focal y lente de salida de la óptica, distancia que, por lo general, es variable y depende de la apertura numérica de la óptica empleada. Así, la distancia de trabajo para ópticas de alta definición con una apertura numérica de AN = 0,9 a 1,4 es de aproximadamente 500 μm a 200 μm . En procedimientos y dispositivos para la solidificación de material por polimerización de varios fotones, el material que debe solidificarse se dispone, por ejemplo, en la cantidad de una gota entre dos placas ópticas como portaobjetos o adherido a un portaobjetos
40 abierto. Para hacer posible una exposición con condiciones definidas, esta exposición debe realizarse por encima de una superficie límite definida. En el caso de un material dispuesto entre dos placas, la exposición se efectúa de arriba abajo a través de una de las dos placas. En el caso de un portaobjetos abierto, la exposición se efectúa desde abajo a través del lado inferior del portaobjetos. Desventajosamente no pueden solidificarse estructuras más grandes, ya que, por la exposición a través del portaobjetos o sobre este, el material que está sobre el lado del mismo opuesto a la óptica solo puede solidificarse a una distancia limitada del portaobjetos determinada por la distancia de trabajo de la óptica. En el procedimiento de solidificación tridimensional conocido actualmente, el tamaño de las estructuras que se fabrican está limitado a, aproximadamente, 100 μm a 700 μm independientemente
50 de la precisión que deba conseguirse.

En el documento WO 92/00185, una variante especial de dispositivo se refiere a una óptica de enfoque que se puede mover en vertical (es decir, a lo largo del eje óptico) con una apertura numérica elevada, la cual – para evitar errores que se producen a través de superficies límite entre líquido y aire – se sumerge en un baño con el mismo
60 material que debe solidificarse, que está previsto como material de baño para la fabricación del cuerpo que debe

solidificarse. El foco del dispositivo se encuentra fuera de este baño en un segundo baño.

Para un procedimiento similar, el documento DE 101 11 422 A propone disponer el contenedor de baño sobre una mesa que pueda desplazarse en el plano X-Y y prever en ella una plataforma de montaje que pueda desplazarse de forma controlada en la dirección Z para poder colocar el foco (zona focal) adecuadamente de forma variable. A este respecto, la exposición se efectúa desde arriba hacia el interior de la superficie de baño abierta. Como alternativa se efectúa un movimiento del foco en la dirección X y en la dirección Y con ayuda de un equipo de escáner, es decir, con uno o varios espejos móviles. En este sistema no se puede emplear una apertura numérica elevada de la óptica y, de este modo, no se puede conseguir una resolución estructural elevada con un tamaño de cuerpo moldeado que pueda elegirse libremente al mismo tiempo. Además, se producen errores por la exposición sobre la superficie de baño abierta, que no representa una superficie óptica limpia.

Partiendo del estado de la técnica descrito previamente, la presente invención se basa en el objetivo de crear un dispositivo y un procedimiento para generar cuerpos o estructuras superficiales tridimensionales por solidificación selectiva localmente de un material como consecuencia de una reticulación orgánica inducida por luz, pudiendo generarse esencia cuerpos y estructuras conformados discrecionalmente, especialmente con dimensiones y alturas dentro del intervalo de milímetros y centímetros, preferentemente con tiempos de producción acortados respecto al estado de la técnica y una resolución correspondientemente elevada, escaso gasto de material y con una elevada precisión y capacidad de repetir el proceso. La invención debe hacer posible especialmente que se puedan generar también cuerpos grandes con una precisión muy elevada.

Por la parte del dispositivo, este objetivo se resuelve con un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 para generar estructuras tridimensionales de un material que debe solidificarse, especialmente de un material que contiene organopolisiloxano.

Por la parte del procedimiento, el objetivo se resuelve con un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 para generar estructuras tridimensionales de un material que debe solidificarse.

Al contrario de lo que sucede en el caso de los dispositivos y procedimientos conocidos por el estado de la técnica, el efecto restrictivo de la distancia de trabajo de la óptica de enfoque se supera por su capacidad de colocación y, dado el caso, la de la plataforma de soporte en el baño en relación con el/los foco(s) de la(s) óptica(s) en la dirección Z. Al emplear un escáner para colocar el/los foco(s) en el plano X-Y surge concretamente el siguiente dilema: si el foco se mueve en la dirección X-Y por medio de espejos móviles (sistema de escáner) para colocar correspondientemente el foco, para fabricar objetos más grandes la óptica de enfoque debe tener una gran apertura de entrada (tamaño de la abertura redonda, varios cm) para que el rayo láser que viene de los espejos que se mueven no se salga de la óptica de enfoque. Sin embargo, aperturas de entrada así de grandes solo las tienen objetivos con una apertura numérica (AN) reducida ($<0,25$) o lentes simples, así como los denominados objetivos f-theta. Por su reducida apertura numérica estos disminuyen de forma evidente tanto la resolución estructural en dirección axial (Z) como la resolución lateral (según hechos reales, a vóxeles con una longitud (en la dirección Z) de 0,5 a 1 mm). Así, la ventaja real de la polimerización de dos o más fotones, en concreto la producción de tamaños estructurales mínimos muy pequeños, se compensa, y no pueden producirse estructuras con alta resolución, como las que se necesitan, por ejemplo, para la biomedicina (por ejemplo, matrices porosas) o componentes ópticos. Cuando, por el contrario, se trabaja con objetivos con apertura numérica elevada, la zona direccionable es muy restringida en el plano por las aperturas de entrada correspondientemente pequeñas. Se puede mostrar que, incluso sin tener en cuenta las aberraciones que se producen por el empleo de un baño y las desviaciones del recorrido ideal, que lleva aparejadas, del haz de luz a través de superficies sucias desde el punto de vista óptico, con una apertura numérica de, por ejemplo, 0,95, la zona direccionable está restringida a un diámetro de aproximadamente 500 μM . Si, por el contrario, se dispusiera en el baño un soporte, que es móvil en el plano X-Y en la mayor parte de su superficie, en efecto se podrían conseguir los resultados deseados; no obstante, solo con ayuda de un procedimiento muy laborioso. Siempre que el soporte esté quieto y el foco se mueva en la dirección Z, por movimiento del soporte o de la óptica y del rayo láser con ayuda de un espejo, en efecto se puede construir una estructura de alta definición, pero sus dimensiones en el plano X-Y son muy pequeñas. Estas se pueden aumentar con un desplazamiento del soporte en la dirección X e/o Y respectivamente de forma secuencial en torno a una distancia del tamaño de la zona que se puede escanear. Este así llamado "stitching" requiere una unidad de colocación separada del soporte para el plano XY, lo cual es laborioso desde el punto de vista experimental, implica costes elevados y es difícil de llevar a la práctica. Además, por la parte del software es necesario un gasto adicional, ya que la geometría estructuras se debe calcular de forma separada en varias secciones. Además, finalmente, los puntos de encuentro entre las zonas individuales son visibles con la alta resolución deseada. Lo mismo se aplica a una disposición en la que el baño en conjunto puede moverse sobre una mesa que se puede desplazar en un plano X-Y. Si se quieren generar estructuras grandes, por lo tanto, en el caso de la estructuración de varios fotones debe renunciarse, por lo general deliberadamente, a una buena capacidad de resolución, esto es, primero, porque con una anchura estructural mayor se obtiene una tasa de construcción más elevada, y, segundo, porque una distancia de trabajo amplia (es decir, la distancia de la lente de salida del objetivo respecto al foco) es el requisito para que la estructura se pueda hacer suficientemente grande (la estructura no puede hacerse más grande que la distancia de trabajo). En el caso de los objetivos convencionales, sin embargo, la distancia de trabajo es tanto mayor cuanto menor es la apertura numérica.

Para la construcción de baño de acuerdo con la invención se puede emplear, en contraposición a esto, un objetivo con una apertura numérica elevada, también por si se da el caso de que deban fabricarse cuerpos conformados grandes. Así pues, estos cuerpos conformados pueden fabricarse, de acuerdo con la invención, independientemente de la distancia de trabajo. Por lo tanto, se puede elegir libremente si deben conseguirse estructuras finas de alta resolución o – mediante el aumento de la potencia de láser – también líneas anchas y, con ello, una elevada tasa de construcción (las líneas se hacen más anchas con el aumento de la potencia de láser porque las condiciones de solidificación están satisfechas en una zona espacial más ancha (método de valor umbral)).

La mayoría de los objetivos tienen las mejores características de imagen solo en una zona focal determinada. Siempre y cuando vengan de la microscopia, esta zona se situará en la mayor parte de los casos en el lado inferior del cubreobjetos (según el lado interior de la pared de contenedor de baño). Toda variación de este punto da como resultado fallos de imagen y, con ello, que el foco se ensucie en el espacio. Por lo tanto, de acuerdo con la invención se prefiere elegir la distancia del objetivo desde el baño y, así, la posición del plano de enfoque de forma que tenga que pasar la menor cantidad posible de material de baño que debe solidificarse. En cuanto a la forma de realización, de acuerdo con la invención, de la exposición desde abajo (o, dado el caso, desde el lado), se desprenden especialmente, por lo tanto, las ventajas de que las condiciones para la configuración de la zona focal no varían durante la estructuración porque es el soporte el que se mueve en la dirección Z, y no la óptica, y de que se puede trabajar en unas condiciones cercanas a las óptimas, predeterminadas por el fabricante de la óptica.

De acuerdo con la invención, se puede trabajar con todo tipo discrecional de objetivo, es decir, con aquellos con y sin inmersión.

Pueden fabricarse estructuras con un tamaño hasta el intervalo de los centímetros o más allá. De acuerdo con la invención, la óptica de enfoque se sumerge en el material y puede colocarse en este de forma correspondiente sin restricciones, o una unidad de soporte, en la que el material se separa al solidificarse, puede colocarse discrecionalmente en el baño de material. Una combinación de estas dos alternativas se sitúa también en el ámbito de la invención. Con esta es posible generar con una gran flexibilidad estructuras tridimensionales con tamaños hasta el intervalo de los centímetros. En el primer caso, la posición de foco en el material que debe solidificarse puede elegirse sin restricción sumergiendo y colocando la óptica de enfoque. En el segundo caso, en efecto, la posición de foco en relación con el contenedor de material y, así, con el material que debe solidificarse y, con ello, con el punto de la solidificación de material en el baño de material está restringida por lo general, en la mayor parte de los casos, a dos dimensiones; no obstante, por medio de la unidad de soporte se puede colocar material ya solidificado en relación con la posición de foco, de forma que con una colocación correspondiente de material ya solidificado pueden generarse estructuras con un tamaño casi discrecional.

Como la radiación láser se introduce a través de una superficie límite definida, es decir, una superficie óptica transparente, en el material que debe solidificarse, el número de errores ópticos se mantiene muy bajo. Una solidificación puede efectuarse con una precisión muy elevada, es decir, independientemente de la cantidad del material que debe solidificarse, así como del tamaño del baño de material. La resolución que se puede conseguir, que es determinada principalmente por la amplitud focal, la óptica de enfoque y un método de valor umbral en el material, es muy alta y no empeora por errores ópticos al introducir la radiación en el material. El contenedor de material es, preferentemente, una bañera de tamaño correspondiente en la que el material que debe solidificarse existe en forma de baño. Se pueden emplear baños de material con un tamaño casi discrecional para seguir favoreciendo el efecto, conseguido con la invención, de generar estructuras no limitadas en cuanto a su tamaño.

La presente invención es especialmente adecuada para fabricar rápidamente elementos funcionales, conformados de forma específica y discrecional, en sustratos conformados discrecionalmente, por ejemplo, planos o cilíndricos. De estos forman parte, por ejemplo, elementos ópticos para aplicaciones en el ámbito de la (bio)fotónica y las capas antirreflectantes. También es posible la fabricación paralela de cristales fotónicos para circuitos y componentes fotónicos futuros. Además, las estructuras generadas con el dispositivo pueden emplearse en la micromecánica (como MEMS o MOEMS), la microelectrónica y la nanoelectrónica, así como en componentes cuánticos y la electrónica polimérica. Además, el empleo del dispositivo de estructuración es posible en el ámbito de la ciencia aplicada a la vida, por ejemplo, en la ortopedia (entre otras, la protésica), en la medicina regenerativa (por ejemplo, como estructuras de soporte) y en la farmacia (entre otros, como sistemas de administración de medicamentos).

Un material que debe solidificarse en el ámbito de la invención es un material orgánico o un material híbrido orgánico-inorgánico, especialmente un material que contiene organopolisiloxano, que puede solidificarse respectivamente de forma fotoquímica. El material que debe solidificarse puede ser especialmente un material lleno, por ejemplo, de nanopartículas o micropartícula o un material sin relleno. Los materiales llenos presentan determinados materiales aditivos eventualmente no estabilizados que pueden brindar al material determinadas propiedades deseadas.

El material de baño que debe solidificarse puede procesarse o sin disolvente o de forma que contenga disolvente. Para este último caso, el tipo del disolvente empleado no es crucial; no obstante, son convenientes disolventes no tóxicos, señaladamente, por ejemplo, cuando las estructuras que deben generarse deben emplearse en la medicina o en ámbitos relacionados. Si no se emplea disolvente, el material de baño puede poseer una elevada viscosidad según el polisiloxano empleado, que se ha originado en la mayor parte de los casos por policondensación de uno o

varios silanos que pueden polimerizarse orgánicamente. En estos casos se prefiere el empleo de una óptica que se encuentre fuera del baño.

5 El trabajo con un material de baño sin disolvente implica una serie de ventajas. Así, las estructuras fabricadas con este no contienen enlaces de moléculas pequeñas, eventualmente tóxicos o que puedan ser preocupantes de otra manera.

10 Si el cuerpo conformado ya solidificado debe separarse del sustrato, este puede estar funcionalizado, dado el caso, de modo conocido (mediante capas monomoleculares o más espesas) de tal forma que el desprendimiento durante el proceso de desarrollo es posible con una retirada mediante disolvente o con un "levantamiento de la estructura" mediante un dispositivo dispuesto de forma especial (por ejemplo, un medidor). También puede aplicarse una capa sacrificial sobre el sustrato, capa a la cual se adhiere bien el cuerpo conformado solidificado, pero en el proceso de desarrollo (la liberación de material de baño que se adhiere) se disuelve, de forma que la estructura generada se levanta del sustrato.

15 La extracción de los cuerpos generados puede efectuarse con facilidad porque estos se elevan para sacarlos del baño, por ejemplo, siendo conducido el soporte fuera del baño. Luego, dado el caso, se limpian con un disolvente adecuado para retirar material de baño que se haya adherido, y se secan al aire o de otra forma (por ejemplo, en una atmósfera de gas protectora).

20 Con la invención es posible fabricar in situ cuerpos tridimensionales con forma discrecional, de materiales que deben solidificarse mediante procesos de reticulación inducidos por luz en un intervalo amplio de longitudes de onda, empleando los más diversos sistemas láser y ópticos. Generalmente se puede procesar en paralelo y en una superficie grande un gran número de clases de materiales y sustancias.

25 Para la solidificación conseguida se emplea una polimerización de uno o varios fotones (2PP/nPP). A este respecto, un impulso láser enfocado o una secuencia de impulsos láser enfocados se orientan deliberadamente a un elemento de volumen dirigido en el material que debe solidificarse. Por secuencia de impulsos láser debe entenderse un número de impulsos láser individuales, que siguen unos a otros en el tiempo, que se emplean para solidificar una unidad estructural (vóxel). El número de impulsos es de al menos dos, preferentemente de 100 a 1000 o de varios cientos a varios miles. Con el impulso láser o la secuencia de impulsos láser se llega a la absorción de dos fotones (TPA) o de varios fotones en los puntos de elementos de volumen que deben solidificarse en el foco, por lo cual pueden inducirse cambios químicos similares, como el uso de longitudes de onda considerablemente más cortas. De este modo un cambio de material puede desencadenarse de forma muy dirigida en el espacio tridimensional. De forma especialmente ventajosa se emplean impulsos láser con una duración en el intervalo de los femtosegundos. La radiación empleada presenta ventajosamente una longitud de onda que, en circunstancias normales, en las que la energía de un fotón no basta para excitar átomos o moléculas, no se absorbe en material reactivo. A diferencia de lo que ocurre en otros procedimientos de estructuración como, por ejemplo, el clásico prototipado rápido con rascador y medio de recubrimiento, la presente invención ofrece la ventaja de que pueden fabricarse estructuras tridimensionales en un paso con poco gasto de material y en muy poco tiempo, pudiendo generarse las estructuras con un tamaño casi discrecional con elevada precisión.

35 Según la óptica y el material empleados pueden generarse unidades estructurales (vóxeles) de menos de 100 nm hasta 100 μm . Teóricamente, adaptando la intensidad de láser pueden crearse elementos de volumen infinitesimalmente pequeños. Con una combinación de óptica refractiva y difractiva, la trayectoria óptica de los impulsos láser a través de la óptica o del cristal de lente puede mantenerse corta y pueden reducirse errores de imagen. Los vóxeles generados pueden solaparse más o menos y en conjunto forman la estructura que debe fabricarse, que puede ser de unidimensional a tridimensional. Según el tamaño de los vóxeles generados es posible proveer a la estructura de una porosidad graduable discrecionalmente. Esto es relevante especialmente para generar estructuras de armadura para la estimulación del crecimiento celular "de matrices". Este tipo de estructuras de armadura pueden poseer ventajosamente una estructura porosa en el intervalo de 10 nm a 10 mm, preferentemente de 1 μm a 5 mm. Las estructuras fabricadas pueden, además, ser porosas, como, por ejemplo, en forma de nanoestructuras.

40 En principio la colocación se realiza de tal forma que el foco o los focos están colocados o se colocan cerca de la unidad de soporte o limitando con esta. Inicialmente, en el marco de su solidificación, se acumula material solidificado en la unidad de soporte y, junto con esta, se coloca en relación con el foco o con los focos en el posterior transcurso de la estructuración o la solidificación. La colocación posterior se realiza de tal forma que el material se acumula en material ya solidificado o en la unidad de soporte.

45 Cuando la radiación láser se introduce por el contenedor de material en el material que debe solidificarse, el propio contenedor sirve para configurar una capa límite definida en la que la radiación láser entra en el material que debe solidificarse. Por la unidad de soporte que se puede colocar en el contenedor de material en relación con este, la distancia de trabajo de la óptica empleada, por la cual se determina la distancia de la zona de solidificación desde una pared o desde el fondo del contenedor de material, actúa de forma no limitante.

Al introducir radiación láser a través de la pared o del fondo del contenedor de material es especialmente ventajoso

que no llegue a producirse un contacto entre óptica y material que debe solidificarse. De esta manera es posible un desplazamiento y una colocación rápida de la óptica. No se generan torbellinos en el material y existe una resistencia menor a la que se produce al colocar una óptica sumergida. Además, la óptica no debe estar hermetizada respecto al material que debe solidificarse. Como no produce contacto entre la óptica y el material que debe solidificarse, pueden procesarse también materiales agresivos que podrían dañar la óptica.

En el caso de una óptica de enfoque que pueda sumergirse en el material, esta misma configura una superficie límite óptica definida para el rayo láser que entra en el material que debe solidificarse. A diferencia de lo que sucede en la forma de realización mencionada previamente, la solidificación puede efectuarse en cualquier punto discrecional en el baño de material sin que tenga que emplearse una unidad de soporte que pueda colocarse adicionalmente, ya que de la óptica puede colocarse de forma deseada en el baño de material, así como sumergirse a una profundidad casi discrecional y el punto de la solidificación no está limitado por la distancia de trabajo de la óptica.

En una forma de configuración, el dispositivo de acuerdo con la invención presenta una óptica para distribuir espacialmente el rayo láser y generar al menos dos focos láser separados espacialmente uno de otro o máximos de intensidad, lo cual se denomina paralelización en lo sucesivo. De esta manera, la energía de radiación del láser puede orientarse espacialmente hacia uno o varios vóxeles al mismo tiempo, de forma que se produce una solidificación al mismo tiempo en dos o varios vóxeles. Así pueden generarse en un corto período de tiempo estructuras y cuerpos conformados grandes. Al generar al mismo tiempo n vóxeles, el tiempo de producción de las estructuras que deben fabricarse puede acelerarse por el factor n dependiendo del elemento que deba producirse. Este factor n se corresponde con el número de los máximos de intensidad o de focos láser generados por la distribución de la radiación, que es provocada por una polimerización de varios fotones.

Con la paralelización, la invención no hace posible solo generar en paralelo vóxeles de un elemento funcional aislado, sino también generar en paralelo dos o más elementos funcionales. Una estructura aislada puede generarse al mismo tiempo por medio de varios focos o varias estructuras pueden generarse al mismo tiempo por medio de uno o varios focos respectivamente. A este respecto pueden emplearse una o varias ópticas para generar n focos. Es posible fabricar varias estructuras sobre el mismo sustrato, así como elegir un sustrato propio para cada estructura.

La paralelización puede efectuarse, además, por conformación de haz o distribución de un rayo láser en varios rayos parciales, que se enfocan entonces respectivamente y solidifican vóxeles en el material en varios puntos al mismo tiempo. Para ello puede emplearse, por ejemplo, una máscara de amplitud, que se lleva a la trayectoria de rayo y genera un patrón de difracción en el campo lejano del rayo. Además de esto pueden emplearse un conjunto de microlentes, una lente axicon, por ejemplo, para generar un plano focal anular, o un modulador de luz espacial como máscara de fase que se puede controlar dinámicamente, modulador de luz que provoca una distribución dirigida de la intensidad lumínica en varios focos y, así, una paralelización parcial del proceso de estructuración. Adicionalmente, los focos pueden moverse por modulación dinámica dirigida de la fase en el espacio, por lo cual se puede prescindir de unidades de desplazamiento mecánico.

El dispositivo de acuerdo con la invención presenta un sistema de colocación con el que pueden colocarse el foco láser o los focos láser pueden en el baño de material. La colocación se efectúa mediante un movimiento de la óptica de enfoque, complementado, dado el caso, por un movimiento de una unidad de soporte dispuesta en el baño. Puede efectuarse en forma de colocación lineal y/o rotatoria en y/o en torno a uno, dos o más ejes. Especialmente una unidad de soporte para material solidificado puede moverse, especialmente desplazarse linealmente y/o rotar, en relación con el foco láser. Como el contenedor de material no debe moverse, solo tienen que acelerarse y frenarse masas relativamente pequeñas, lo cual facilita una colocación con una precisión elevada. En todas las formas de realización de la invención, la unidad de soporte puede, dado el caso, ser móvil en más de una dirección espacial, por ejemplo, en dos o en las tres direcciones espaciales.

En todo caso se efectúa una colocación la óptica. Esta puede ser móvil en una dirección espacial, por ejemplo, en la dirección Y, cuando el soporte en el baño de material es móvil al menos en las direcciones X e Y. No obstante, la óptica de enfoque es móvil preferentemente en al menos dos direcciones espaciales, por ejemplo, en las direcciones X e Y, mientras que el soporte puede moverse al menos en la dirección Z. Cuando la óptica de enfoque puede moverse en las tres direcciones espaciales, lo cual se ofrece, sobre todo, en el caso de una óptica de enfoque sumergida, se puede prescindir mayormente de un soporte en el baño de material, o este soporte puede estar dispuesto rígidamente en el baño.

También puede elegirse libremente la posición del al menos un foco en relación con el material que debe solidificarse. Así pueden dirigirse a la modificación de material distintos puntos de partida. En el caso de que haya varios focos láser se determina un plano focal para todos los focos, cuya posición en el material que debe solidificarse puede dirigirse. No obstante, en principio, al emplear un modulador de luz espacial dinámico activo puede variarse dinámicamente también la posición relativa de unos focos respecto a otros. Si un punto determinado en el material en una zona de foco debe solidificarse, esta posición puede corregirse, en el caso de una superficie de sustrato conocida (superficie portante), por ejemplo, por medio de un software, mientras que en el caso de una textura de superficie desconocida pueden emplearse los datos de un sistema de detección óptico, por ejemplo, en

forma de escáner 3D. A este respecto:

En la estructuración (de varios fotones) de materiales líquidos es importante el fraguado del material líquido directamente en la superficie del sustrato. Para ello es necesario un punto de anclaje, de forma que el siguiente elemento de volumen (vóxel) respectivamente que debe solidificarse está en contacto con una zona ya solidificada o incluso con el sustrato. Cuando este no es el caso, zonas ya solidificadas en la resina líquida pueden salirse de su posición nominal, lo cual influye negativamente en la calidad de la estructura. Esto puede dar como resultado una estructura defectuosa. Cuando el punto de anclaje sobre el sustrato no se ha encontrado correctamente, puede ocurrir que, en efecto, la estructura se haya generado correctamente pero no se hay podido rescatar en último término porque durante su desarrollo ya no se adhiere al sustrato y ya no puede localizarse. Por lo tanto, las formas de realización preferidas de la invención se refieren a la localización de un punto de anclaje de este tipo (o, dado el caso, de varios puntos de anclaje de este tipo).

En una primera configuración relativa a esto, este punto de anclaje se detecta con ayuda de una cámara microscópica instalada en el sistema. Esta está orientada hacia la superficie que debe estructurarse; con ella, además de las estructuras que se forman, puede observarse también el punto láser. Cuando este es lo más pequeño en la imagen (al desplazarse en la dirección Z), el sustrato se encuentra de forma óptima.

En una segunda configuración relativa a esto, el punto de anclaje puede encontrarse automáticamente. Para ello, la muestra ya introducida en el baño o el sustrato son medidos in situ con un sistema de detección (de tipo discrecional). Los datos sobre la superficie de sustrato que se obtienen así se utilizan o para determinar individualmente, al escribir varias estructuras sobre un sustrato, el punto de anclaje para cada estructura o para adaptar la geometría de una estructura (grande) aislada, al escribir esta estructura, de tal forma que tenga siempre, en la medida de lo posible, una orientación definida respecto a la superficie de sustrato.

Especialmente ventajosa es la detección de una imagen topográfica con un sensor que haga esto en una medición "a un disparo". Como alternativa puede cribarse sobre la superficie de sustrato un sensor de un solo punto, es decir, un sensor que siempre puede medir solo un punto en el plano X-Y, y generarse así la imagen topográfica.

Con ayuda de estas medidas, en ambos casos puede localizarse siempre, en primer lugar, el punto de anclaje correcto, esto es, también en el caso muy frecuente de que el sustrato se incline ligeramente, y por supuesto también en el caso de que el sustrato esté combado. En segundo lugar, puede efectuarse también una nueva estructuración sobre superficies ya estructuradas. De este modo pueden aplicarse, por ejemplo, estructuras adicionales sobre lentes estructuradas previamente.

A continuación se explica más en detalle, a modo de ejemplo, un sensor de un solo punto. Se genera una señal de tensión, que depende de la posición de la zona focal en relación con el sustrato o con el punto de anclaje nominal. Al encontrar el punto de anclaje con el foco, esta señal debería llegar a un nivel determinado, preferentemente a un máximo. Esto puede ser provocado, por ejemplo, por el método de la retroreflexión en la trayectoria de rayo, como se observa por la figura 12. Antes de introducir el láser de estructuración o el impulso, estos atraviesan, por ejemplo, una placa de cristal, que, ante todo, no es relevante para la propagación de estos impulsos. La radiación se enfoca entonces, como es habitual, al material. Dependiendo de la posición en el eje Z, una pequeña parte de los impulsos se retorrefleja porque entre sustrato y resina fotosensible líquida hay un contraste de índice de refracción. Esta reflexión es máxima cuando se encuentra de forma óptima la superficie límite entre sustrato y resina. Luego la retroreflexión es detectada con la placa de cristal, la cual desvía una parte de esta hacia un fotodiodo.

En una variante se puede mantener así una imagen topográfica, en concreto cuando esta maximización de la retroreflexión se repite en muchos puntos sobre el sustrato y almacena las posiciones en el eje Z en las que se producen las máximas. Para el método de la retroreflexión puede emplearse como fuente de radiación, dado el caso, el láser empleado para la estructuración. En este sentido, su potencia se ajusta preferentemente de forma que sea muy baja para eliminar el peligro de provocar una solidificación no deseada de material de baño con el rayo de luz previsto para la retroreflexión. No obstante, puede ser conveniente emplear un segundo láser que no interactúe con la resina y se enfoque en el mismo punto que el láser de estructuración. En otra variante se puede provocar, mediante regulación, que siempre se mantenga un nivel de señal determinado de la retroreflexión mediante la compensación de la posición en el eje Z mientras el foco se mueve en el plano. Para ello se ofrecen regulaciones conocidas, como la PI o la PID.

Como, de acuerdo con la invención, el foco se mueve en relación con el sustrato en el plano X-Y y así cambia la posición de foco en el eje Z en relación con el sustrato y, con ello, la señal de la retroreflexión varía, la diferencia de valor nominal (la señal de tensión en el máximo) respecto al valor real (dinámico) se regula. Para ello se realizan cálculos matemáticos para transmitir una señal al elemento de regulación (el eje Z) que acerque el valor real al valor nominal. El experto en la materia está en disposición de realizar estos cálculos (en su mayor parte, operaciones proporcionales (P), integrales (I) y diferenciales (D)) y de elegir los parámetros de forma que se efectúe una adaptación exacta del valor real al valor nominal.

Un regulador PI combina la ventaja del regulador P, concretamente, la reacción rápida, con la ventaja del regulador I: la regulación exacta. Un circuito regulado por PI es, por lo tanto, preciso y medianamente rápido. Un regulador PID aúna las propiedades positivas de los tres tipos de regulador. El circuito regulado por PID es preciso y muy rápido.

Por ello, para la invención es adecuado un regulador PID.

La precisión de colocación de al menos uno o de todos los ejes de movimiento es, preferentemente, de al menos de 0,20 μm . Empleando sistemas de colocación en forma de mesas lineales de alta precisión, por ejemplo, de mesas con alojamiento neumático o que se pueden mover por piezotécnica, con grandes recorridos de desplazamiento, así como, de manera opcional, de sustratos o baños de material grandes (por ejemplo, 62 cm x 62 cm), pueden generarse tanto estructuras pequeñas con dimensiones de menos de un milímetro como cuerpos macroscópicos con longitudes de borde de varios centímetros.

De acuerdo con una forma de realización especialmente ventajosa, en lugar de la colocación lineal en los planos del espacio, o adicionalmente a esta, puede emplearse un equipo de colocación con al menos un eje rotatorio. De esta manera, o el material que debe solidificarse o una unidad de soporte sumergida en este puede rotar en torno a al menos un eje espacial. Pueden emplearse sustratos en forma de láminas enrolladas o similares, que hacen entonces de unidad de soporte o se colocan mediante una de estas. Los sustratos a modo de lámina pueden ser conducidos por medio de una colocación por rotación y colocarse en relación con el al menos un foco láser. La colocación por rotación se efectúa preferentemente con una resolución de al menos 0,079 segundos de arco y/o una precisión de al menos 3 microsegundos de arco. La velocidad de rotación máxima es, preferentemente, de aproximadamente 300 rotaciones por minuto con una capacidad de repetición de menos de 2 segundos de arco.

De forma especialmente ventajosa, el sistema de colocación presenta las siguientes propiedades: el recorrido de desplazamiento, preferentemente, en todas las direcciones es, preferentemente, de al menos 150 mm, especialmente en todas las direcciones espaciales. La precisión de colocación es, preferentemente, de $\pm 0,20 \mu\text{m}$ en todas las direcciones. La precisión en el arranque repetido de un punto es de $\pm 0,05 \mu\text{m}$. La precisión en perpendicular respecto a la dirección de movimiento en el plano horizontal es de $\pm 0,25 \mu\text{m}$. La velocidad de desplazamiento del sistema de colocación es de hasta 300 mm/s (también son posibles velocidades más bajas), de aproximadamente 10 m/s^2 con una aceleración lineal máxima sin carga.

Como fuente de radiación pueden emplearse principalmente láser de estado sólido, láser de estado sólido bombeado por diodo, láser semiconductor, láser de fibra, etc. con longitud de onda discrecional. De forma especialmente ventajosa, en una forma de realización de la invención se emplea un sistema láser Ytterbium. Su longitud de onda se encuentra, con una duplicación de frecuencia, en el intervalo de la luz verde. La ventaja de los láseres Ytterbium respecto a los sistemas láser de titanio-zafiro, que poseen una longitud de onda de aproximadamente 800 nm, es la longitud de onda de 1030 nm. Esta se sitúa, con una duplicación de frecuencia, en el intervalo verde con 515 nm, lo cual puede dar como resultado una resolución mejorada. Además, los materiales susceptibles de estructuración pueden procesarse de forma más eficiente que con láser en intervalos de longitudes de onda de aproximadamente 800 nm. La ventana de proceso es considerablemente más grande en cuando a las formulaciones de material. Un láser de titanio-zafiro se sitúa desventajosamente, con duplicación de frecuencia, en el intervalo UV con aproximadamente 400 nm. Sin embargo, este intervalo de espectro tiene tanta energía que, con una exposición de la mayor parte de los sistemas de material que deben solidificarse, ya tendría lugar un proceso 1PP, lo cual puede evitarse con el empleo de sistemas láser con mayores longitudes de onda. Otra desventaja de los láseres de titanio-zafiro es que los impulsos láser tienen una duración demasiado corta en la mayoría de los casos. De esta manera se conseguiría, en efecto, una mayor eficiencia de proceso; no obstante, también se producen problemas porque los impulsos cortos tienen un espectro muy amplio y se producen más bien errores de imagen. Por lo general, los impulsos cortos son más difíciles de manejar, lo cual puede dar como resultado un mayor gasto de tiempo y dinero.

Para concluir, en principio es posible el empleo de sistemas láser Ytterbium. Es ventajoso que se pueda bombear este láser con diodos y que no sean necesarios láseres de bombeo adicionales ni otros instrumentos diversos. No obstante, una ventaja de los láseres Ytterbium respecto a los láseres Nd: YAG son los impulsos relativamente cortos. Mientras que pueden conseguirse impulsos de láser Ytterbium en mucho menos de un picosegundo, por lo general, las longitudes de onda de un láser Nd: YAG son superiores a un picosegundo y, de esta manera, para desencadenar una absorción no lineal, no son precisamente convenientes, ya que existe el peligro de que se creen estructuras poco reticuladas e inestables, lo cual puede dar como resultado las desventajas descritas previamente.

Las duraciones de impulso necesarias para desencadenar de forma eficiente una absorción no lineal son inferiores a un picosegundo. Para mejorar interacciones entre luz y materia y para excitar de forma más eficiente la polimerización pueden emplearse adicionalmente fotoiniciadores. La tasa de repetición se puede ajustar preferentemente entre 1 kHz y 80 MHz, preferentemente entre 10 kHz y 80 MHz. De acuerdo con el sistema material dado pueden emplearse longitudes de onda en el intervalo UV, en el intervalo visible, así como en el intervalo infrarrojo. Los láseres pueden presentar especialmente potencias entre 100 mW y 5 W, preferentemente entre 150 mW y 2 W y/o una duración de impulso de menos de 1 picosegundo y/o una tasa de repetición entre 1 y 80 MHz.

Con el dispositivo de acuerdo con la invención, la distribución del rayo láser o la conformación espacial de haz puede efectuarse de manera diferente. Esta puede ser provocada por el empleo de elementos ópticos difractivos (DOE por sus siglas en inglés) como, por ejemplo, máscaras de fase o de amplitud, conjuntos de microlentes o elementos ópticos difractivos activos, que preferentemente se pueden adaptar dinámicamente, así como combinaciones de estos elementos. Así pueden generarse distribuciones de intensidad discrecionales como, por

ejemplo, varios focos o focos conformados discrecionalmente que permiten la escritura de una estructura, por cada uno, con varios focos conformados dado el caso. Los elementos ópticos difractivos son especialmente ventajosos para la modulación de fase, ya que, en comparación con los elementos ópticos difractivos con máscaras de amplitud, estos presentan una pequeña o nula pérdida de potencia. Además, es posible un empleo de moduladores lumínicos espaciales activos (de transmisión o de reflexión). Como máscara puede emplearse ventajosamente una rejilla unidimensional con una distancia de rejilla de, preferentemente, menos de 10 μm o un conjunto bidimensional con una distancia de píxel de, preferentemente, menos de 10 μm .

Además, pueden emplearse varias ópticas de enfoque. Estas pueden moverse, entonces, en relación con el material de soporte (sustrato), de forma que al mismo tiempo pueden escribirse varias estructuras con un foco respectivamente. El empleo de varias ópticas de enfoque requiere la distribución de la potencia de láser, mediante divisores de haz convencionales, en varios rayos que son conducidos respectivamente a una óptica de enfoque. Finalmente es posible una combinación de las conformaciones de haz anteriores, generando un modulador primeramente la distribución de intensidad deseada de la radiación y enfocándose esta a continuación mediante varias ópticas. Igualmente pueden emplearse también un modulador o una máscara por óptica de enfoque respectivamente. Esta variante hace posible que puedan escribirse al mismo tiempo varias estructuras con varios focos respectivamente.

Cada óptica de enfoque puede ser móvil respecto a otros elementos de la orientación de haz y/o del contenedor de material y/o del material que debe solidificarse y/o de la unidad de soporte, de forma que para su colocación solo debe moverse la óptica de enfoque y los elementos restantes de la orientación de haz pueden estar instalados de forma fija. Especialmente en el caso de una colocación por medio de un movimiento de la óptica, la radiación láser puede ser orientada, de forma especialmente ventajosa, al menos en sectores de la orientación de haz, por medio de fibra óptica.

Para evitar errores de imagen en el enfoque, de acuerdo con la invención pueden emplearse ópticas híbridas a partir de elementos ópticos difractivos y de lentes convencionales. Los elementos ópticos difractivos están fabricados, por ejemplo, de cristal de cuarzo, de materiales que contengan organopolisiloxano, de líquidos o combinaciones discrecionales de materiales. Al emplear ópticas de enfoque, las cuales se emplean sin adaptación al índice de refracción, con profundidades variables de penetración de la luz en el material se obtiene un error de colocación que se produce por la refracción en la superficie límite entre aire y material (es decir, el movimiento del foco no coincide con el movimiento de la óptica). Esta desviación de la colocación en el eje Z del foco puede compensarse por medio de un factor de corrección, por ejemplo, por medio de un software de la máquina.

El dispositivo y el procedimiento de la presente invención no están restringidos, ventajosamente, por limitaciones de difracción de las ópticas de enfoque porque, por una parte, existe un comportamiento de absorción distinto del que existe en el caso de la absorción de un fotón lineal y, por otra parte, se emplea un método de valor umbral. El perfil de absorción (aproximadamente el perfil de Gauss) con una absorción de varios fotones es, además, estrecho, por lo cual es posible una mejor resolución, ya que existe una relación no lineal entre la densidad de fotón y el comportamiento de absorción. Mientras que el comportamiento de absorción de la absorción de un fotón se caracteriza por una linealidad respecto a la densidad de fotón y se puede explicar mediante física clásica, la absorción simultánea de dos o más fotones encuentra su fundamento en la mecánica cuántica. En esta se puede mostrar que con intensidades pico (densidades de fotón) muy elevadas aumenta la probabilidad de uniones de varios fotones. Existe un comportamiento no lineal respecto a la densidad de fotón, por lo cual el perfil de absorción se hace más estrecho. Por un método de valor umbral en los materiales empleados tiene lugar una reacción solo en una zona espacial en la que la intensidad de láser supera este valor de umbral. Así la reacción puede tener lugar, desde el punto de vista espacial, limitada con mucha estrechez, por lo cual se hace posible generar estructuras muy precisas.

En otra forma de realización de la invención, el dispositivo puede presentar un sistema dispensador para la deposición in situ del material que debe solidificarse. Un sistema de este tipo hace posible, ventajosamente, que pueda añadirse material que debe solidificarse al baño de material de forma adaptada al estado de proceso respectivo. Especialmente en la fabricación de grandes cuerpos o estructuras hasta el intervalo de los milímetros o los centímetros esto tiene el efecto positivo de que para comenzar la fabricación solo debe existir tanto material en el baño como sea necesario para generar los primeros vóxeles. Solo en el transcurso de la fabricación posterior y con el crecimiento del cuerpo se sigue suministrando material que debe solidificarse por medio del sistema dispensador, preferentemente, siempre solo en la cantidad necesaria respectivamente para generar los siguientes vóxeles. De este modo el baño está siempre lleno de material que debe solidificarse solo en la cantidad necesaria para generar vóxeles momentáneamente, lo cual tiene la ventaja de que en un movimiento de colocación del baño solo se debe mover una masa proporcionalmente pequeña y en una colocación por medio de un movimiento de una óptica sumergida en el material esta no debe moverse sumergida con profundidad en el material, por lo cual se evitan en gran medida resistencias de corriente y torbellinos en el baño, lo cual influye positivamente en la calidad de los cuerpos deformados. El sistema dispensador puede presentar especialmente toberas capaces de reaccionar libremente que hacen posible un suministro, que se puede definir localmente, de material que debe solidificarse, por lo cual, a causa del ahorro de material, se consigue una reducción considerable de los costes y una eficiencia en el uso de los recursos en la fabricación de elementos funcionales. El sistema dispensador dispone preferentemente de una elevada precisión de colocación en el intervalo de los micrómetros. En principio la guía de procedimiento

descrita anteriormente es posible también de forma manual sin emplear un sistema dispensador.

De acuerdo con otra propuesta, el dispositivo puede presentar un sistema de escáner, especialmente un escáner 3D, o puede emplear uno en el procedimiento. De este modo pueden digitalizarse modelos o cuerpos conformados discrecionalmente y emplearse los datos obtenidos de este modo para escribir de modo sencillo directamente en el material que debe solidificarse cuerpos y estructuras conformados de forma compleja en la máquina. Pueden emplearse como estructura de patrón para otras técnicas de vaciado especialmente estructuras fabricadas con el dispositivo. A este respecto, está previsto tanto un empleo único como un empleo múltiple del mismo patrón.

Otras características y ventajas de la invención se deducen de la siguiente descripción a modo de ejemplo de formas de realización especialmente preferidas mediante las figuras. A este respecto muestran:

- 10 La figura 1, una representación esquemática de un dispositivo de acuerdo con el estado de la técnica.
- Las figuras 2 a 4, representaciones esquemáticas de dispositivos de acuerdo con la invención con exposición del material que contiene organopolisiloxano a través de un contenedor de material.
- Las figuras 5 a 7, representaciones esquemáticas de dispositivos con exposición del material que contiene organopolisiloxano a través de una óptica de enfoque sumergida en el material.
- 15 Las figuras 8 y 9, representaciones esquemáticas de dispositivos con el empleo de elementos para la formación espacial de haz y
- Las figuras 10 y 11, representaciones esquemáticas de dispositivos con un sistema de colocación con eje de rotación.
- La figura 12, una unidad de movimiento para la óptica de enfoque.
- 20 La figura 13, una representación de la detección óptica de un punto de anclaje.
- Las figuras 14a y b, dos estructuras tridimensionales fabricadas de acuerdo con la invención con el orden de tamaños más diverso, de las cuales la última se puede emplear como "matriz" (la distancia de una gran abertura cuadrada respecto a la siguiente es de aproximadamente 300 μm).

En la figura 1 está representado esquemáticamente un dispositivo para ilustrar la invención. El dispositivo de acuerdo con esta figura presenta una fuente láser 1, un espejo deflector 2 como componente de una guía de rayo, así como una óptica de enfoque 3. El rayo láser 4 no enfocado que sale de la fuente láser 1 es conducido por el espejo deflector 2 hacia la óptica de enfoque 3. En ella es enfocado en un foco 5.

Por debajo de la óptica de enfoque 3 está dispuesto material que debe solidificarse 6 entre un soporte inferior 7 y un soporte superior 8. Como está indicado esquemáticamente en la figura 1, el alojamiento de material que consta de soporte inferior 7 y soporte superior 8 se puede colocar con el material que debe solidificarse 6, que se sitúa en medio, en relación con el foco 5 y con la óptica de enfoque 3 en las direcciones X e Y, mientras que la óptica de enfoque 3 se puede colocar en relación con el material 6 en la dirección Z.

La figura 1 muestra una disposición de la óptica de enfoque 3 en relación con el material que debe solidificarse 6 en el inicio de un ciclo de solidificación. El foco 5 limita directamente con el soporte inferior 7, de forma que en la zona de foco hay material que debe solidificarse que se acumula en el soporte 7. Esta posición inicial es necesaria para solidificar el material en el marco de la solidificación posterior de forma que se pueda colocar de forma fijada, ya que de otro modo no pueden construirse estructuras definidas. Para que esta posición de partida del foco pueda arrancar, la distancia entre los lados superiores respectivos de soporte inferior 7 y soporte superior 8 debe ser inferior a la distancia de trabajo 9 de la óptica de enfoque 3. En caso contrario no es posible colocar el foco 5 en el soporte inferior 7 ni acumular en él material que debe solidificarse. En caso de una acumulación inicial en el lado inferior del soporte superior 8, la distancia entre soporte inferior 7 y soporte superior 8 podría ser, en efecto, superior a la distancia de trabajo de la óptica de enfoque 3. Entonces, sin embargo, sería posible una solidificación solo con una distancia restringida respecto al soporte superior 8 que se corresponda con la distancia de trabajo 9 menos el grosor del soporte superior 8. Así la geometría y el tamaño de las estructuras que se pueden generar están limitados de un modo no deseado.

La figura 2 muestra una primera forma de realización de la invención en la que se efectúa una exposición del material que debe solidificarse a través de un contenedor de material 10. En el caso representado, es expuesto desde abajo por el fondo 11 del contenedor de material 10, conduciéndose un rayo láser 4 no enfocado, generado en la fuente láser 1, por medio de un espejo deflector 2 hacia una óptica de enfoque 3 dispuesta debajo del contenedor de material 10. El espejo deflector 2 puede estar configurado de forma que se puede colocar. El rayo es enfocado por este hacia el material que debe solidificarse 6 alojado en el contenedor de material 10. Como ocurre también en el caso del dispositivo de acuerdo con la figura 1, la profundidad máxima a la que el foco se puede introducir en el material que debe solidificarse 6 está limitada por la distancia de trabajo 9 de la óptica de enfoque 3. Para poder evitar una restricción de tamaño, provocada por ello, de las estructuras que se deben generar, el

dispositivo representado en la figura 2 presenta una unidad de soporte 12 que se puede colocar en relación con el contenedor de material 10. La unidad de soporte 12 está sumergida en el material que debe solidificarse 6 que se encuentra en el contenedor de material 10. En el ejemplo representado la unidad de soporte 12 puede colocarse en la dirección Z, mientras que la óptica de enfoque 3 puede colocarse en las direcciones X e Y.

- 5 En la figura 2 está representado también, a modo de ejemplo, el inicio de la producción de una estructura. A este respecto, la unidad de soporte 12 está colocada de tal forma respecto a contenedor de material 10 y foco 5 que el foco limita con la superficie inferior de la unidad de soporte 12. En la zona del foco 5 hay material que debe solidificarse que se separa en el lado inferior de la unidad de soporte 12 y se adhiere a este. De forma adaptada a las dimensiones de elementos de volumen ya solidificados, la unidad de soporte 12 puede colocarse en la dirección Z, de forma que el foco queda en una superficie límite de material ya solidificado y a continuación hay material solidificado que se acumula en material ya solidificado y se adhiere a él. Con una colocación de la óptica de enfoque 3 en las direcciones X e Y y una introducción correspondiente de impulsos láser se determina la posición de la solidificación en la dirección X o Y. Por la unidad de soporte que puede colocarse en la dirección Z y la guía de desplazamiento correspondiente se hace posible que se solidifiquen estructuras cuyas dimensiones sean independientes de la distancia de trabajo 9 de la óptica de enfoque 3 y especialmente que sean más grandes.

La figura 5 muestra otro dispositivo en otra representación esquemática. El dispositivo presenta, a su vez, una fuente láser 1, siendo conducido un rayo láser 4 no enfocado, que sale de esta, por medio de un espejo deflector 2 hacia una óptica de enfoque 3. Este dispositivo presenta, además, un contenedor de material 10 con material que debe solidificarse 6, así como con una unidad de soporte 12. En el ejemplo mostrado no se puede desplazar, pero en principio puede colocarse en una o varias direcciones. La introducción de la radiación láser en el material que debe solidificarse 6 se efectúa por medio de la óptica de enfoque 3, que está sumergida en el material que debe solidificarse 6.

La óptica de enfoque 3 presenta una carcasa 14 con una superficie de salida de rayo 13 y en el ejemplo representado puede colocarse en las tres direcciones espaciales X, Y y Z. Con la inmersión de la óptica de enfoque 3, su superficie de salida de rayo 13 configura una superficie límite definida ópticamente respecto al material que debe solidificarse 6, por lo cual es posible una introducción definida y precisa de la radiación láser en el material que debe solidificarse 6.

La figura 5 muestra nuevamente el dispositivo en el inicio de un proceso de estructuración, en el que la óptica de enfoque 3 está dispuesta en relación con la unidad de soporte 12 en la distancia de trabajo 9, de forma que el foco 5 limita con la superficie de la unidad de soporte 12. Mediante una colocación correspondiente en la dirección X o Y se determina la solidificación y la acumulación en la dirección X o Y. Después de la solidificación inicial en la unidad de soporte 12, la estructuración puede implementarse de forma adaptada, mediante la colocación correspondiente de la óptica de enfoque 3 en la dirección Z, al grosor del material ya solidificado y que se adhiere a la unidad de soporte 12. Tampoco en esta forma de realización de la invención la altura de las estructuras que se pueden generar está restringida por la distancia de trabajo 9 de la óptica de enfoque 3.

La presente invención emplea, para todas las formas de realización posibles, una óptica de enfoque 3 con una AN elevada, al menos con una AN de más de 0,25, para conseguir la alta resolución o los pequeños vóxeles deseados. Las distancias de trabajo 9 de los objetivos se sitúan preferentemente entre 0,1 y 100 mm, muy preferentemente entre 1 y 100 mm. A este respecto cabe destacar que, por supuesto, la zona de foco 5 de la óptica de enfoque debe situarse en el interior del baño 10. Por lo consiguiente, en la elección de la distancia de trabajo correcta también debe tenerse en cuenta el grosor del fondo de baño transparente, el cual debe ser atravesado. Es conveniente elegir el grosor del fondo de baño en el intervalo de 0,1 a 20 mm, preferentemente en el intervalo de 0,5 a 5 mm. Para la distancia de la zona de foco 5 al fondo de baño, los valores de 0,1 a 2 mm son los más convenientes. Con valores más bajos existe el peligro de que el material se solidifique directamente en el fondo y se adhiera a él. La consecuencia de esto sería que la extracción de la unidad de soporte 12 se vería obstaculizada. Con valores por encima del intervalo conveniente se debe esperar que aumenten los errores de imagen (sobre todo la aberración esférica). Como, de acuerdo con la invención, la óptica de enfoque se mueve al menos en un plano (en la mayor parte de los casos, el horizontal, es decir, el plano X-Y), no se llega obligatoriamente al tamaño de la AN elegida, al menos con un valor mínimo de 0,25.

50 En un ejemplo de la invención se emplean un objetivo de elevada AN con una AN = 1,4 y una distancia de trabajo de 200 μm que está fabricado de forma que se configura un foco ideal si se emplea un fondo de contenedor grueso de 170 μm , se aplica aceite de inmersión entre lente de salida y fondo de contenedor y la distancia del objetivo esta elegida de forma que el foco se sitúa inmediatamente por encima del lado interior de fondo de contenedor, es decir, de tal forma que el vóxel que se forma no puede pegarse al fondo de contenedor.

55 El lanzamiento del rayo láser hacia la óptica de enfoque se efectúa, de acuerdo con la invención, preferentemente por medio de un sistema de espejos, como está representado en la figura 12.

La figura 8 muestra un dispositivo que se corresponde en esencia, desde su construcción, con la forma de realización de acuerdo con la figura 5. Como elemento adicional, entre espejo deflector 2 y óptica de enfoque 3 en la trayectoria de rayo está dispuesto un elemento de conformación de haz 12, por ejemplo, en forma de una máscara

de fase o de amplitud. Por el empleo del elemento de conformación de haz 15, la radiación láser se enfoca por medio de la óptica de enfoque 3 en varios focos 5a, 5b y 5c, de forma que en varios puntos se puede solidificar al mismo tiempo material que debe solidificarse 6. El número de puntos de solidificación se corresponde, a este respecto, con el número n de focos generados (paralelización). La figura 9 muestra un empleo correspondiente de un elemento de conformación de haz 15 en el marco de un dispositivo de acuerdo con el ejemplo de realización de la figura 2. Se hace referencia a la descripción precedente respecto a la figura 2.

En las figuras 3, 4, 6 y 7 están representados otros dispositivos con paralelización. A este respecto, la paralelización se consigue respectivamente empleando un espejo deflector 16 semitransparente que distribuye el rayo láser 14 no enfocado, que sale de la fuente láser 1, en dos rayos parciales 17a, 17b, que son conducidos respectivamente hacia una óptica de enfoque 3 autónoma.

Los dispositivos de acuerdo con las figuras 3 y 6 presentan dos unidades de soporte 12a y 12b sumergidas en el material que debe solidificarse 6, unidades que pueden colocarse conjuntamente o independientemente una de otra en la dirección Z. Con estos dispositivos pueden generarse al mismo tiempo, controlando correspondientemente los ejes de colocación, estructuras con diferente geometría. Las figuras 4 y 7 muestran dispositivos en los que, mediante paralelización, se puede escribir en varios puntos al mismo tiempo sobre una unidad de soporte 12 que está sumergida en el material que debe solidificarse.

Otros dispositivos están representados en las figuras 10 y 11. En lugar de una unidad de soporte 12 que se puede colocar solo linealmente, en este caso se emplea una mesa rotatoria 18 que, adicionalmente o como alternativa a una colocación lineal, hace posible una colocación rotatoria, por ejemplo, en torno a un eje de rotación 19. La mesa rotatoria 18 representada en la figura 10 sirve para colocar una unidad de soporte en forma de láminas con material que debe solidificarse 6 en relación con el foco 5.

En el caso del dispositivo representado en la figura 11 se sumerge una unidad de soporte 12, que puede rotar en torno a un eje de rotación y que se puede colocar en la dirección Z, en un baño de material que debe solidificarse. La óptica de enfoque 3 se puede colocar linealmente en las direcciones X e Y. La posición de foco está ajustada de forma que hay material 6 en la unidad de soporte 12 que se solidifica, se separa y casi se enrolla.

Referencias

1	Fuente láser
2	Espejo deflector
3	Óptica de enfoque
30	4 Rayo láser no enfocado
	5 Foco
	6 Material que debe solidificarse
	7 Soporte inferior
	8 Soporte superior
35	9 Distancia de trabajo
	10 Contenedor de material
	11 Fondo
	12 Unidad de soporte
	13 Salida de rayo
40	14 Carcasa
	15 Elemento de conformación de haz
	16 Espejo deflector semitransparente
	17a,b Rayos parciales
	18 Mesa rotatoria
45	19 Eje de rotación

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para generar estructuras tridimensionales de un material que debe solidificarse (6), especialmente de un material que contiene organopolisiloxano, por solidificación selectiva localmente del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica inducida por luz, que presenta:
- 5 una fuente láser (1),
una óptica de enfoque móvil (3) para la formación de uno o varios focos láser (5) y un contenedor de material (10) para el material que debe solidificarse, estando la fuente láser y la óptica de enfoque configuradas para generar impulsos láser o secuencias de impulsos láser, que en su foco desencadenan una polimerización de dos fotones o más del material que debe solidificarse, y presentando la óptica de enfoque una apertura numérica de
- 10 $>0,25$,
estando compuesto el contenedor de material, al menos parcialmente, por un material que deja pasar la radiación láser empleada y estando dispuesto o pudiendo disponerse en la trayectoria del rayo de forma que la radiación láser se puede introducir, a través del contenedor de material, en el material que debe solidificarse, quedando fijo el contenedor de material y actuando como superficie límite definida ópticamente, estando
- 15 dispuesta en el contenedor de material una unidad de soporte (12) que se puede colocar en relación con este, y un sistema de detección óptico para medir in situ una estructura ya introducida en el material y/o la unidad de soporte (12) que actúa como sustrato.
2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la óptica de enfoque se puede mover al menos en el plano horizontal (X-Y).
- 20 3. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la óptica de enfoque (3) posee una apertura numérica de $>0,5$ y, preferentemente, de $>1,0$.
4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la distancia de trabajo entre un objetivo de la óptica de enfoque (3) y el foco láser correspondiente se encuentra entre 0,1 y 100 mm, preferentemente entre 1 y 10 mm.
- 25 5. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** presenta una óptica (16) para distribuir espacialmente el rayo láser (17a, 17b) y para generar al menos dos focos láser (5a, 5b), separados espacialmente uno de otro, o máximos de intensidad.
6. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el sistema de detección presenta una fuente de luz, así como un sistema de detección electrónico.
- 30 7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** el sistema de detección detecta, al menos parcialmente, la topografía de la unidad de soporte y está conectado a un sistema de regulación, el cual detecta puntos de superficie que se desvían eventualmente del valor nominal de tal forma que son controlados ópticamente de manera correcta.
8. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que presenta, además, un sistema dispensador para depositar in situ el material que debe solidificarse.
- 35 9. Procedimiento para generar estructuras tridimensionales de un material que debe solidificarse (6), especialmente de un material que contiene organopolisiloxano, por solidificación selectiva localmente del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica inducida por luz a causa de una irradiación por láser (1), estando dispuesto o disponiéndose el material que debe solidificarse en un contenedor de material (10), siendo el
- 40 contenedor de material permeable para el láser usado, al menos parcialmente, y no moviéndose durante el procedimiento, situándose un impulso láser o una secuencia de impulsos láser, con ayuda de una óptica de enfoque (3) móvil con una apertura numérica de $>0,25$, a través del contenedor de material en el material que debe solidificarse sobre al menos un foco láser (5), de forma que el contenedor de material configura una superficie límite definida ópticamente por medio de la cual el láser se introduce en el material que debe solidificarse, desencadenando el impulso láser o la secuencia de impulsos láser en su foco una polimerización de dos o más
- 45 fotones del material que debe solidificarse, de tal forma que solo en el entorno directo del al menos un foco láser se consiguen, por la intensidad existente en él, condiciones de solidificación, de forma que en el tiempo que dura el impulso láser o la secuencia de impulsos láser por foco se solidifica un elemento de volumen del material que debe solidificarse,
- 50 situándose en el material que debe solidificarse una unidad de soporte (12), en relación con el al menos un foco, láser de tal forma que durante la solidificación el material que debe solidificarse se acumula sobre la unidad de soporte o sobre material ya solidificado en la unidad de soporte, pudiendo situarse la unidad de soporte en relación con el contenedor de material,
y midiéndose in situ con un sistema de detección una estructura ya introducida en el material y/o la unidad de
- 55 soporte que actúa como sustrato.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** la óptica de enfoque se puede mover al menos en el plano horizontal (X-Y).

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado porque** un rayo láser se distribuye en al menos dos rayos parciales (17a, 17b) y/o generándose al menos dos focos láser (5a, 5b), separados uno de otro espacialmente, o máximos de intensidad.

5 12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** el material que debe solidificarse es suministrado in situ al contenedor de material por medio de un sistema dispensador.

13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** la unidad de soporte es una banda de soporte que es desenrollada por un rodillo, arrastrada en una dirección (dirección X) a través del material que debe solidificarse en el contenedor de material y enrollada de nuevo después de retirar la(s) estructura(s) tridimensional(es) generada(s) sobre ella, efectuándose el movimiento de arrastre de forma discontinua o continua.

10

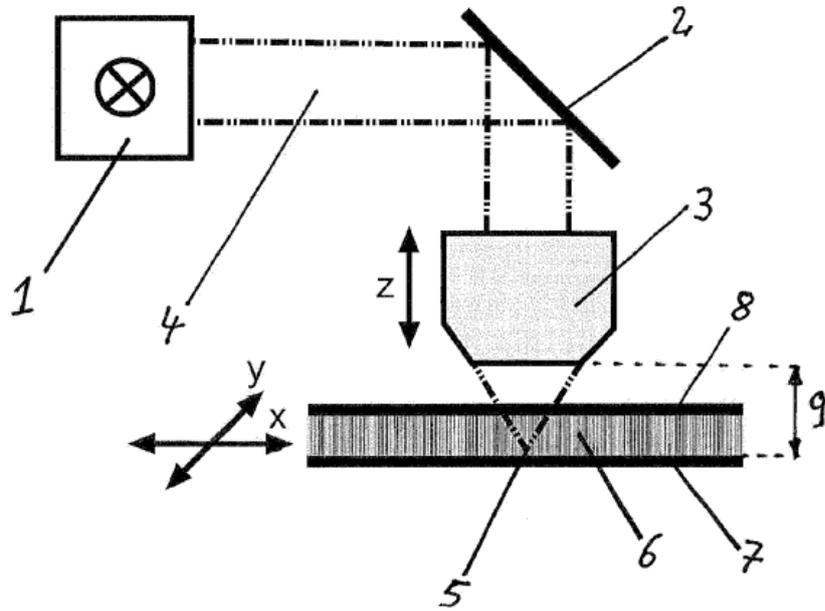


Fig. 1

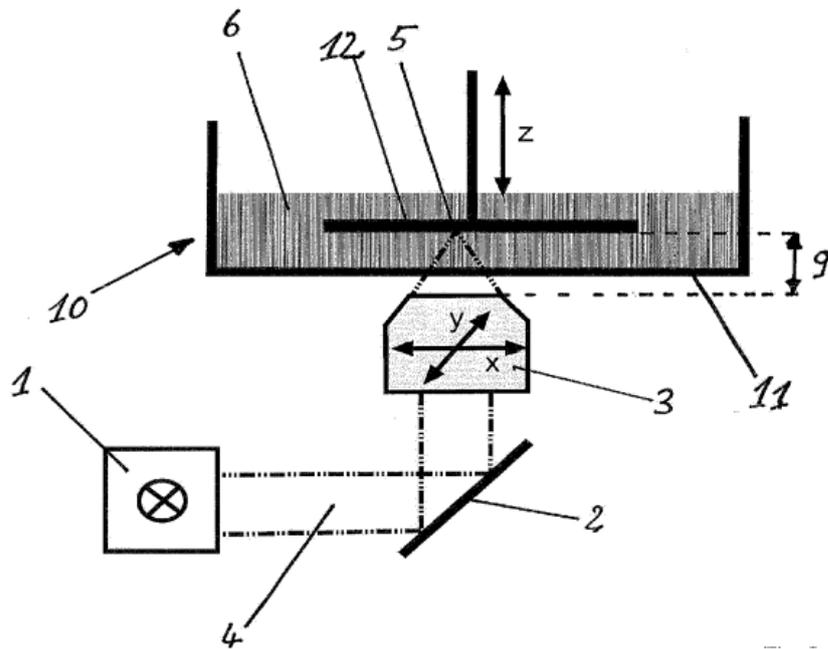


Fig. 2

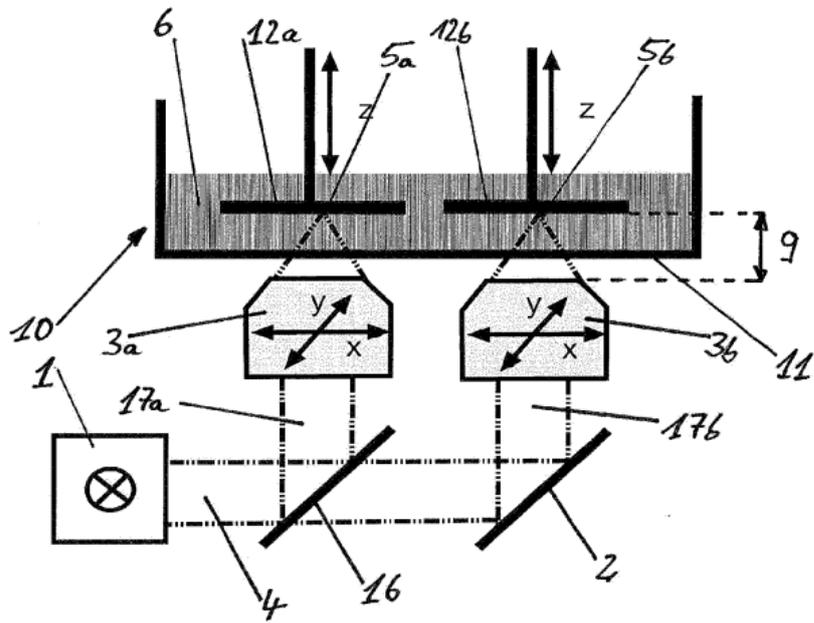


Fig. 3

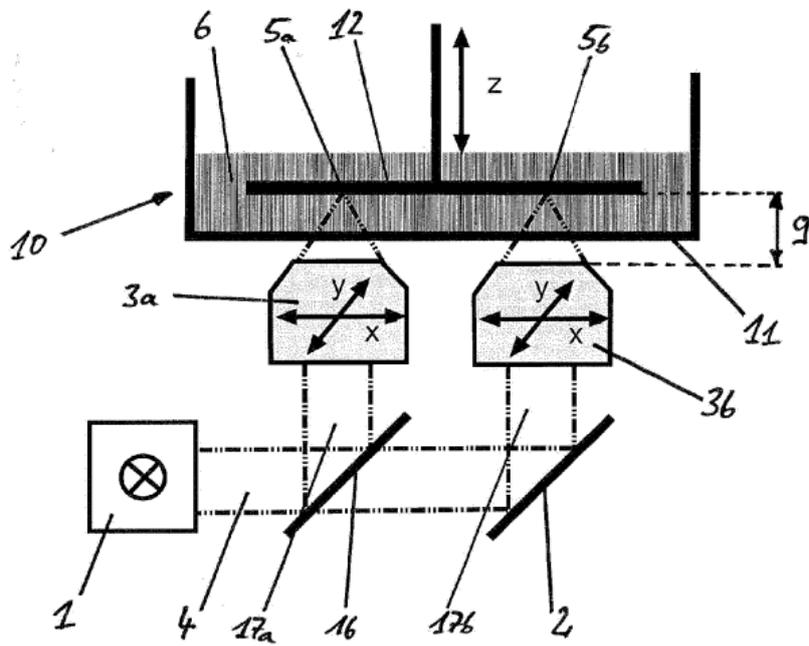


Fig. 4

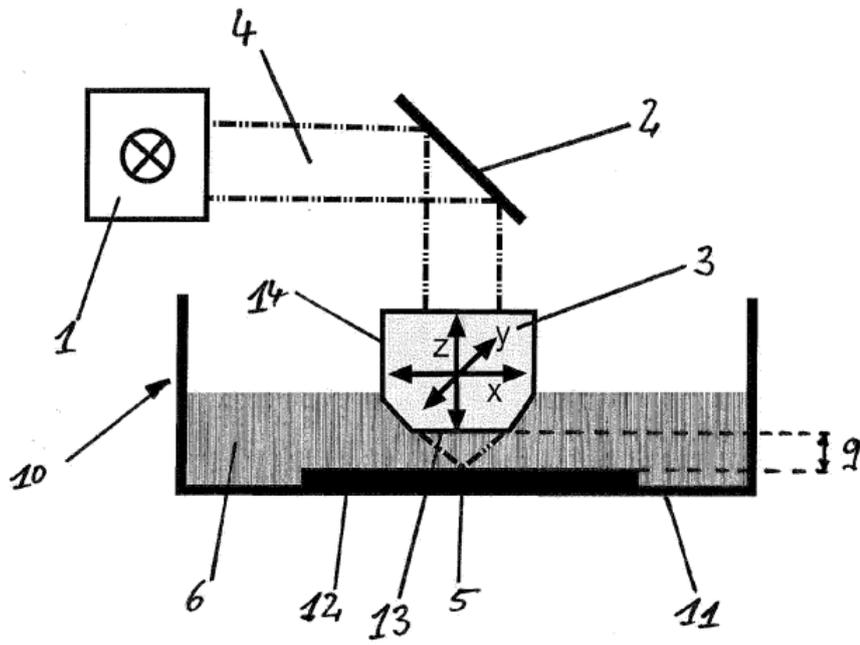


Fig. 5

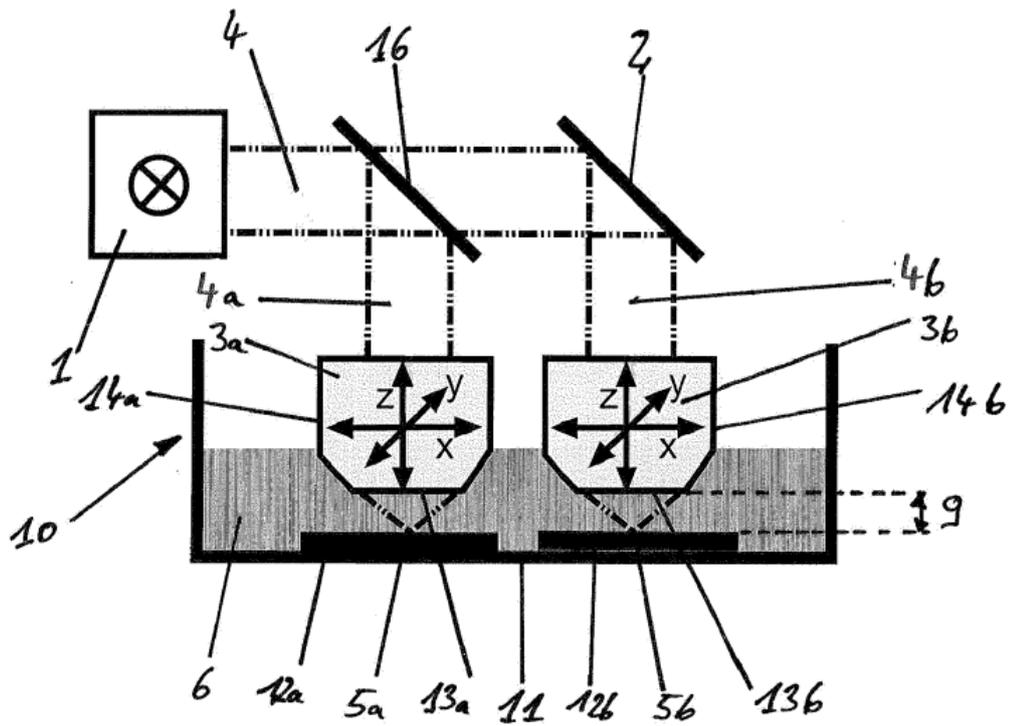


Fig. 6

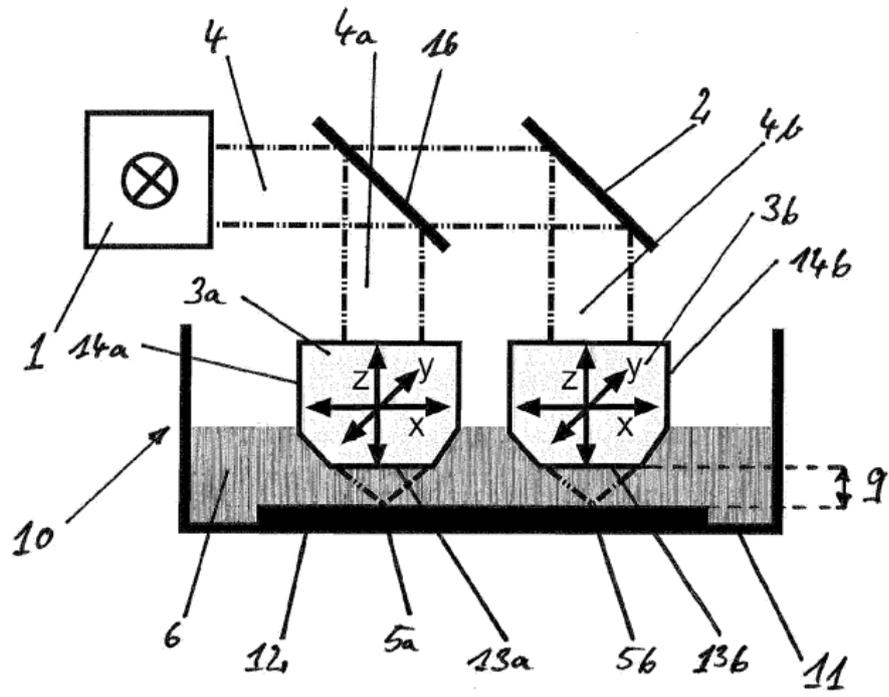


Fig. 7

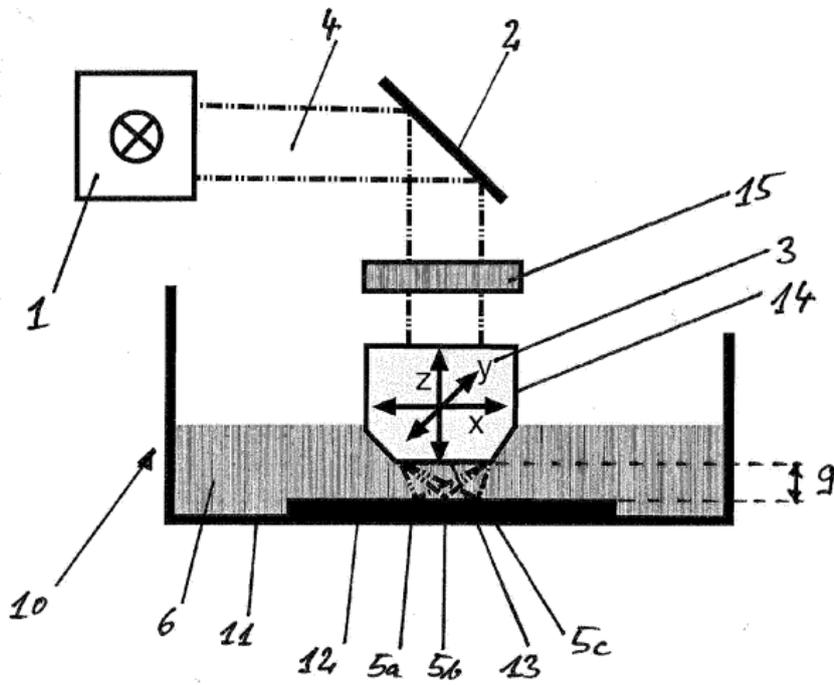


Fig. 8

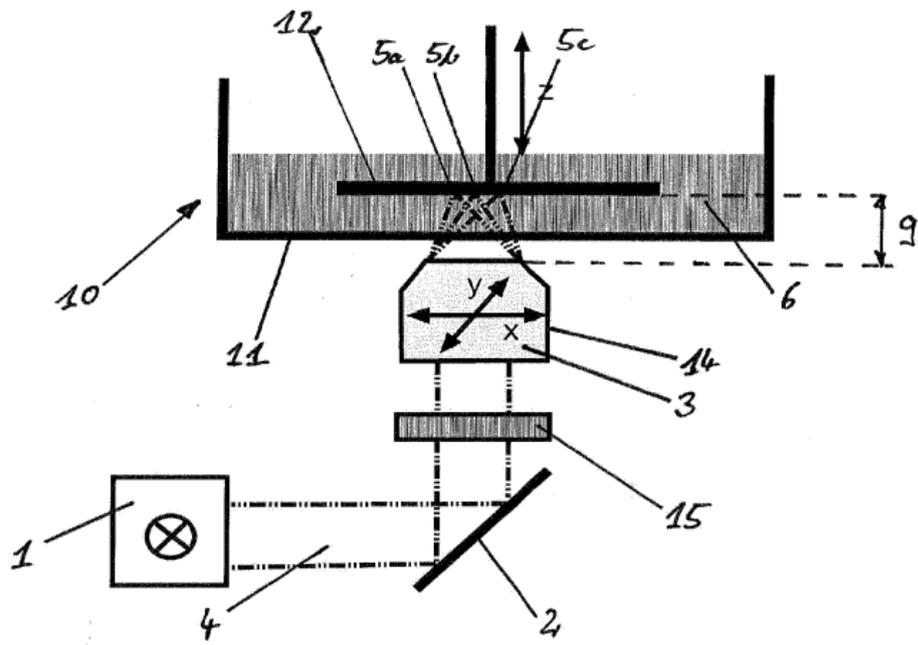


Fig. 9

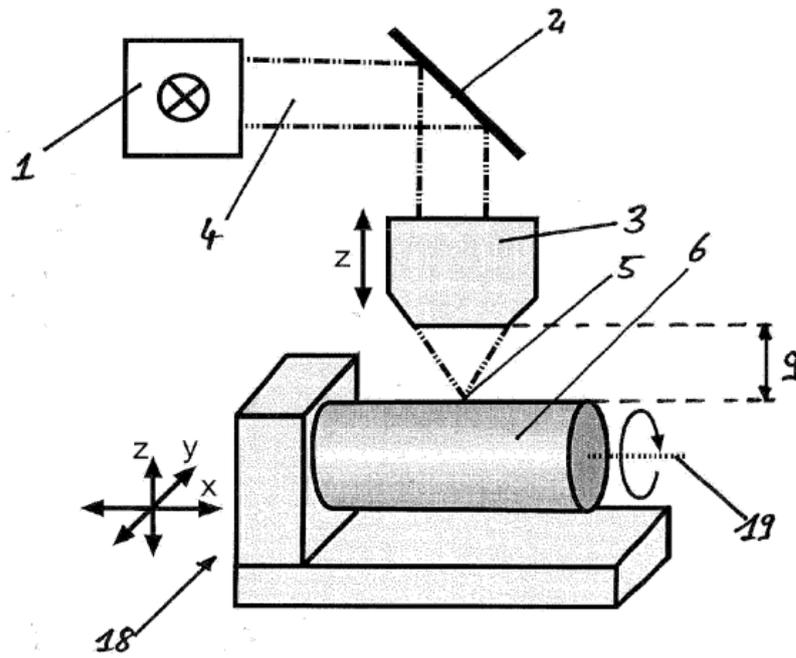


Fig. 10

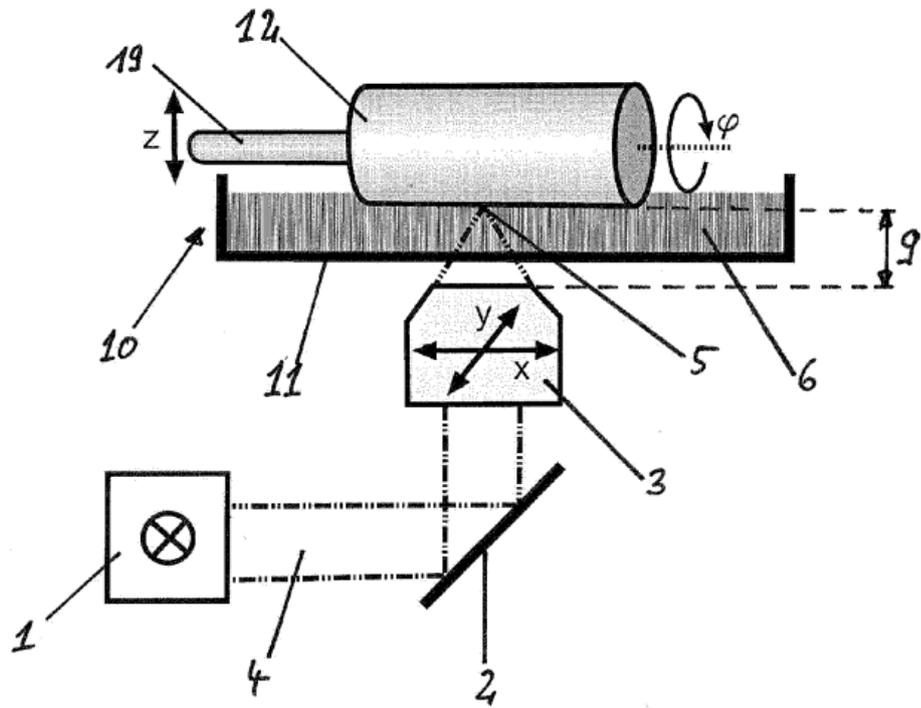


Fig. 11

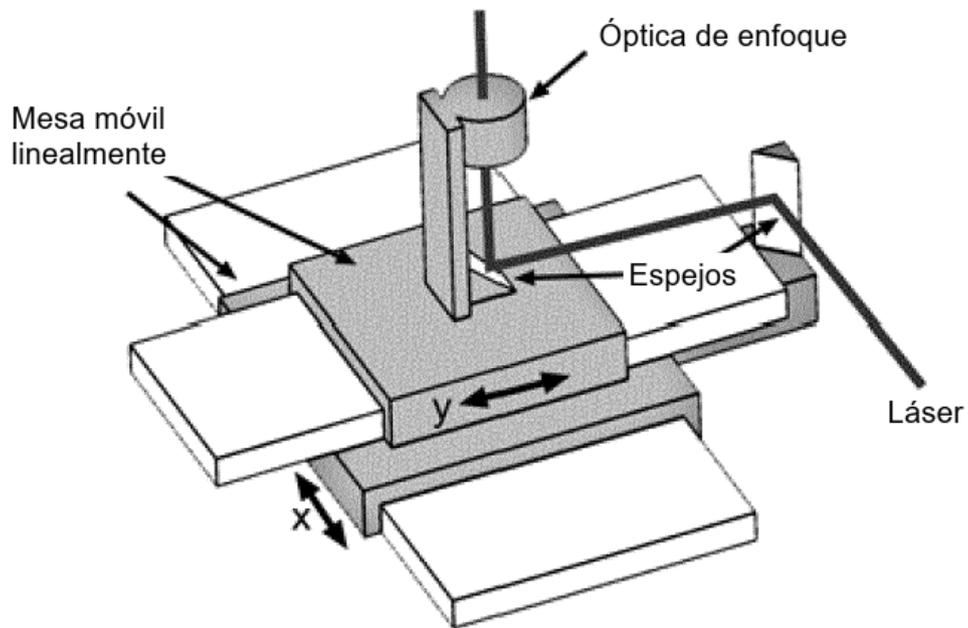


Fig. 12

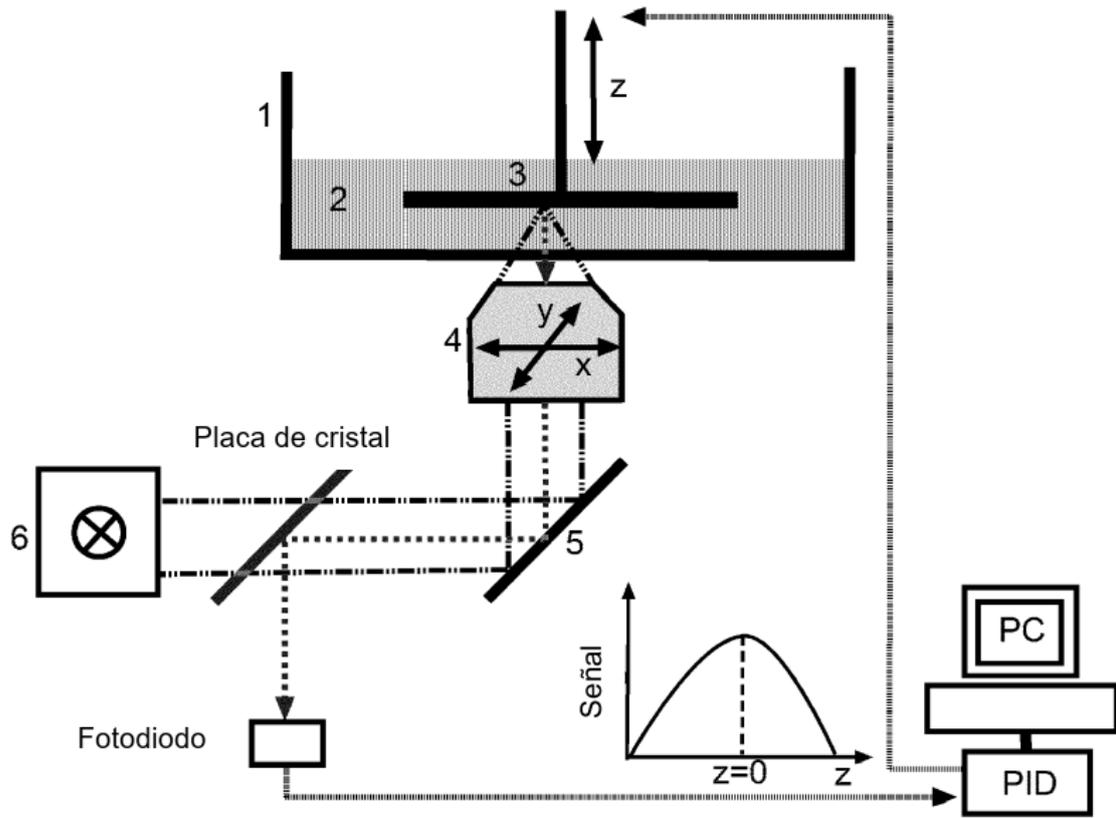


Fig. 13

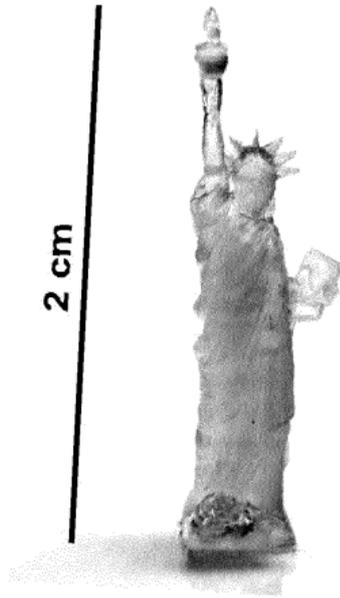


Fig. 14a

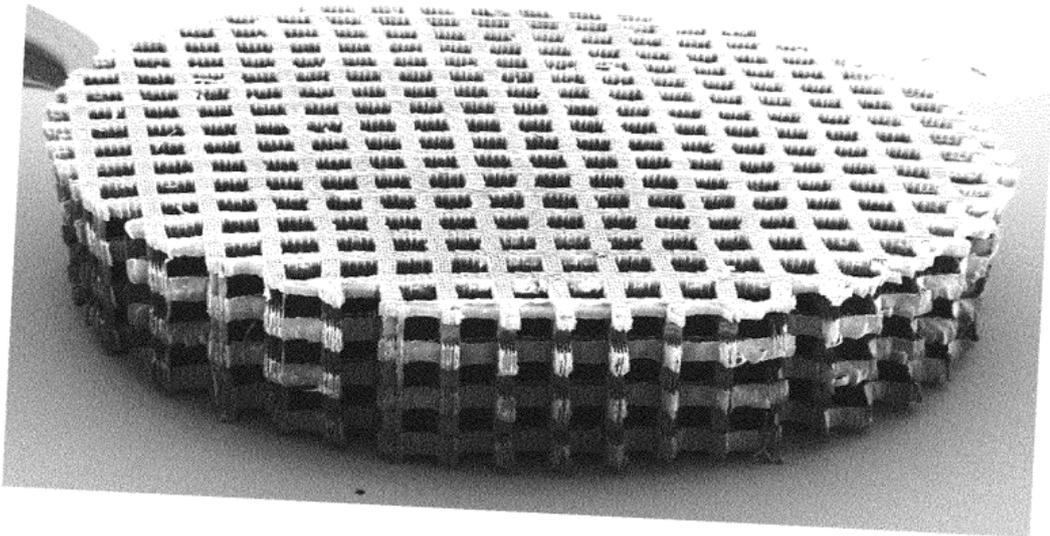


Fig. 14b