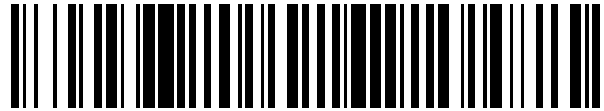


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 028**

51 Int. Cl.:

B29C 67/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2011 E 11721021 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2015 EP 2569140**

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

30 Prioridad:

11.05.2010 DE 102010020158

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.08.2015

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastraße 27C
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 543 028 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 producir estructuras tridimensionales

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para producir estructuras tridimensionales tales como cuerpos o estructuras superficiales, a partir de un material que ha de ser solidificado, especialmente a partir de un material que contiene organopolisiloxano, mediante la solidificación local selectiva del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica fotoinducida.

10 Por el estado de la técnica es conocido el modo de producir cuerpos o estructuras superficiales tridimensionales, por ejemplo mediante procesos fotoinducidos, especialmente mediante reticulación orgánica, produciendo inicialmente siempre sólo una capa o un plano como componente bidimensional de la estructura que ha de ser creada y la formación tridimensional del cuerpo o de la estructura superficial se realiza mediante el procesamiento sucesivo de capas o planos bidimensionales sucesivos. Ejemplos de este tipo de procedimientos que trabajan de forma bidimensional son la estereolitografía, la sinterización láser selectiva (SLS) o la impresión 3D (3DP). En los procedimientos bidimensionales resultan desventajosos los tiempos de producción relativamente largos, ya que los cuerpos que han de ser fabricados se generan por capas y después de cada solidificación de capa se ha de preparar una nueva capa que ha de ser solidificada. Estas desventajas pesan especialmente, si los cuerpos que han de ser fabricados se han de producir con tamaños hasta el rango milimétrico y centimétrico.

20 En una variante especial de la estereolitografía, la exposición se realiza a través del fondo transparente del recipiente de baño para evitar un efecto recíproco del cuerpo originado con la atmósfera de gas situada encima de la superficie del baño, por ejemplo una reacción de oxidación. El material líquido se solidifica directamente cerca del fondo del recipiente. Parea evitar la adhesión del material que se va solidificando al fondo, este debe estar cubierto de un líquido no polimerizable como capa de separación, véase el documento DE4102260A1, reivindicación 13. Esto hace que el procedimiento sea difícil de dominar, ya que durante el desplazamiento de la plataforma de soporte, el líquido solidificable debe entrar en el intersticio entre la capa de separación y la última capa solidificada sin que se arremoline el líquido de separación. Por lo tanto, el procedimiento apenas resulta adecuado para la fabricación de cuerpos a partir de materiales de partida altamente viscosos como lo son frecuentemente los organo-polisiloxanos, especialmente los que están exentos de disolventes.

30 Unos procesos más rápidos los ofrecen los procedimientos tridimensionales en los que una radiación modificadora de materiales interacciona directamente en el volumen de un material de partida sólido o líquido, aún no tratado. Por el documento WO03/037606A1 se dio a conocer el uso de la polimerización bifotónica o multifotónica en la solidificación de materiales que contienen organopolisiloxano, (la polimerización se realiza por absorción bifotónica (TP) o multifotónica). Se usa radiación de una longitud de ondas que en circunstancias normales no es absorbida en el material reactivo. Mediante el enfoque de impulsos láser con una longitud de femtosegundos al interior del material, en el punto focal de la óptica se produce una absorción multifotónica, por lo que modificaciones químicas similares se pueden inducir como si se utilizara radiación láser de longitudes de ondas sensiblemente más cortas. De esta manera, las modificaciones de material se pueden desencadenar de forma selectiva en el espacio tridimensional.

45 Una desventaja de los procedimientos tridimensionales conocidos y dispositivos para su realización es que especialmente en caso elevados requerimientos de precisión se pueden producir estructuras sólo con un tamaño limitado en el rango micrométrico. Esta desventaja se debe a la menor distancia de trabajo de la óptica, necesaria para conseguir una precisión suficiente, es decir, la distancia entre el plano focal y la lente de salida de la óptica que generalmente es variable y dependiente de la apertura numérica de la óptica empleada. Así, la distancia de trabajo para ópticas de alta resolución con una apertura numérica de AN = 0,9 a 1,4 es de aprox. 500µm a 200µm. En los procedimientos o dispositivos conocidos para la solidificación de materiales mediante polimerización multifotónica, el material que ha de ser solidificado se dispone por ejemplo en la cantidad de una gota entre dos placas ópticas como soporte de objeto o de forma adherida a un soporte de objeto abierto. Para permitir una exposición bajo condiciones definidas se ha de exponer a través de una superficie límite definida. En el caso de material dispuesto entre dos placas, la exposición se realiza desde arriba o desde abajo a través de una de las dos placas. En el caso de un soporte de objeto abierto, la exposición se realiza desde abajo a través del lado inferior del soporte de objeto. Resulta desventajoso que no se pueden solidificar estructuras más grandes, ya que a causa de la exposición por o a través del soporte de objeto, el material en el lado del mismo que está opuesto a la óptica puede ser solidificado sólo a una distancia limitada del soporte de objeto, determinada por la posición de trabajo de la óptica. En los procedimientos de solidificación tridimensionales conocidos en la actualidad, el tamaño de las estructuras que se pueden fabricar está limitado a entre aprox. 100µm y 700µm en función de la precisión que se ha de conseguir.

60 En el documento WO92/00185, una variante especial del dispositivo se refiere a una óptica de focalización móvil

verticalmente (es decir, a lo largo del eje óptico) con una alta apertura numérica que para evitar errores originados por superficies límite de líquido-aire se sumerge en un baño con el mismo material solidificable que está previsto como material de baño para la fabricación del cuerpo solidificable. El foco del dispositivo se encuentra fuera de dicho baño en un segundo baño.

5 El documento DE10111422A propone para un procedimiento similar disponer el recipiente de baño sobre una mesa desplazable en el plano X-Y y prever en esta una plataforma de construcción desplazable por control en la dirección Z para poder posicionar de manera variable y adecuada el foco (zona focal). La exposición se realiza desde arriba al interior de la superficie de baño abierta. Alternativamente, se realiza un movimiento del foco en las
10 direcciones X e Y con la ayuda de un dispositivo escáner, es decir, con uno o varios espejo(s) móviles. En este sistema no se puede usar una alta apertura numérica de la óptica y por tanto no se puede conseguir una alta resolución estructural a la vez de un tamaño de cuerpo de moldeo elegible libremente. Además, se producen errores por la exposición a través de la superficie de baño abierta que no representa una superficie óptica limpia.

15 En el documento FR2639948A1 se describen un procedimiento y un dispositivo para la solidificación de un material de baño con la ayuda de la irradiación de luz enfocada al interior de un material de baño polimerizable. Para evitar la desventaja de que el materia de baño se solidifique a lo largo de la trayectoria completa del rayo de luz se propone disponer entre la salida de los rayos de luz de la óptica de focalización y el foco un "volumen neutro V" que sin embargo también podría suprimirse.

20 Por el documento US2003/0013047A1 se dio a conocer la fabricación de un cuerpo de moldeo entre otras cosas mediante polimerización 2PP, según el que el cuerpo de moldeo por una parte debe poder fabricarse de manera rápida y por otra parte su superficie debe presentar una precisión y resolución suficientes. Para ello, en primer lugar, se realiza con medios convencionales una pre-estructura y, a continuación, esta se dota de las superficies
25 precisas necesarias, con la ayuda de la polimerización 2PP. En lugar de la producción de la pre-estructura, también se puede poner a disposición un objeto prefabricado de manera discrecional.

Partiendo del estado de la técnica descrito anteriormente, la presente invención tiene el objetivo de proporcionar un dispositivo así como un procedimiento para producir cuerpos tridimensionales o estructuras superficiales mediante
30 la solidificación local selectiva de un material como consecuencia de una reticulación orgánica fotoinducida, pudiendo producirse sustancialmente cuerpos y estructuras conformados de manera discrecional, especialmente con dimensiones y alturas del rango milimétrico y centimétrico, preferentemente con tiempos de producción reducidos con respecto al estado de la técnica y con una resolución correspondientemente alta, con un bajo gasto de material y con una alta precisión y alta reproducibilidad. Especialmente, la invención debe permitir producir con
35 una precisión muy alta incluso cuerpos grandes.

En cuanto al dispositivo, este objetivo se consigue mediante un dispositivo para producir estructuras tridimensionales a partir de un material que ha de ser solidificado, especialmente a partir de un material que contiene organopolisiloxano, mediante la solidificación local selectiva del mismo como consecuencia de una
40 reticulación orgánica fotoinducida, tal como se define en la reivindicación 1, que presenta una fuente de láser, una óptica de focalización móvil para formar uno o varios focos de láser y un recipiente de material para el material que ha de ser solidificado, y en el que la fuente de láser y la óptica de focalización están realizadas para producir impulsos láser o secuencias de impulsos láser que en su punto focal desencadenan una polimerización bifotónica o multifotónica del material que ha de ser solidificado, y en el que la óptica de focalización presenta una apertura
45 numérica $>0,25$, y en el que la óptica de focalización es estanca frente al material que ha de ser solidificado y está dispuesta de tal forma que se puede sumergir en el material que ha de ser solidificado dentro del recipiente de material, de tal forma que una superficie de salida de rayo de la óptica de focalización misma forma la superficie límite definida ópticamente. Preferentemente, la óptica de focalización se puede mover en las tres direcciones espaciales y por tanto se puede posicionar libremente en el baño.

50 En cuanto al procedimiento, el objetivo se consigue mediante un procedimiento para producir estructuras tridimensionales a partir de un material que ha de ser solidificado, especialmente a partir de un material que contiene organopolisiloxano, mediante la solidificación local selectiva del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica fotoinducida a causa de una irradiación mediante láser tal como se define en la reivindicación
55 10, en el cual el material que ha de ser solidificado está dispuesto o se dispone en un recipiente de material, y un impulso láser o una secuencia de impulsos láser se posiciona en el interior del material que ha de ser solidificado, a través de una óptica de focalización móvil con una apertura numérica $>0,25$ y en al menos un foco de láser, desencadenando el impulso láser o la secuencia de impulsos láser en su punto focal una polimerización bifotónica o multifotónica del material que ha de ser solidificado, de tal forma que tan sólo en el entorno inmediato del al
60 menos un foco de láser, por la intensidad presente allí, se alcanzan condiciones de solidificación, de modo que durante la duración de la secuencia de impulsos láser se solidifica por cada foco un elemento de volumen del

material que ha de ser solidificado, estando sumergido o sumergiéndose la óptica de focalización, preferentemente de forma móvil en las tres direcciones espaciales (X,Y,Z), en el material que ha de ser solidificado dentro del recipiente de material, de tal forma que una superficie de salida de la óptica de focalización forma una superficie límite definida ópticamente, a través de la que el impulso láser o la secuencia de impulsos láser se introduce en el material que ha de ser solidificado.

Al diferencia de los dispositivos y procedimientos conocidos por el estado de la técnica se supera el efecto limitativo de la distancia de trabajo de la óptica de focalización por su posicionabilidad y, dado el caso, la de la plataforma de soporte en el bajo con respecto al punto focal / a los puntos focales de la óptica / de las ópticas en la dirección Z. Es que al usar un escáner para el posicionamiento del punto focal / de los puntos focales en el plano XY resulta el siguiente dilema: Si el foco se mueve en la dirección XY a través de espejos móviles (sistema escáner) para posicionar de manera correspondiente el punto focal, para la fabricación de cuerpos grandes, la óptica de focalización tiene que tener una gran apertura de entrada (tamaño de la apertura de entrada circular, varios cm), para que el rayo láser procedente de los espejos en movimiento no abandone la óptica de focalización. Sin embargo, sólo los objetivos con una reducida apertura numérica (AN) ($<0,25$) o las lentes sencillas así como los llamados objetos F- Θ tienen aberturas de entrada tan grandes. Por la reducida apertura numérica, reducen de forma drástica tanto la resolución estructural en la dirección (Z) axial como la resolución lateral (según las circunstancias reales, a vóxeles con una longitud (en la dirección Z) de 0,5 a 1mm). De esta manera, se compensa la ventaja en sí de la polimerización bifotónica y multifotónica, a saber la fabricación de tamaños de estructura mínimos muy pequeños y no se pueden fabricar estructuras de alta resolución tales como se requieren por ejemplo para la biomedicina (por ejemplo, scaffolds (andamios) porosos) o componentes ópticos. Si al contrario, se trabaja con objetivos con una alta apertura numérica, la zona direccionable en el plano está fuertemente limitada a causa de las aberturas de entrada correspondientemente pequeñas. Se puede demostrar que incluso en caso de no considerar las aberraciones que se producen por el uso de un baño y por las desviaciones resultantes del rayo de luz de la trayectoria ideal debido a superficies ópticamente "no limpias", en el caso de una apertura numérica de por ejemplo 0,95, la zona direccionable está limitada a un diámetro de aprox. 500 μ m. En cambio, si en el baño se dispusiera un soporte que se pudiera mover por una gran superficie en el plano X-Y, se podrían conseguir los resultados deseados, pero sólo con la ayuda de un procedimiento relativamente complicado: mientras esté parado el soporte y el foco se mueva en la dirección Z o bien mediante el movimiento del soporte o de la óptica y del rayo láser con la ayuda de un espejo, se consigue crear una estructura de alta resolución, pero sus dimensiones en el plano X-Y son muy pequeñas. Se pueden aumentar mediante un deslizamiento del soporte en las direcciones X y/o Y, respectivamente de forma secuencial, por una distancia del tamaño escaneable. Este llamado "stitching" requiere la posicionabilidad separada del soporte para el plano X-Y, lo que requiere experimentos complicados y es costoso y difícil de llevar a la práctica. Además, en cuanto al software se requiere un gasto adicional, ya que la geometría estructural se ha de calcular de forma separada en varias secciones. Y finalmente se mantienen visibles las costuras entre las distintas zonas con la alta resolución deseada. Lo mismo se refiere a la disposición en la que el baño en su conjunto se puede mover en el plano X-Y sobre una mesa deslizable.

Si se desea producir grandes estructuras, en la estructuración multifotónica en el estado de la técnica se ha de renunciar por tanto deliberadamente a un buen poder de resolución, en primer lugar, porque con un mayor ancho estructural se obtiene una mayor tasa de construcción y, en segundo lugar, porque una gran distancia de trabajo (es decir, la distancia de la lente de salida del objetivo con respecto al punto focal) es el requisito de que la estructura se pueda hacer suficientemente grande (la estructura no puede hacerse más grande de lo que es la distancia de trabajo). Sin embargo, en los objetivos convencionales, la distancia de trabajo es tanto más grande, cuanto más pequeña es la apertura numérica.

Para la formación del baño según la invención, al contrario, se puede usar un objetivo con una alta AN, incluso en caso de que se han de fabricar cuerpos de moldeo grandes. Es que estos cuerpos de moldeo se pueden fabricar según la invención independientemente de la distancia de trabajo. Por lo tanto, se puede elegir libremente si se han de conseguir estructuras finas de alta resolución o, mediante el aumento de la potencia del láser, también líneas anchas y por tanto una tasa de construcción más elevada (las líneas se hacen más anchas al aumentar la potencia del láser, porque se cumplen las condiciones de solidificación en un área de espacio más ancha (proceso de valor umbral)).

La mayoría de los objetivos tienen sólo en una zona focal determinada las mejores propiedades de representación. Si proceden de la microscopía, generalmente se encuentra en la cara inferior del cubreobjetos de vidrio (conforme al lado interior de la pared del recipiente de baño). Cualquier desviación de este punto conduce a errores de representación y, por tanto, a un borrón del punto focal en el espacio. Por lo tanto, según la invención resulta preferible elegir la distancia del objeto con respecto al baño y por tanto la posición del plano de enfoque de tal forma que se tenga que atravesar la menor cantidad de material de baño a solidificar. En cuanto a la forma de realización según la invención de la exposición desde abajo (o, dado el caso, desde el lado) resultan por tanto

especialmente las ventajas de que durante la estructuración no cambian las condiciones para la formación de la zona focal, porque es el soporte el que es movido en la dirección Z y no la óptica, y de que se puede trabajar cerca de las condiciones óptimas, predefinidas por el fabricante de la óptica.

5 Se pueden fabricar estructuras con un tamaño hasta el rango centimétrico o superior. Según la invención, la óptica de focalización se sumerge en el material y se puede posicionar allí de manera correspondiente sin limitación, o bien, una unidad de soporte en la que se precipita el material durante su solidificación se puede posicionar a discreción en el baño de material. Una combinación de estas dos alternativas igualmente entra en el alcance de la invención. Con esta es posible la producción altamente flexible de estructuras tridimensionales con tamaños hasta
10 el rango centimétrico. En el primer caso, la posición focal dentro del material que ha de ser solidificado se puede elegir sin limitación mediante la inmersión y el posicionamiento de la óptica de focalización. En el segundo caso, generalmente están limitados la posición focal con respecto al recipiente de material y por tanto con respecto al material que ha de ser solidificado y por tanto el lugar de la solidificación de material en el baño de material, generalmente a dos dimensiones, pero el material ya solidificado a través de la unidad de soporte se puede
15 posicionar con respecto a la posición focal, de modo que mediante un posicionamiento correspondiente de material ya solidificado se pueden producir estructuras de prácticamente cualquier tamaño.

Dado que la radiación láser se introduce siempre a través de una superficie límite definida, es decir, una superficie óptica transparente, en el material que ha de ser solidificado, se mantienen muy reducidos los errores ópticos. Una
20 solidificación se puede realizar con una precisión muy elevada, independientemente de la cantidad del material que ha de ser solidificado y del tamaño del baño de material. La resolución alcanzable que está determinada principalmente por la distancia focal, la óptica de focalización y un proceso de valor umbral en el material, es muy alta y no empeora por errores ópticos en la introducción de la radiación en el material. El recipiente de material preferentemente es una cubeta de tamaño correspondiente en la que el material que ha de ser solidificado está
25 presente en forma de un baño. Se pueden usar baños de material de prácticamente cualquier tamaño para seguir fomentando el efecto de la producción de estructuras de tamaño no limitado que se consigue con la invención.

La presente invención resulta especialmente apropiada para la fabricación rápida de elementos funcionales conformados de manera específica y discrecional, sobre sustratos conformados de manera discrecional, por
30 ejemplo planos o cilíndricos. De ellos forman parte por ejemplo los elementos ópticos para aplicaciones en el ámbito de la (bio)fotónica y las capas antirreflejo. También es posible la fabricación paralela de cristales fotónicos para futuros circuitos fotónicos y componentes. Además, las estructuras producidas con el dispositivo se pueden emplear en la micromecánica (como MEMS o MOEMS) y la microelectrónica y nanoelectrónica, así como en componentes cuánticos y en la electrónica de polímeros. Además, es posible el uso del dispositivo de
35 estructuración en el ámbito de las ciencias de la vida, por ejemplo, en traumatología (por ejemplo, prótesis), la medicina regenerativa (por ejemplo, como estructuras de soporte) y en la farmacia (por ejemplo, como sistemas de suministro de medicamentos).

Un material que ha de ser solidificado en el sentido de la invención es un material orgánico o un material híbrido inorgánico-orgánico, especialmente un material que contiene organopolisiloxano que se puede solidificar
40 respectivamente de forma fotoquímica. El material que ha de ser solidificado puede ser especialmente un material relleno o no relleno por ejemplo de nanopartículas o micropartículas. Los materiales rellenos presentan determinados materiales aditivos eventualmente no ligados que pueden conferir determinadas características deseadas al material.
45

El material de baño que ha de ser solidificado se puede procesar o bien sin disolvente o bien con disolvente. Para este último caso, el tipo del disolvente empleado no es crítico; sin embargo, resultan ventajosos los disolventes no tóxicos, por ejemplo si las estructuras a producir han de emplearse en la medicina o en ámbitos relacionados. Si
50 no se usa ningún disolvente, el material de baño puede tener una viscosidad muy alta en función del polisiloxano empleado que generalmente se ha originado mediante policondensación de uno o varios silanos polimerizables de forma orgánica. En estos casos resulta preferible el uso de una óptica situada fuera del baño.

El trabajo con un material de baño exento de disolvente ofrece una serie de ventajas. Por ejemplo, las estructuras fabricadas con el mismo no contienen compuestos de bajo peso molecular, posiblemente tóxicos o críticos de otra
55 forma.

Cuando el cuerpo de moldeo completamente solidificado ha de separarse del sustrato, dado el caso, este último puede estar funcionalizado de manera conocida (mediante capas monomoleculares o más espesas) de tal forma que sea posible la separación durante el proceso de revelado mediante la eliminación de disolvente o mediante el
60 "levantamiento" de la estructura mediante un dispositivo dispuesto especialmente (por ejemplo, un cuchillo). También se puede aplicar sobre el sustrato una capa sacrificial sobre la que se adhiera bien el cuerpo de moldeo

solidificado, pero que se disuelva en el proceso de revelado (la liberación de material de baño adherido) de tal forma que la estructura producida se levante del sustrato.

5 La extracción del cuerpo producido se puede realizar de manera sencilla de tal forma que este se levanta del baño, por ejemplo, haciendo salir del baño un soporte. Después se enjuagan eventualmente con un disolvente adecuado para eliminar el material de baño adherido y se secan al aire o de otra manera (por ejemplo, en atmósfera de gas protector).

10 Con la invención es posible fabricar in situ cuerpos tridimensionales con formas discretas a partir de materiales que han de ser solidificados mediante procesos de reticulación fotoinducida, a lo largo de un amplio espectro de longitudes de ondas, usando los láseres y sistemas ópticos más diversos. Generalmente, se pueden procesar paralelamente y por grandes superficies una multiplicidad de clases de materiales y de sustancias.

15 Para la solidificación selectiva se emplea una polimerización bifotónica o multifotónica (2PP/nPP). Durante ello, un impulso láser enfocado o una secuencia de impulsos láser enfocados se dirige de forma selectiva hacia un elemento de volumen direccionado dentro del material que ha de ser solidificado. Por secuencia de impulsos láser se entiende un número de impulsos láser individuales sucesivos que se emplean para la solidificación de una unidad estructural (vóxel). El número de impulsos es de al menos dos, preferentemente 100 a 1000 o varios 100 a
20 varios 1000. Por el impulso láser o la secuencia de impulsos láser, en los puntos de elementos de volumen que han de ser solidificados, en el punto focal se produce una absorción bifotónica (TPA) o multifotónica, por la que se pueden inducir modificaciones químicas similares que en caso de utilizar longitudes de ondas notablemente más cortas. De esta manera, una modificación de material se puede provocar de manera muy selectiva en el espacio tridimensional. De manera especialmente ventajosa se usan impulsos láser durante una duración en el rango de femtosegundos. La radiación empleada presenta de manera ventajosa una longitud de ondas que en
25 circunstancias normales en las que la energía de un fotón no basta para excitar átomos o moléculas no es absorbida en el material reactivo. Al contrario de otros procedimientos de estructuración como por ejemplo la formación rápida de prototipos con rascador y recubrimiento, la presente invención ofrece la ventaja de que las estructuras tridimensionales se pueden fabricar en un solo paso con poco gasto de material y en un tiempo muy corto, pudiendo producirse con una alta precisión estructuras de casi cualquier tamaño.

30 Según la óptica y el material empleados se pueden producir unidades estructurales (vóxeles) de menos de 100nm a hasta 100µm. Mediante la adaptación de la intensidad del láser se pueden crear teóricamente elementos de volumen infinitesimalmente pequeños. Mediante una combinación de una óptica refractiva y una óptica difractiva se puede mantener corta la trayectoria óptica de los impulsos láser a través de la óptica o el vidrio de la lente y se
35 pueden reducir errores de representación. Los vóxeles producidos se pueden solapar más o menos y forman en su conjunto la estructura monodimensional a tridimensional que ha de fabricarse. Según el tamaño de los vóxeles producidos es posible dotar la estructura de una porosidad escalable a discreción. Esto tiene importancia especialmente para la producción de estructuras de andamiaje ("scaffolds") para la estimulación del crecimiento celular. Estas estructuras de andamiaje pueden tener de manera ventajosa una estructura de poros comprendida
40 en el intervalo de 10nm a 10mm, preferentemente de 1µm a 5mm. Además, las estructuras elaboradas pueden ser no porosas, por ejemplo en forma de nanoestructuras.

45 Al principio, el posicionamiento es tal que el foco o los focos están posicionados o se posicionan cerca de la unidad de soporte o de forma adyacente a esta. El material solidificado inicialmente se va acumulando en el marco de su solidificación en la unidad de soporte y se posiciona junto a esta durante el siguiente transcurso de la estructuración o solidificación con respecto al foco o a los focos. El siguiente posicionamiento es tal que se acumula material en el material ya solidificado o en la unidad de soporte.

50 Cuando la radiación láser se hace pasar por el recipiente de material al material que ha de ser solidificado, este mismo sirve para formar una capa límite definida por la que la radiación láser entra en el material que ha de ser solidificado. A causa de la unidad de soporte que se puede posicionar dentro del recipiente de material frente a este, no actúa de forma limitativa la distancia de trabajo de la óptica empleada que determina la distancia de la zona de solidificación de una pared o del fondo del recipiente de material.

55 Durante la introducción de radiación láser a través de la pared o del fondo del recipiente de material, resulta especialmente ventajoso que no se produzca un contacto entre la óptica y el material que ha de ser solidificado. De esta manera, es posible un desplazamiento y un posicionamiento rápidos de la óptica. No se producen turbulencias en el material y existe una menor resistencia que en caso del posicionamiento de una óptica sumergida. Además, la óptica no tiene que estar estancada con respecto al material que ha de ser solidificado. Dado que no se
60 produce el contacto entre la óptica y el material que ha de ser solidificado, se pueden procesar también materiales agresivos que dañarían la óptica.

En caso de una óptica de focalización sumergible en el material, esta misma forma una superficie límite óptica definida para el rayo láser que entra en el material que ha de ser solidificado. Al contrario de la forma de realización mencionada anteriormente, la solidificación se puede producir en cualquier punto dentro del baño de material sin tener que usar una unidad de soporte posicionable adicional, ya que la óptica se puede posicionar de la manera deseada dentro del baño de material y sumergirse prácticamente a cualquier profundidad y el lugar de la solidificación no está limitado por la distancia de trabajo de la óptica.

En una forma de realización, el dispositivo según la invención presenta una óptica para la división espacial del rayo láser y la producción de al menos dos focos de láser o máximos de intensidad situados a una distancia entre ellos, lo que en lo sucesivo se designa por paralelización. De esta manera, la energía de radiación del láser se puede dirigir en el espacio al mismo tiempo hacia dos o varios vóxeles, de modo que se produce una solidificación en dos o varios puntos al mismo tiempo. De esta manera, es posible producir en un tiempo corto estructuras y cuerpos de moldeo relativamente grandes. En caso de la producción simultánea de n vóxeles, de esta manera, el tiempo de producción de las estructuras que han de producirse se puede acelerar por el factor n en función del elemento que ha de ser producido. Este factor n corresponde al número de máximos de intensidad o focos de láser generados por la división del rayo, por los que se desencadena una polimerización multifotónica.

En caso de la paralelización, la invención permite no sólo una producción paralela de vóxeles de un solo elemento funcional, sino también una producción paralela de dos o varios elementos funcionales. Una sola estructura puede ser producida al mismo tiempo a través de varios puntos focales o varias estructuras pueden ser producidas al mismo tiempo a través de uno o varios puntos focales. En este caso, se pueden usar una o varias ópticas para generar n focos. Es posible tanto fabricar varias estructuras sobre el mismo sustrato como elegir para cada estructura un sustrato propio.

Además, la paralelización puede realizarse mediante la conformación del rayo o mediante la división de un rayo láser en varios rayos parciales que entonces se enfocan respectivamente y solidifican vóxeles en varios puntos al mismo tiempo dentro del material. Para ello, se puede usar por ejemplo una máscara de amplitud que se dispone en la trayectoria de rayos y que en el campo lejano del rayo produce un patrón de difracción. Además, se puede emplear una red de microlentes, una lente axicón por ejemplo para producir un plano focal anular o un modulador de luz espacial controlable de forma eléctrica como máscara de fase variable dinámicamente que causa una distribución selectiva de la intensidad de luz en varios puntos focales y por tanto una paralelización parcial del proceso de estructuración. Adicionalmente, los puntos focales se pueden mover mediante una modulación dinámica selectiva de la fase en el espacio, por lo que se puede renunciar a unidades de deslizamiento mecánicas.

El dispositivo según la invención presenta un sistema de posicionamiento con el que el foco de láser o los focos de láser se pueden posicionar dentro del baño de material. El posicionamiento se realiza mediante un movimiento de la óptica de focalización, dado el caso, de forma complementada por un movimiento de una unidad de soporte dispuesta dentro del baño. Se puede realizar en forma de un posicionamiento lineal y/o rotatorio en y/o alrededor de uno, dos, tres o más ejes. Especialmente, una unidad de soporte para material que ha de ser solidificado puede ser móvil con respecto al foco de láser, especialmente desplazable y/o giratorio linealmente. Dado que el recipiente de material no ha de ser movido, sólo se han de acelerar o frenar masas relativamente pequeñas, lo que facilita un posicionamiento de alta precisión. En todas las formas de realización de la invención, la unidad de soporte puede ser móvil eventualmente también en más de una, por ejemplo, en dos o en las tres direcciones espaciales.

En cualquiera de los casos, se realiza un posicionamiento mediante el movimiento de la óptica. Esta puede ser móvil en una dirección espacial, por ejemplo, en la dirección Y si el soporte es móvil dentro del baño de material al menos en las direcciones X y Z. Preferentemente, sin embargo, la óptica de focalización es móvil en al menos dos direcciones espaciales, por ejemplo en las direcciones X e Y, mientras que el soporte puede ser movido al menos en la dirección Z. Si la óptica de focalización puede ser movida en las tres direcciones espaciales, lo que se ofrece sobre todo en el caso de una óptica de focalización sumergida, se puede renunciar totalmente a un soporte dentro del baño de material, o bien, este soporte puede estar dispuesto de forma rígida dentro del baño.

Igualmente, se puede elegir libremente la posición del al menos un punto focal con respecto al material que ha de ser solidificado. De esta manera, se pueden direccionar diferentes puntos de inicio para la modificación de material. En el caso de varios focos de láser está establecido un plano focal para todos los puntos focales, cuya posición o situación dentro del material que ha de ser solidificado se puede direccionar. Sin embargo, en caso de usar un modulador de luz ambiente dinámico, activo, se puede variar generalmente también la posición relativa de los puntos focales unos respecto a otros. Si se ha de solidificar un punto determinado en el material en una zona focal, siendo conocida la superficie del sustrato (superficie del soporte) se puede corregir su posición por ejemplo a través de un software, mientras que en caso de una textura desconocida de la superficie se pueden usar los datos

de un sistema de detección óptico, por ejemplo en forma de un escáner 3D. A este respecto, cabe mencionar lo siguiente:

Lo importante en la estructuración (multifotónica) de materiales líquidos es el endurecimiento del material líquido directamente en la superficie del sustrato. Para ello, se necesita un punto de anclaje, de forma que respectivamente el siguiente elemento de volumen (vóxel) que ha de ser solidificado tiene ya contacto con una zona ya solidificada o con el sustrato mismo. Si este no es el caso, las zonas ya solidificadas dentro de la resina líquida pueden derivarse de su posición teórica perjudicando la calidad de la estructura. Esto puede conducir a una estructura defectuosa. Si no se encontró correctamente el punto de anclaje sobre el sustrato, puede ocurrir que aunque la estructura se haya generado correctamente, finalmente no vuelva a encontrarse, porque durante el revelado ya no está adherida al sustrato y ya no puede ser localizada. Formas de realización preferibles de la invención se refieren por tanto 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 forma de realización al respecto, este punto de anclaje se detecta con la ayuda de una cámara microscópica instalada en el sistema. Esta está dirigida hacia la superficie que ha de ser estructurada; con ella, además de las estructuras originadas se puede observar también el punto láser. Cuando este tiene el menor tamaño en la imagen de la cámara (durante el desplazamiento en la dirección Z) se da de forma óptima en el sustrato.

En una segunda forma de realización al respecto, el punto de anclaje también puede ser localizado de forma automática. Para ello, la muestra o el sustrato, introducidos ya en el baño, se miden con un sistema de detección (de cualquier tipo). Los datos relativos a la superficie del sustrato, obtenidos de esta forma, se utilizan o bien para establecer el punto de anclaje para cada estructura en caso de escribir varias estructuras sobre un sustrato, o bien, en caso de escribir una sola estructura (grande), para adaptar la geometría de esta de tal forma que a ser posible tenga siempre una orientación definida con respecto a la superficie del sustrato.

Resulta especialmente ventajoso el registro de una imagen topográfica completa con un sensor que lo haga en una medición "de un solo disparo". Alternativamente, se hace desplazarse por tramas sobre la superficie del sustrato un sensor de puntos individuales, es decir, un sensor que puede medir siempre sólo un punto en el plano X-Y, generando de esta manera la imagen topográfica.

Con la ayuda de estas medidas, en ambos casos, en primer lugar se puede localizar siempre el punto de anclaje correcto, a saber, también en el caso frecuente de un sustrato ligeramente inclinado, y por supuesto también en el caso de un sustrato doblado. En segundo lugar, se puede realizar una nueva estructuración incluso en superficies ya estructuradas. Por ejemplo, se pueden aplicar estructuras adicionales sobre lentes estructuradas previamente.

Un sensor de puntos individuales se describe en detalle a continuación a título de ejemplo. Se genera una señal de tensión que es dependiente de la posición de la zona focal con respecto al sustrato o al punto de anclaje teórico. Este debe alcanzar un nivel determinado, preferentemente un máximo, cuando el encuentro del punto de anclaje se encuentra con el foco. Esto se puede realizar por ejemplo mediante el método del reflejo de retorno en la trayectoria del rayo, como se puede ver en la figura 12. Antes de introducir el láser de estructuración o los impulsos, estos pasan por ejemplo por una plaquita de vidrio que inicialmente no es relevante para la propagación de dichos impulsos. La radiación se enfoca entonces de la manera habitual al interior del material. En función de la posición Z es reflejada de retorno una pequeña parte de los impulsos, porque entre el sustrato y el material protector líquido existe un contraste de índice de refracción. Esta reflexión es máxima, cuando se da de forma óptima en la superficie límite sustrato/protector. Después se toma la reflexión de retorno con la plaquita de vidrio que desvía una parte de la misma hacia un fotodiodo.

Por lo tanto, en una variante se puede obtener de esta manera una imagen topográfica, en concreto, si esta maximización del reflejo de retorno se repite en muchos puntos sobre el sustrato almacenando las posiciones Z en las que se producen los máximos. Para el método de reflejo de retorno se puede usar como fuente de radiación, dado el caso, el láser utilizado para la estructuración. En este caso, su potencia se ajusta de manera ventajosa a un nivel muy bajo para descartar el peligro de causar con el rayo de luz previsto para la reflexión de retorno una solidificación no deseada del material de baño. No obstante, puede resultar más ventajoso usar un segundo láser que no actúe recíprocamente con el protector y que se enfoque en el mismo punto que el láser de estructuración. En otra variante, mediante la regulación también se puede conseguir que se mantenga siempre un nivel de señales determinado del reflejo de retorno mediante la compensación de la posición Z, mientras el foco se mueva en el plano. Para ello, se ofrecen regulaciones conocidas tales como PI o PID.

Dado que, según la invención, el punto focal se mueve con respecto al sustrato en el plano XY y por tanto cambian

la posición focal en Z con respecto al sustrato y, por consiguiente, la señal del reflejo de retorno, se ha de regular la diferencia del valor teórico (la señal de tensión en el máximo) con respecto al valor real (dinámico). Para ello, se realizan cálculos matemáticos para transmitir una señal al elemento de regulación (el eje Z) que aproxima el valor real al valor teórico. El experto es capaz de realizar estos cálculos (generalmente operaciones proporcionales (P), integrales (I) y diferenciales (D)) y elegir los parámetros de tal forma que se realice una adaptación exacta del valor real al valor teórico.

Un regulador PI combina la ventaja del regulador P, a saber una reacción rápida, con la ventaja del regulador I, la regulación exacta. Por lo tanto, un círculo regulado por PI es exacto y tiene una rapidez media. Un regulador PID reúne las buenas características de los tres tipos de regulador. El circuito regulado por PID es exacto y muy rápido. Por lo tanto, para la invención resulta muy adecuado un regulador PID.

La precisión de posicionamiento de al menos uno o cada eje de movimiento es preferentemente de $0,20\mu\text{m}$, como mínimo. Mediante el uso de sistemas de posicionamiento en forma de mesas lineales de alta precisión, por ejemplo mesas con suspensión neumática o mesas móviles con piezo-técnica, con grandes recorridos de desplazamiento y, opcionalmente, de grandes sustratos o baños de material (por ejemplo, $62\text{cm} \times 62\text{cm}$) se pueden producir tanto estructuras pequeñas con dimensiones inferiores a un milímetro como cuerpos macroscópicos con una longitud de cantos de varios centímetros.

Según una forma de realización especialmente ventajosa, alternativamente o adicionalmente al posicionamiento lineal en los planos del espacio se puede usar un dispositivo de posicionamiento con al menos un eje rotatorio. De esta manera, o bien el material que ha de ser solidificado o bien una unidad de soporte sumergida en este se pueden hacer girar alrededor de al menos un eje en el espacio. Se pueden utilizar sustratos en forma de láminas enrolladas o similares que entonces sirven de unidad de soporte o se pueden posicionar mediante una unidad de soporte. Los sustratos en forma de lámina pueden ser guiadas a través del posicionamiento rotativo y ser posicionados con respecto al al menos un foco de láser. El posicionamiento rotatorio se realiza preferentemente con una resolución de al menos $0,079$ segundos de arco y/o con una precisión de al menos 3 microsegundos de arco. La velocidad de rotación máxima es preferentemente de aprox. 300 revoluciones por minuto con una repetibilidad de menos de 2 segundos de arco.

De manera especialmente ventajosa, el sistema de posicionamiento presenta las siguientes características: el recorrido de desplazamiento, preferentemente en cada dirección, mide preferentemente al menos 150mm , especialmente en cada dirección espacial. La precisión de posicionamiento es en cada dirección preferentemente de $\pm 0,20\mu\text{m}$. La precisión en caso del desplazamiento repetido a un punto es de $\pm 0,05\mu\text{m}$. La precisión perpendicularmente con respecto a la dirección de movimiento en el plano horizontal es especialmente de $\pm 0,25\mu\text{m}$ y la precisión perpendicularmente con respecto a la dirección de movimiento en el plano vertical es de $\pm 0,25\mu\text{m}$. La velocidad de desplazamiento del sistema de posicionamiento es de hasta 300mm/s (también son posibles velocidades más bajas) con una aceleración lineal máxima, con ausencia de carga, de aprox. 10m/s^2 .

Como fuente de radiación se pueden usar básicamente láseres de cuerpo sólido, láseres de cuerpo sólido bombeados por diodos, láseres de semiconductor, láseres de fibras, etc. de cualquier longitud de ondas. De manera especialmente ventajosa, en una forma de realización de la invención se usa un sistema láser de iterbio. Su longitud de ondas se encuentra, con duplicación de frecuencia, en el espectro de la luz verde. La ventaja de los láseres de iterbio con respecto a los sistemas láser de zafiro de Ti que presentan una longitud de ondas de aprox. 800nm , la longitud de ondas es de 1.030nm . Con una duplicación de frecuencia, esta se sitúa en el espectro verde con 515nm , lo que puede conducir a una resolución mejorada. Además, los materiales estructurables pueden ser procesados de forma más eficiente que con láseres en los espectros de longitud de ondas de aprox. 800nm . La ventaja de proceso es notablemente más grande con respecto a las formulaciones de material. Un láser de zafiro de Ti, con duplicación de frecuencia, se sitúa de manera desventajosa en el espectro UV con aprox. 400nm . Este intervalo espectral sin embargo es tan energético que durante una exposición de la mayoría de los sistemas de material que ha de ser solidificado se produciría ya un proceso de 1 PP, lo que se puede evitar usando sistemas láser con una longitud de ondas más grande. Otra desventaja de los láseres de zafiro de Ti es que los impulsos láser generalmente son de corta duración. De esta manera, se lograría una mayor eficiencia del proceso, pero también se producen problemas, porque los impulsos cortos tienen un espectro muy ancho y se producen con más facilidad errores de reproducción. Generalmente, son más difíciles de manejar los impulsos cortos, lo que puede conducir a un mayor gasto económico y de tiempo.

Finalmente, es posible usar sistemas láser de iterbio. Resulta ventajoso que estos láseres se pueden bombear con diodos y no se requieren láseres de bombeo adicionales ni otros instrumentos de diversa índole. La ventaja de los láseres de iterbio frente a los láseres de Nd:YAG son sin embargo unos impulsos relativamente cortos. Mientras que los impulsos de láser de iterbio pueden conseguir impulsos muy por debajo de un picosegundo, las longitudes

de impulso de un láser de Nd:YAG son generalmente superiores a un picosegundo y por tanto más bien resultan desventajosos para desencadenar una absorción no lineal, ya que existe el peligro de estructuras poco reticuladas y lábiles, lo que puede conducir a las desventajas descritas anteriormente.

5 Las duraciones de impulso necesarias para el desencadenamiento eficiente de una absorción no lineal son inferiores a un picosegundo. Para mejorar efectos recíprocos de la materia luz y para la activación más eficiente de la polimerización se pueden usar adicionalmente fotoiniciadores. La velocidad de repetición se puede ajustar preferentemente entre 1kHz y 80MHz, preferentemente entre 10kHz y 80MHz. En adaptación al respectivo sistema de material se pueden usar longitudes de ondas en el espectro UV, en el espectro visible así como en el espectro infrarrojo. Los láseres pueden presentar especialmente potencias entre 100mW y 5W, preferentemente entre 150mW y 2W y/o una duración de impulso inferior a 1 picosegundo y/ una velocidad de repetición entre 1 y 80MHz.

15 En el dispositivo según la invención, la división del rayo láser o la formación espacial del rayo pueden realizarse de diversas maneras. Se puede producir mediante el uso de EOD (elementos ópticos difractivos) como por ejemplo fases o máscaras de amplitud, o redes de microlentes o EOD activos, adaptables preferentemente de forma dinámica, así como combinaciones de estos elementos. Por lo tanto, se pueden producir distribuciones de intensidad discretas, por ejemplo varios puntos focales o puntos focales conformados a discreción que permiten la escritura de respectivamente una estructura con varios puntos focales eventualmente conformados. Resultan especialmente ventajosos los EOD para la modulación de fase, ya que en comparación con los EOD con máscaras de amplitud no presentan o presentan sólo pequeñas pérdidas de potencia. Además, es posible el uso de moduladores de luz ambiente (transmisores o reflectores) activos. Como máscara se puede usar de manera ventajosa una retícula unidimensional con una distancia de retícula preferentemente inferior a 10 μ m o una red bidimensional con una distancia de píxeles preferentemente inferior a 10 μ m.

25 Además, se pueden usar varias ópticas de focalización. Estas pueden ser movidas entonces con respecto al material de soporte (sustrato), de tal forma que se pueden escribir varias estructuras al mismo tiempo con respectivamente un punto focal. El uso de varias ópticas de focalización requiere la división de la potencia del láser mediante divisores de rayo convencionales formando varios rayos que se conducen respectivamente a una óptica de focalización. Finalmente, es posible una combinación de las conformaciones de rayo mencionadas anteriormente, del tal forma que, en primer lugar, un modulador produce la distribución de intensidad deseada de la radiación y, a continuación, esta se enfoca por medio de varias ópticas. Igualmente, se pueden usar también respectivamente un modulador o una máscara por cada óptica de focalización. Esta variante permite escribir varias estructuras al mismo tiempo, respectivamente con varios puntos focales.

35 Cada óptica de focalización puede ser móvil con respecto a otros elementos de la guía de rayo y/o del recipiente de material y/o del material que ha de ser solidificado y/o de la unidad de soporte, de forma que para el posicionamiento ha de moverse tan sólo la óptica de focalización pudiendo estar fijamente instalados los elementos restantes de la guía de rayos. Especialmente en caso de un posicionamiento a través de un movimiento de la óptica, la radiación láser se puede guiar de manera especialmente ventajosa, al menos en zonas parciales de la guía de rayo, a través de guías de luz.

45 Para evitar errores de representación durante el enfoque, según la invención se pueden usar ópticas híbridas formadas por elementos ópticos difractivos y lentes convencionales. Los elementos ópticos difractivos están hechos por ejemplo de vidrio de cuarzo, de materiales que contienen organopolisiloxano, de líquidos o de combinaciones discretas de materiales. En caso de usar ópticas de focalización empleadas sin adaptación de índice de refracción, con profundidades de penetración variables de la luz en el material se obtiene un error de posicionamiento que se produce a causa de la difracción en la superficie límite aire-material (es decir que el movimiento del punto focal no coincide con el movimiento de la óptica). Esta desviación en el posicionamiento Z del punto focal se puede compensar a través de un factor de corrección, por ejemplo a través de un software de máquina.

55 De manera ventajosa, el dispositivo y el procedimiento de la presente invención no están limitados por limitaciones de difracción de las ópticas de focalización, porque por una parte existe otro comportamiento de absorción que en el caso de la absorción monofotónica lineal y, por otra parte, se aprovecha un proceso de valor umbral. El perfil de absorción (aproximadamente un perfil de Gauss) en la absorción multifotónica es además más estrecho, por lo que es posible una mejor resolución, ya que existe una relación no lineal entre la densidad fotónica y el comportamiento de absorción. Mientras el comportamiento de absorción de la absorción multifotónica se caracteriza por la linealidad con respecto a la densidad fotónica y se puede explicar mediante la física clásica, la absorción simultánea de dos o varios fotones se explica en la mecánica cuántica. Aquí se puede demostrar que con unas intensidades de cresta (densidades fotónicas) muy elevadas aumenta la probabilidad para las

transiciones multifotónicas. Existe un comportamiento no lineal con respecto a la densidad fotónica, por lo que el perfil de absorción se vuelve más estrecho. A causa de un proceso de valor umbral en los materiales empleados se produce una reacción sólo en una zona del espacio en la que la intensidad del láser sobrepasa dicho valor umbral. De esta manera, la reacción se puede producir dentro de un espacio muy limitado, lo que permite la producción de estructuras de alta precisión.

En otra forma de realización de la invención, el dispositivo puede presentar un sistema dispensador para la deposición in situ del material que ha de ser solidificado. Un sistema de este tipo permite de manera ventajosa que el material que ha de ser solidificado se puede añadir al baño de material de forma adaptada al respectivo estado del proceso. Especialmente en la fabricación de cuerpos o estructuras grandes hasta el rango milimétrico centimétrico tiene el efecto positivo de que al principio de la fabricación tiene que estar presente en el baño sólo la cantidad de material que es necesaria para producir el primer vóxel. Sólo en el transcurso de la fabricación ulterior y con el crecimiento del cuerpo se suministra a través del sistema dispensador más material que ha de ser solidificado, preferentemente siempre sólo en la cantidad necesaria respectivamente para producir el siguiente vóxel. De esta manera, el baño está lleno siempre sólo de la cantidad de material que ha de ser solidificado que es necesaria para la producción momentánea de vóxeles, lo que tiene la ventaja de que en caso de un movimiento de posicionamiento del baño se ha de mover sólo una masa relativamente pequeña y que durante un posicionamiento mediante un movimiento de una óptica sumergida en el material, esta no se tiene que mover estando sumergida profundamente en el material, por lo que se evitan en gran medida resistencias al flujo y turbulencias en el baño, lo que influye positivamente en la calidad de los cuerpos producidos. El sistema dispensador puede presentar especialmente toberas controlables libremente que permiten un suministro localmente definible de material que ha de ser solidificado, por lo que gracias al ahorro de material se produce una considerable reducción de costes y de recursos en la fabricación de elementos funcionales. El sistema dispensador presenta preferentemente una alta precisión de posicionamiento situada en el rango micrométrico. La realización antes descrita del procedimiento es posible básicamente también manualmente sin usar un sistema dispensador.

Según otra propuesta, el dispositivo puede presentar un sistema escáner, especialmente un escáner 3D, o este se puede usar en el procedimiento. De esta manera, es posible digitalizar matrices o cuerpos conformados a discreción y usar los datos obtenidos de esta manera para escribir de manera sencilla, directamente en la máquina, cuerpos y estructuras de conformación compleja en el material que ha de ser solidificado. En particular, las estructuras fabricadas con el dispositivo se pueden usar como estructuras maestras para siguientes técnicas de moldeo. Están previstos tanto un uso único como un uso múltiple del mismo maestro.

Más características y ventajas de la invención resultan de la siguiente descripción de formas de realización especialmente preferibles a título de ejemplo con la ayuda de las figuras 5 a 8. Muestran:

la figura 1, una representación esquemática de un dispositivo según el estado de la técnica,
 las figuras 2 a 4, representaciones esquemáticas de primeras formas de realización con la exposición del material que contiene organopolisiloxano, a través de un recipiente de material,
 las figuras 5 a 7, representaciones de segundas formas de realización de dispositivos según la invención con la exposición del material que contiene organopolisiloxano, a través de una óptica de focalización sumergida en el material,
 las figuras 8 y 9, representaciones esquemáticas de terceras formas de realización usando elementos para la conformación espacial del rayo y
 las figuras 10 y 11, representaciones esquemáticas de cuartas formas de realización con un sistema de posicionamiento con un eje de rotación.
 la figura 12, una unidad de movimiento para la óptica de focalización.
 la figura 13, la representación de la detección óptica de un punto de anclaje.
 las figuras 14a y b, dos estructuras tridimensionales de magnitudes muy diferentes, fabricadas según la invención, la última de las cuales se puede utilizar como "scaffold" (andamio) (la distancia de una abertura cuadrada grande hasta la siguiente mide aprox. 300µm).

En la figura 1 está representado esquemáticamente un dispositivo. El dispositivo según esta figura presenta una fuente de láser 1, un espejo de desviación 2 como parte integrante de una guía de rayo, así como una óptica de focalización 3. El rayo láser 3 no enfocado que sale de la fuente de láser 1 se conduce a través del espejo de desviación 2 a la óptica de focalización 3. En esta, se enfoca formando un foco 5.

Por debajo de la óptica de focalización 3 está dispuesto material que ha de ser solidificado 6, entre un soporte inferior 7 y un soporte superior 8. Como está representado esquemáticamente en la figura 1, el alojamiento de material formado por el soporte inferior 7 y el soporte superior 8, con el material que ha de ser solidificado 6 situado entre los dos, se puede posicionar con respecto al foco 5 y a la óptica de focalización 3 en las direcciones

X e Y, mientras que la óptica de focalización 3 se puede posicionar con respecto al material 6 en la dirección Z.

La figura 1 muestra la disposición de la óptica de focalización 3 con respecto al material que ha de ser solidificado 6 al principio de un ciclo de solidificación. El foco 5 es directamente adyacente al soporte inferior 7, de modo que el material solidificado en la zona focal se acumula en el soporte 7. Este posicionamiento inicial es necesario para solidificar el material de manera fijada de forma posicionable en el marco de la siguiente solidificación, ya que, en caso contrario, no se pueden formar estructuras definidas con el mismo. Para poder realizar este posicionamiento inicial del foco, la distancia entre el respectivo lado superior del soporte inferior 7 y del soporte superior 8 tiene que ser menor que la distancia de trabajo 9 de la óptica de focalización 3. En caso contrario, no es posible posicionar el foco 5 en el soporte inferior 7 y acumular en este material solidificado. En el caso de una acumulación inicial en el lado inferior del soporte superior 8, la distancia entre el soporte inferior 7 y el soporte 8 podría ser mayor que la distancia de trabajo 9 de la óptica de focalización 3. Pero en este caso, la solidificación sería posible sólo con una distancia limitada con respecto al soporte superior 8, correspondiente a la distancia de trabajo 9 menos el grosor del soporte superior 8. Por lo tanto, quedan limitadas de forma no deseada la geometría y el tamaño de las estructuras que se pueden producir.

La figura 2 muestra una primera forma de realización en la que la exposición del material que ha de ser solidificado se realiza a través del recipiente de material 10. En el caso representado, se expone desde abajo a través del fondo 11 del recipiente de material 10, de tal forma que un rayo láser 4 no enfocado generado en la fuente de láser 1 se conduce a través de un espejo de desviación 2 a una óptica de focalización 3 dispuesta por debajo del recipiente de material 10. El espejo de desviación 2 puede estar realizado de forma posicionable. El rayo es enfocado por la misma al interior del material que ha de ser solidificado 6. Al igual que en el dispositivo según la figura 1, la profundidad máxima a la que el foco puede introducirse en el material que ha de ser solidificado 6 queda limitada por la distancia de trabajo 9 de la óptica de focalización 3. Para poder evitar una limitación de tamaño causada por ello de las estructuras que pueden ser producidas, el dispositivo representado en la figura 2 presenta una unidad de soporte 12 que puede posicionarse con respecto al recipiente de material 10. La unidad de soporte 12 está sumergida en el material que ha de ser solidificado 6 situado dentro del recipiente de material 10. En el ejemplo representado, la unidad de soporte 12 se puede posicionar en la dirección Z, mientras que la óptica de focalización 3 se puede posicionar en las direcciones X e Y.

En la figura 2 está representado igualmente a título de ejemplo el comienzo de la producción de una estructura. La unidad de soporte 12 está posicionada con respecto al recipiente de material 10 y al foco 5 de tal forma que el foco es adyacente a la superficie inferior de la unidad de soporte 12. El material solidificado en la zona del foco 5 se precipita en el lado inferior de la unidad de soporte 12 y queda adherido a este. De manera adaptada a las dimensiones de elementos de volumen ya solidificados, la unidad de soporte 12 se puede posicionar en la dirección Z, de tal forma que el foco queda situado en una superficie límite de material ya solidificado y el material que se solidifica a continuación se acumula en el material ya solidificado adhiriéndose a este. Mediante un posicionamiento de la óptica de focalización 3 en las posiciones X e Y y la introducción correspondiente de impulsos láser se determina la posición de la solidificación en las direcciones X e Y. Mediante la unidad de soporte posicionable en la dirección Z y un seguimiento correspondiente del procedimiento es posible solidificar estructuras, cuyas dimensiones son independientes de la distancia de trabajo 9 de la óptica de focalización 3 empleada y, especialmente, son más grandes.

La figura 5 muestra una forma de realización de la invención en otra representación esquemática. El dispositivo presenta a su vez una fuente de láser 1, siendo conducido un rayo láser 4 no enfocado que sale de este, a través de un espejo de desviación 2, a una óptica de focalización 3. Además, presenta un recipiente de material 10 con material que ha de ser solidificado 6 así como con una unidad de soporte 12. En el ejemplo representado, esta no es desplazable, pero básicamente puede ser posicionable en una o varias direcciones. La introducción de la radiación láser en el material que ha de ser solidificado 6 se realiza a través de la óptica de focalización 3 que está sumergida en el material que ha de ser solidificado 6.

La óptica de focalización 3 presenta una carcasa 14 con una superficie de salida de rayo 13 y en el ejemplo representado puede posicionarse en tres direcciones espaciales X, Y y Z. Mediante la inmersión de la óptica de focalización 3, la superficie de salida de rayo 13 de la misma forma una superficie límite ópticamente definida hacia el material que ha de ser solidificado 6, por lo que es posible una introducción definida y exacta de la radiación láser en el material que ha de ser solidificado 6.

La figura 5 muestra a su vez el dispositivo al principio del proceso de estructuración en el que la óptica de focalización 3 está dispuesta con respecto a la unidad de soporte 12 a la distancia de trabajo 9, de tal forma que el foco 5 es adyacente a la superficie de la unidad de soporte 12. Mediante un posicionamiento correspondiente en las direcciones X e Y se determina la solidificación y la acumulación en las direcciones X e Y. Tras una

5 solidificación inicial en la unidad de soporte 12, la estructuración se puede realizar mediante un posicionamiento correspondiente de la óptica de focalización 3 en la dirección Z de manera adaptada al grosor del material ya solidificado y adherido a la unidad de soporte 12. Tampoco en esta forma de realización de la invención, la altura de las estructuras que pueden ser producidas está limitada por la distancia de trabajo 9 de la óptica de focalización 3.

10 La presente invención usa de manera ventajosa para todas las formas de realización posibles una óptica de focalización 3 con una alta AN, como mínimo con una AN superior a 0,25, para conseguir la alta resolución deseada o vóxeles pequeños. Las distancias de trabajo 9 de los objetivos se sitúan preferentemente entre 0,1 y 100mm, de forma más preferible entre 1 y 10mm. A este respecto, cabe señalar que evidentemente la zona focal 5 de la óptica de focalización debe encontrarse en el interior del baño 10. Por lo tanto, para la elección de la distancia de trabajo correcta ha de tenerse en consideración también el grosor del fondo de baño transparente que ha de ser atravesado. Resulta ventajoso elegir el grosor del fondo de baño dentro del intervalo de 0,1 a 20mm, preferentemente en el intervalo de 0,5 a 5mm. Para la distancia de la zona focal 5 con respecto al fondo de baño resultan lo más ventajosos unos valores de 0,1 a 2mm. En el caso de valores bajos existe el peligro de que el material se solidifique directamente en el fondo quedando adherido a este. Como consecuencia de ello se vería entorpecido el desplazamiento de salida de la unidad de soporte 12. En caso de valores superiores al intervalo ventajoso hay que contar con crecientes errores de representación (sobre todo, aberración esférica). Dado que, según la invención, la óptica de focalización se mueve al menos en un plano (generalmente el plano horizontal, es decir el plano X-Y) no es de importancia crucial el tamaño de la apertura numérica elegida, al menos en caso de un valor mínimo de 0,25.

25 En un ejemplo de la invención se usa un objetivo de alta AN con $AN=1,4$ y con una distancia de trabajo de $200\mu\text{m}$, que está hecho de tal forma que resulta un punto focal ideal si se usa un fondo de recipiente con un grosor de $170\mu\text{m}$, si entre la lente de salida y el fondo de recipiente se aplica aceite de inmersión y si la distancia del objetivo está elegida de tal forma que el punto focal se encuentre directamente por encima del lado inferior del fondo de recipiente, a saber, de tal forma que el vóxel originado no pueda adherirse al fondo de recipiente.

30 El acoplamiento del rayo láser a la óptica de focalización se realiza según la invención preferentemente a través de un sistema de espejos tal como está representado en la figura 12.

35 La figura 8 muestra una forma de realización de la invención, cuya estructura se corresponde sustancialmente a la forma de realización según la figura 5. Como elemento adicional está dispuesto un elemento conformador de rayo 15 por ejemplo en forma de una máscara de fase o de amplitud en la trayectoria de rayo entre el espejo de desviación 2 y la óptica de focalización 3. Mediante el uso del elemento conformador de rayo 15, la radiación láser se enfoca a través de la óptica de focalización 3 formando varios focos 5a,5b y 5c, de modo el material que ha de ser solidificado 6 puede ser solidificado en varios puntos al mismo tiempo. El número de los puntos de solidificación corresponde al número n de focos producidos (paralelización). La figura 9 muestra el uso correspondiente de un elemento conformador de rayo 15 en el marco de un dispositivo según el ejemplo de realización de la figura 2. Se hace referencia a la descripción anterior relativa a la figura 2.

45 Más dispositivos con paralelización están representados en las figuras 3, 4, 6 y 7. En estos, la paralelización se consigue respectivamente mediante el uso de un espejo de desviación 16 semitransparente que divide el rayo láser 4 no enfocado que sale de la fuente de láser 1 en dos rayos parciales 17a,17b que se conducen respectivamente a una óptica de focalización 3 independiente.

50 Los dispositivos según las figuras 3 y 6 presentan unidades de soporte 12a y 12b sumergidas en el material que ha de ser solidificado 6 que se pueden posicionar juntas o independientemente entre ellas en la dirección Z. Con estos dispositivos se pueden producir al mismo tiempo estructuras de distintas geometrías controlando de manera correspondiente los ejes de posicionamiento. Las figuras 4 y 7 muestran dispositivos en los que mediante paralelización es posible escribir en varios puntos al mismo tiempo en una unidad de soporte 12 sumergida en el material que ha de ser solidificado.

55 Otra forma de realización está representada en las figuras 10 y 11. En lugar de una sola unidad de soporte 12 posicionable sólo linealmente, aquí se usa una mesa giratoria 18 que adicionalmente o alternativamente a un posicionamiento lineal permite un posicionamiento giratorio, por ejemplo alrededor de un eje de rotación 19. La mesa giratoria 18 representada en la figura 10 sirve para el posicionamiento de una unidad de soporte en forma de lámina, con el material que ha de ser solidificado 6, con respecto al foco 5.

60 En el dispositivo representado en la figura 11, una unidad de soporte 12 giratorio alrededor de un eje de rotación 19 y posicionable en la dirección Z se sumerge en un baño de material que ha de ser solidificado. La óptica de

focalización 3 se puede posicionar linealmente en las direcciones X e Y. La posición focal está ajustada de tal forma que el material 6 se solidifica en la unidad de soporte 12, se precipita y prácticamente se enrolla.

Lista de signos de referencia

- 5
- 1 Fuente de láser
- 2 Espejo de desviación
- 3 Óptica de focalización
- 4 Rayo láser no enfocado
- 10
- 5 Foco
- 6 Material que ha de ser solidificado
- 7 Soporte inferior
- 8 Soporte superior
- 9 Distancia de trabajo
- 15
- 10 Recipiente de material
- 11 Fondo
- 12 Unidad de soporte
- 13 Salida de rayo
- 14 Carcasa
- 20
- 15 Elemento conformador de rayo
- 16 Espejos de desviación semitransparentes
- 17a,b Rayos parciales
- 18 Mesa giratoria
- 19 Eje de rotación
- 25

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Dispositivo para producir estructuras tridimensionales a partir de un material que ha de ser solidificado (6), especialmente a partir de un material que contiene organopolisiloxano, mediante la solidificación local selectiva del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica fotoinducida, que presenta una fuente de láser (1), una óptica de focalización (3) móvil para formar uno o varios focos de láser (5) y un recipiente de material (10) para el material que ha de ser solidificado (6), y en el que la fuente de láser (1) y la óptica de focalización (3) están realizadas para producir impulsos láser o secuencias de impulsos láser que en su punto focal desencadenan una polimerización bifotónica o multifotónica del material que ha de ser solidificado, y en el que la óptica de focalización (3) presenta una apertura numérica $>0,25$, y en el que la óptica de focalización (3) es estanca frente al material que ha de ser solidificado (6) y está dispuesta de tal forma que se puede sumergir en el material que ha de ser solidificado (6) dentro del recipiente de material (10), de tal forma que una superficie de salida de rayo (13) de la óptica de focalización (3) misma forma la superficie límite definida ópticamente.
- 15 2.- Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la óptica de focalización (3) es móvil al menos en el plano (X-Y) horizontal, preferentemente en las tres direcciones espaciales (X, Y, Z).
- 20 3.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la óptica de focalización (3) presenta una apertura numérica $>0,5$, preferentemente $>1,0$.
- 25 4.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la distancia de trabajo (9) entre un objetivo de la óptica de focalización (3) y el foco de láser correspondiente está comprendida entre 0,1 y 100 mm, preferentemente entre 1 y 10 mm.
- 30 5.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** presenta una óptica para la división espacial del rayo láser (4a, 4b) para producir al menos dos focos de láser (5a, 5b) o máximos de intensidad situados a una distancia espacial entre ellos.
- 35 6.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores que comprende además un sistema de detección óptico.
- 40 7.- Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el sistema de detección presenta una fuente de luz y un sistema de detección electrónico.
- 45 8.- Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado porque** el sistema de detección detecta al menos en parte la topografía de una unidad de soporte (12) y está conectado a un sistema de regulación que detecta posibles puntos de superficie que se desvíen del valor teórico, de tal forma que estos son controlados ópticamente de manera correcta.
- 50 9.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores que presenta además un sistema dispensador para la deposición in situ para el material que ha de ser solidificado (6).
- 55 10.- Procedimiento para producir estructuras tridimensionales a partir de un material que ha de ser solidificado (6), especialmente a partir de un material que contiene organopolisiloxano, mediante la solidificación local selectiva del mismo como consecuencia de una reticulación orgánica fotoinducida a causa de una irradiación (4) mediante láser (1), en el cual el material que ha de ser solidificado (6) está dispuesto o se dispone en un recipiente de material (10), y un impulso láser o una secuencia de impulsos láser se posiciona en el interior del material que ha de ser solidificado, a través de una óptica de focalización (3) móvil con una apertura numérica $>0,25$ y en al menos un foco de láser (5), desencadenando el impulso láser o la secuencia de impulsos láser en su punto focal una polimerización bifotónica o multifotónica del material que ha de ser solidificado (6), de tal forma que tan sólo en el entorno inmediato del al menos un foco de láser (5), por la intensidad presente allí, se alcanzan condiciones de solidificación, de modo que durante la duración de la secuencia de impulsos láser se solidifica por cada foco un elemento de volumen del material que ha de ser solidificado (6), estando sumergido o sumergiéndose la óptica de focalización (3) en el material que ha de ser solidificado (6) dentro del recipiente de material (10), de tal forma que una superficie de salida (13) de la óptica de focalización (13) forma una superficie límite definida ópticamente, a través de la que el impulso láser o la secuencia de impulsos láser se introduce en el material que ha de ser solidificado (6).
- 60 11.- Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** la óptica de focalización (3) es móvil al menos en un plano (X-Y) horizontal y, en el caso de una óptica de focalización (3) sumergida, preferentemente en las tres direcciones espaciales (X, Y, Z).

12.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado porque** un rayo láser (4) se divide en al menos dos rayos parciales (4a, 4b) y/o se producen al menos dos focos de láser (5a, 5b) o máximos de intensidad situados a una distancia espacial entre ellos.

5

13.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado porque** el material que ha de ser solidificado (6) se suministra in situ al recipiente de material (10) a través de un sistema dispensador.

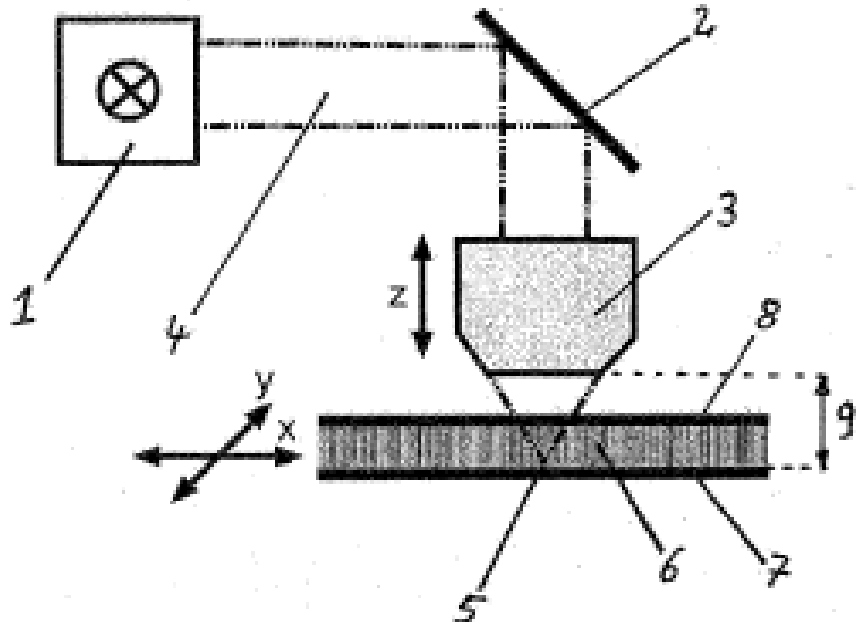


Fig. 1

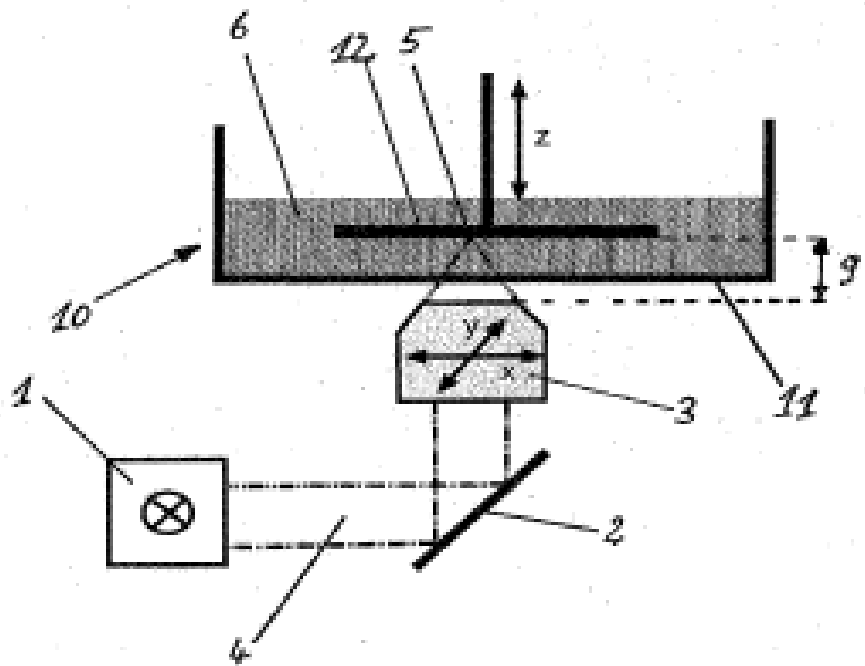


Fig. 2

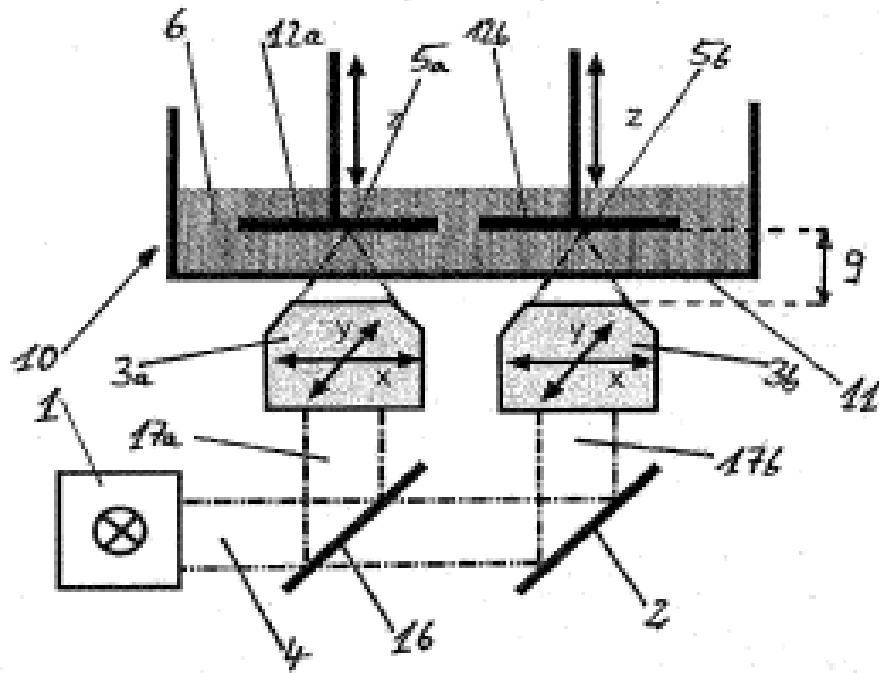


Fig. 3

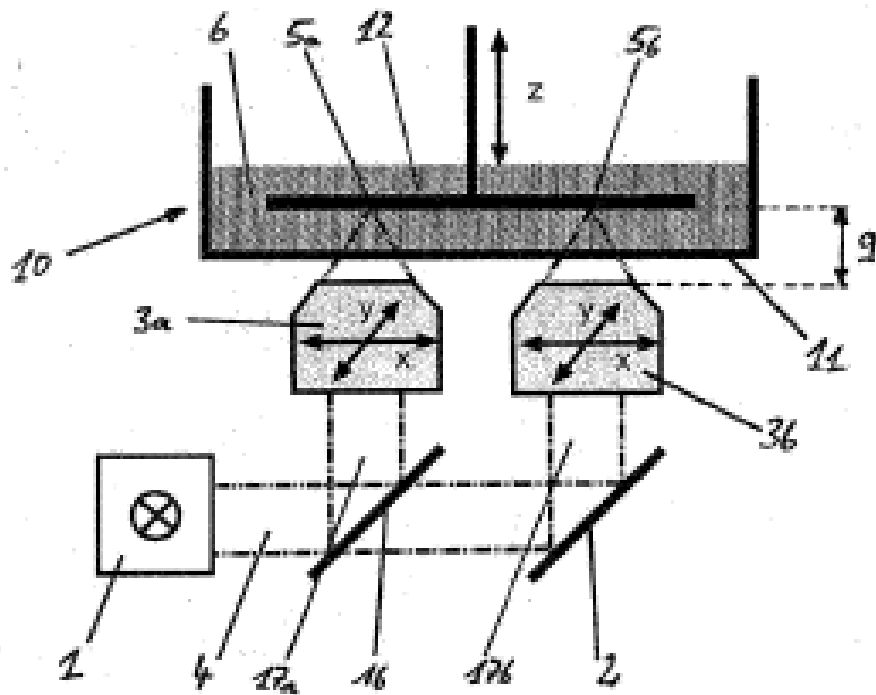


Fig. 4

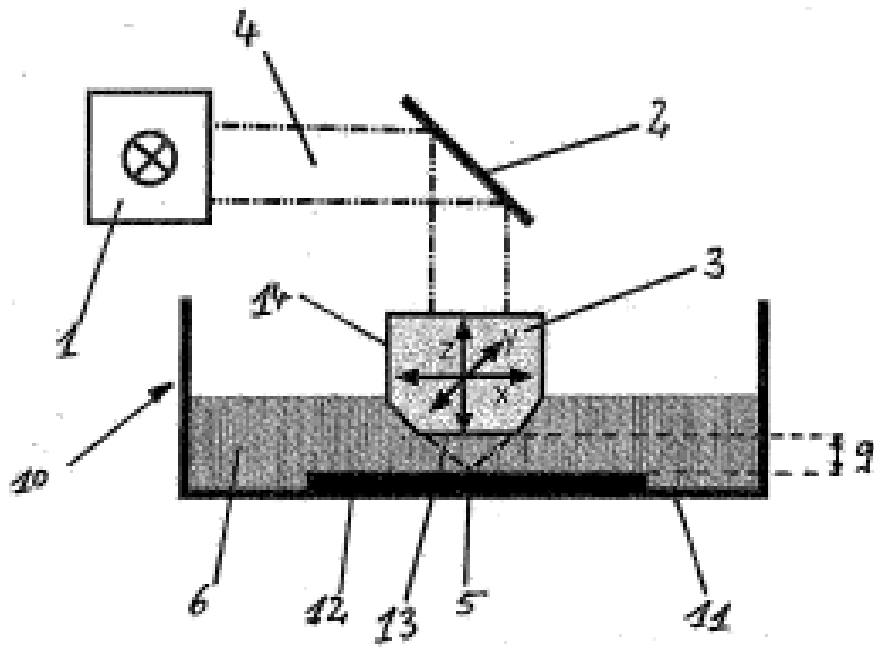


Fig. 5

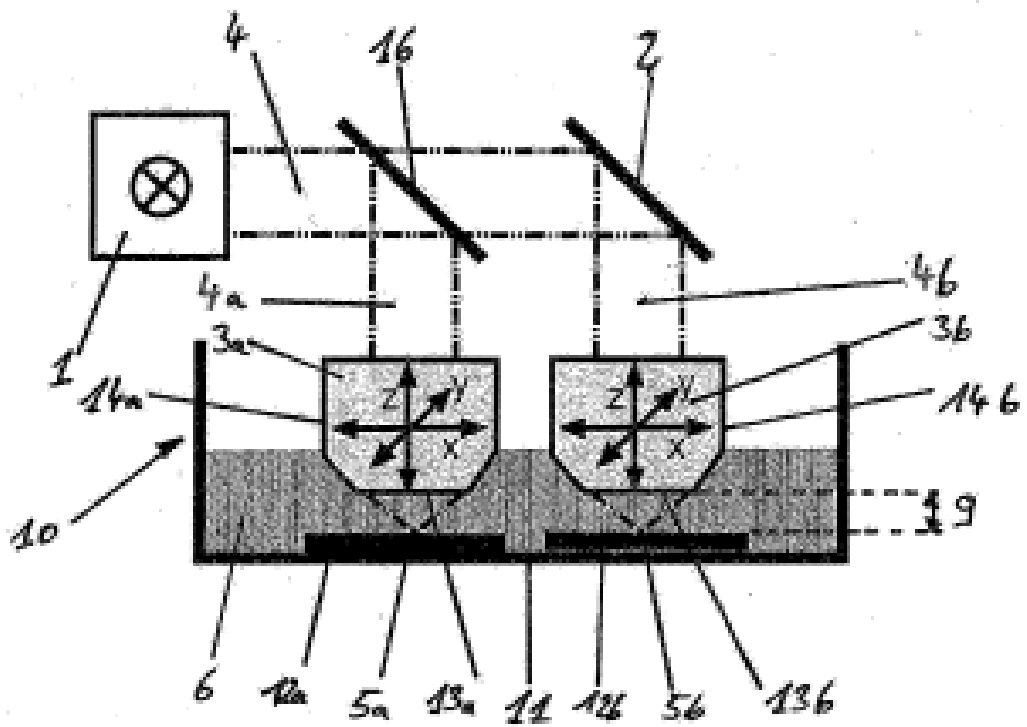


Fig. 6

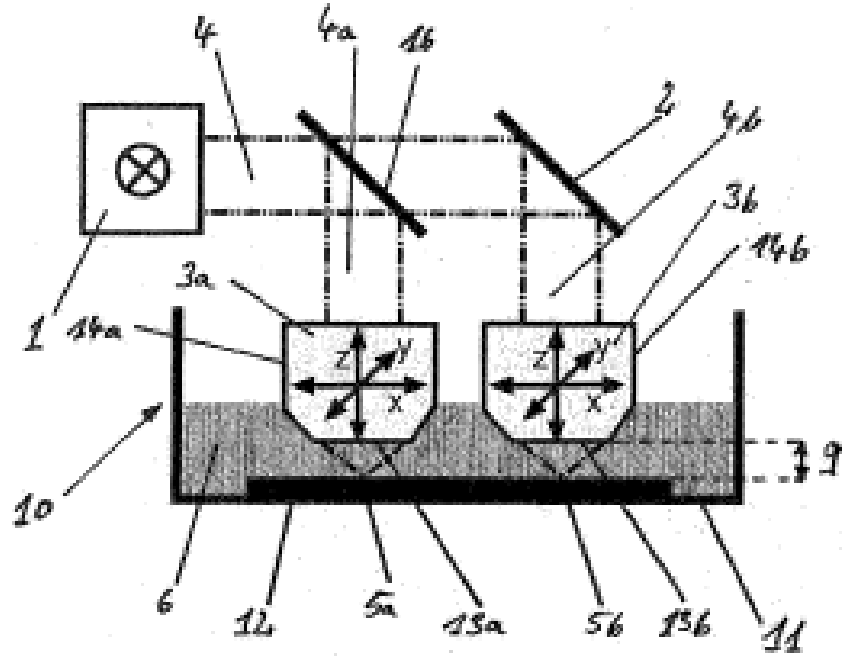


Fig. 7

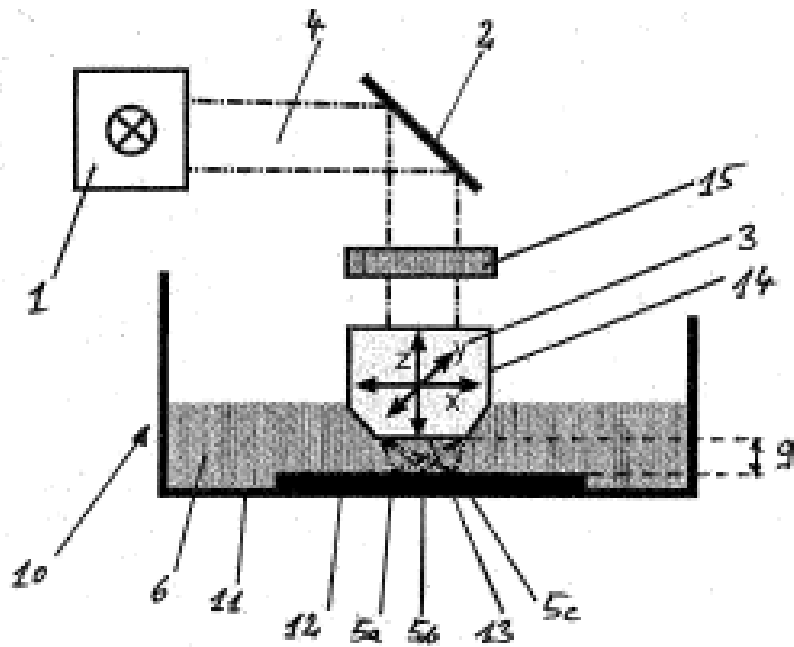


Fig. 8

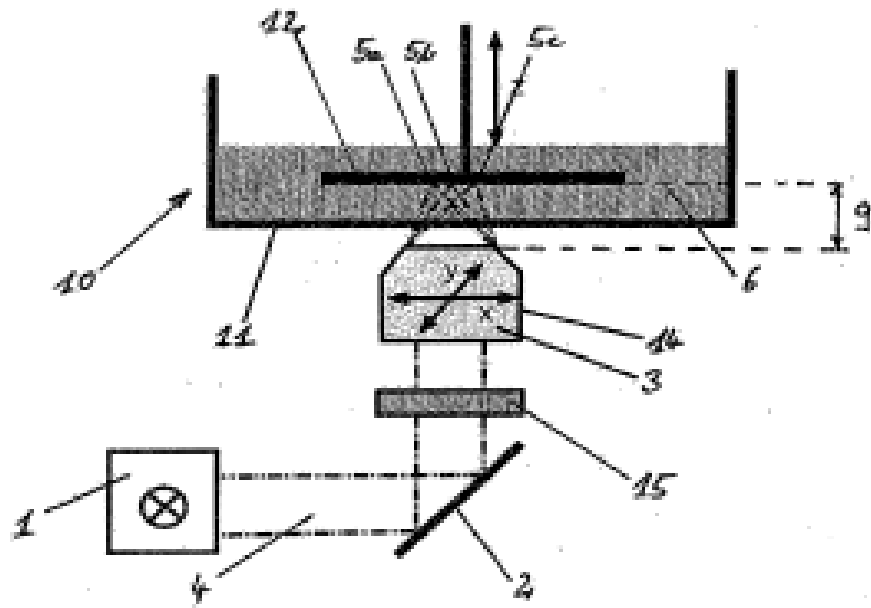


Fig. 9

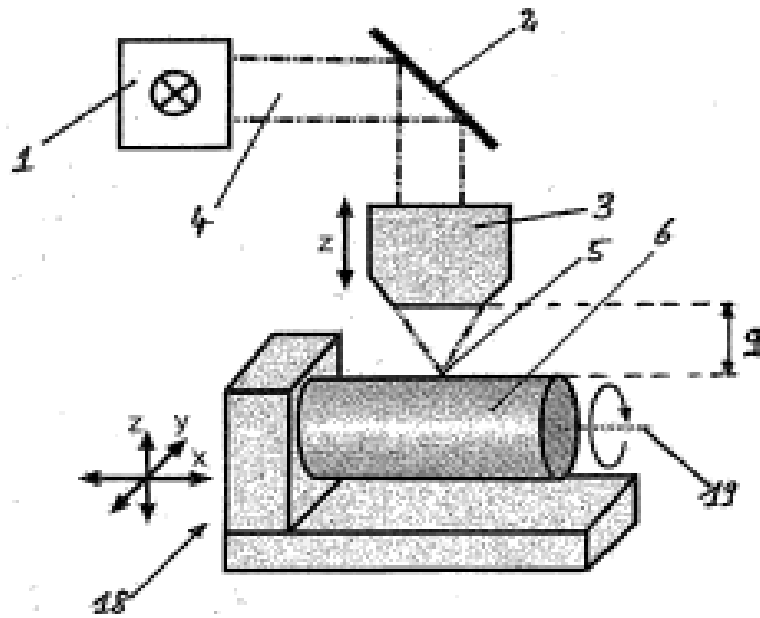


Fig. 10

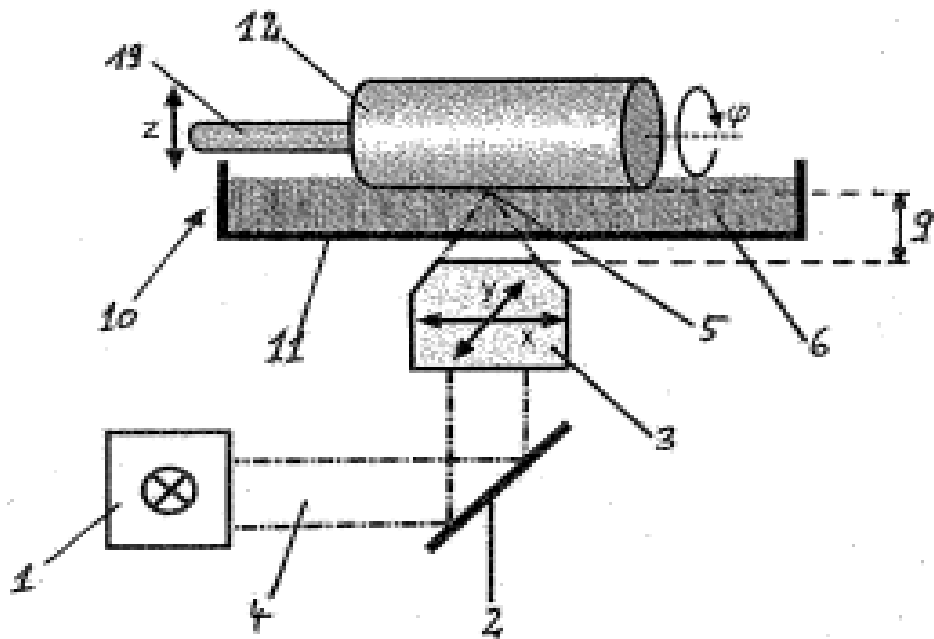


Fig. 11

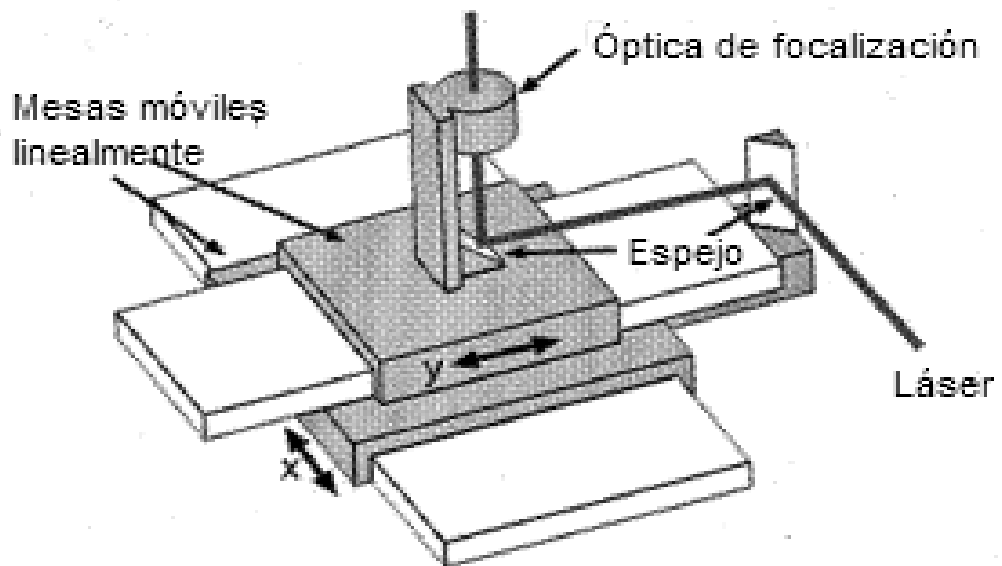


Fig. 12

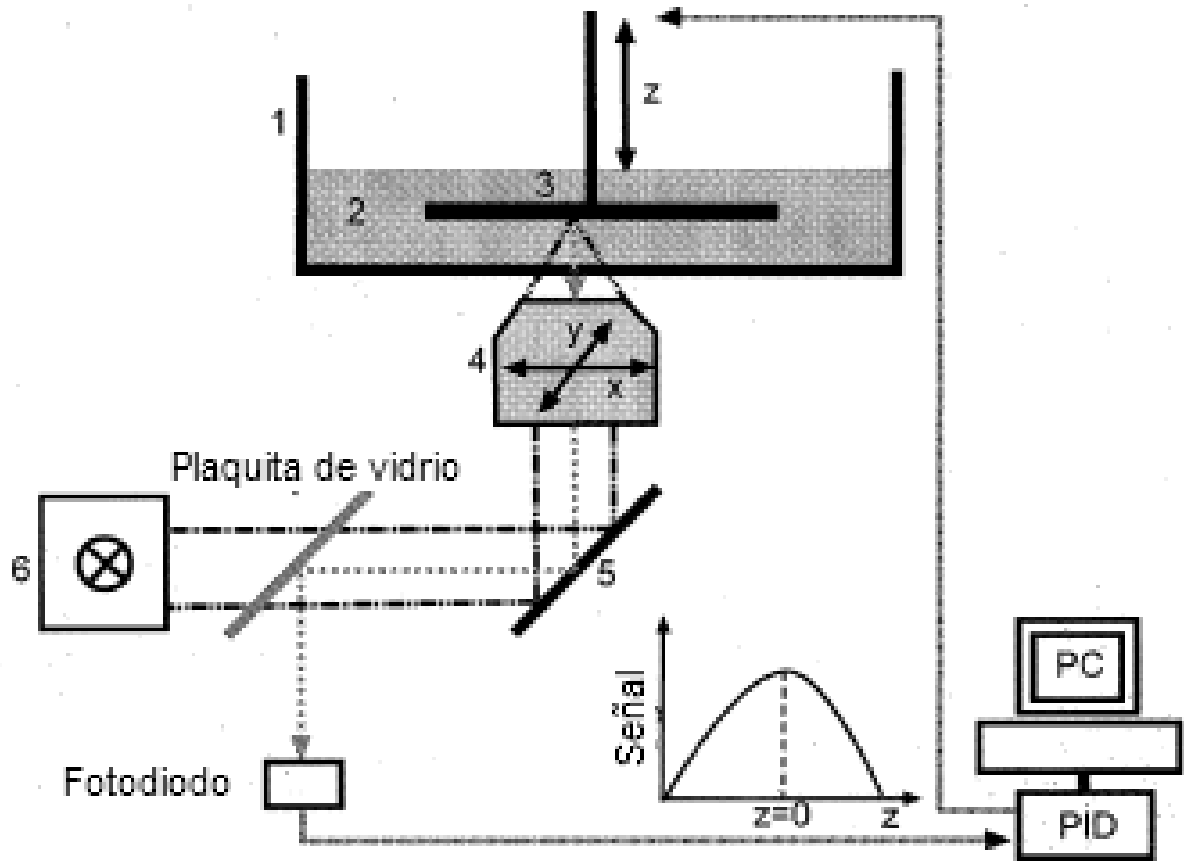


Fig. 13

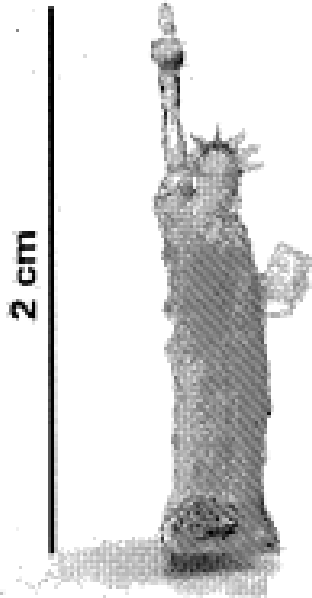


Fig. 14a

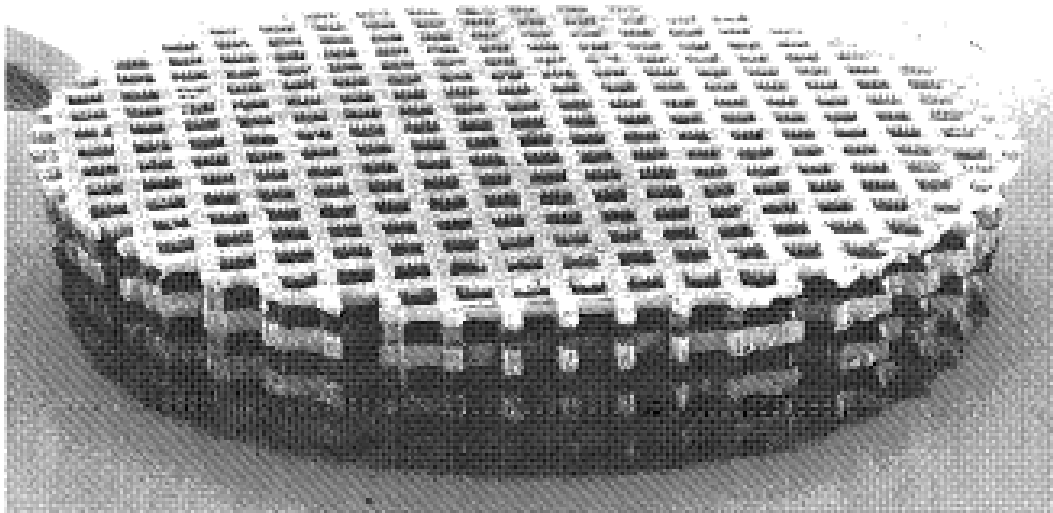


Fig. 14b