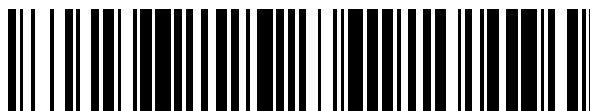


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 791 418**

51 Int. Cl.:

B29C 67/00 (2007.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2016** **E 16450014 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020** **EP 3266594**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de componentes tridimensionales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.11.2020

73 Titular/es:
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (100.0%)
Karlsplatz 13
1040 Wien, AT

72 Inventor/es:
OVSIAKOV, ALEKSANDR;
STAMPFL, JÜRGEN;
LISKA, ROBERT y
GRUBER, PETER

74 Agente/Representante:
CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 791 418 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de componentes tridimensionales

5 Descripción

La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación generativa basada en litografía de componentes tridimensionales, en el que un material que puede solidificarse por medio del efecto de la radiación electromagnética está presente en una cubeta, una plataforma de construcción se posiciona a una distancia del fondo de cubeta, un material que se encuentra entre la plataforma de construcción y el fondo de cubeta se irradia de manera localmente selectiva con ayuda de una unidad de irradiación, en el que la radiación electromagnética se introduce en el material desde abajo a través de un fondo de cubeta permeable por lo menos por zonas a la radiación y se enfoca sucesivamente en puntos focales dentro del material, con lo que en cada caso se solidifica un elemento de volumen del material que se encuentra en el punto focal, efectuándose la solidificación por medio de absorción multifotónica.

La invención se refiere además a un dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de componentes tridimensionales que es adecuado en particular para la realización de un procedimiento de este tipo.

La fabricación generativa basada en litografía (L-GF, por ejemplo, la estereolitografía) se utiliza de manera tradicional principalmente para la producción de prototipos y modelos funcionales. Por medio de perfeccionamientos técnicos verdaderas aplicaciones de producción se acercan notablemente al foco (por ejemplo, audífonos, ortodoncias transparentes). En el curso de estos desarrollos cada vez es más importante que puedan producirse partes lo más grandes posible. Igualmente es de gran importancia el rendimiento que puede conseguirse. Las técnicas basadas en litografía (por ejemplo, la estereolitografía) ofrecen con respecto a otros procedimientos generativos sobre todo ventajas en cuanto a resolución, precisión y calidad de superficie.

Actualmente los procedimientos de L-GF disponibles exponen o bien desde arriba en una cubeta llena con material fotosensible, como se describe en el documento WO 93/08506 A1, o bien desde abajo por medio de una cubeta transparente, en la que se encuentra una capa delgada de material fotosensible, véase el documento WO 01/40866 A2. En el caso de la exposición desde arriba existen dos dificultades: (1) para componentes grandes son necesarias cantidades de material muy grandes, dado que todo el componente debe sumergirse completamente en el material fotosensible. (2) se deben aplicar para buenas superficies capas muy delgadas de material fotosensible, lo que es muy difícil para grosores de capa por debajo de 50 μm .

También en el caso de la exposición desde abajo hay dificultades: el material fotosensible líquido se encuentra en este caso entre la cubeta transparente y la plataforma de construcción, que se desplaza hacia arriba por capas. A pesar del recubrimiento antiadherente de la cubeta, el componente se adhiere de manera no deseada a la cubeta durante la operación de construcción. Al elevar la plataforma de construcción pueden generarse fuerzas de extracción tan grandes que se producen problemas en particular en la fabricación de componentes más grandes. Para esto, hay concretamente nuevos enfoques (por ejemplo, el documento US 2014/361463 A1), que mediante la introducción de oxígeno generan una capa de inhibición entre la cubeta y el componente y reducen así la adherencia. Sin embargo, existe entonces el problema de que el material que continúa fluyendo debe fluir en un intersticio muy delgado, lo que es problemático en componentes de pared gruesa o materiales de alta viscosidad.

En todos los procedimientos mencionados anteriormente existe además el problema de que al aumentar la resolución los tiempos de construcción suben con mucha rapidez.

En el documento DE 1011422 A1 se propone un procedimiento en el que la solidificación del material fotosensible líquido se realiza por medio de absorción multifotónica. Para ello se irradia con un haz láser enfocado el baño del material fotosensible, cumpliéndose las condiciones de irradiación para un proceso de absorción de varios fotones que provoca la solidificación solo en el entorno inmediato del foco, de modo que se lleva el foco del haz conforme a los datos geométricos del cuerpo moldeado que va a producirse dentro del volumen de baño a las posiciones que van a solidificarse. La irradiación del baño de material se efectúa desde arriba en el procedimiento según el documento DE 1011422 A1, en el que la intensidad de radiación se selecciona de tal manera que el líquido para la radiación utilizada por encima del punto focal es esencialmente transparente, de modo que tiene lugar una polimerización directa del material de baño de manera localmente selectiva dentro del volumen de baño, es decir también lejos por debajo de la superficie de baño.

Al cambiar la posición del punto focal a lo largo del eje óptico del sistema de imagen óptico utilizado se obtienen sin embargo errores de imagen, que aumentan con la aportación aumentada de material en la trayectoria óptica con un índice de refracción no adaptado de manera óptima. Esto es especialmente desventajoso en procedimientos en los que se producen estructuras muy finas y, por tanto, es necesaria una alta resolución del sistema de imagen. Para garantizar la alta resolución del sistema de imagen óptico debe adaptarse el índice de

refracción del material fotosensible al sistema de imagen óptico, o a la inversa. Si este no es el caso, o las propiedades del material cambian durante el procedimiento de construcción, por ejemplo, al cambiar el contenido de agua, disminuiría la resolución de las estructuras construidas que puede conseguirse.

5 Para la estructuración de la absorción multifotónica con alta resolución en el ámbito de nanómetros se propuso, por tanto, en el documento DE 102011012484 A1 un procedimiento en el que el objetivo del sistema de imagen óptico se sumerge en el material fotosensible. De este modo pueden realizarse mayores alturas de componente con alta resolución, pero la unidad de imagen óptica está en contacto continuo con la resina fotosensible, lo que, en el caso de una transformación de material no deseada, por ejemplo, por medio de luz difusa o luz ambiente, puede conducir a un deterioro de la óptica.

10 En el documento EP 2905121 A1 se describe un procedimiento en el que la solidificación del material fotosensible tiene lugar igualmente por medio de absorción multifotónica y la exposición del baño se efectúa desde abajo a través de un fondo transparente de la cubeta de material. El enfoque se efectúa en puntos focales que están situados a una distancia fija del fondo de cubeta, extrayéndose del baño la plataforma de construcción con un progreso de trabajo progresivo en la dirección de altura, de modo que pueden producirse componentes con gran altura.

15 Una gran parte de los procedimientos precedentes en el campo de la estructuración de la absorción multifotónica pretenden escribir estructuras con una resolución muy alta. Por medio de sistemas de imagen ópticos de alta resolución, la mayoría de la microscopía, se consiguen a este respecto resoluciones de hasta 50 nm. La alta resolución necesita un pequeño volumen de punto focal, que se alcanza por medio de la utilización de sistemas de imagen ópticos con alta ampliación y alta apertura numérica. Por medio de la alta apertura numérica también puede conseguirse un volumen de punto focal de forma aproximadamente esférica (normalmente menor de $1 \times 1 \times 1 \mu\text{m}^3$). Sin embargo, debido al pequeño volumen de punto focal, el rendimiento de tales instalaciones es muy reducido, dado que por ejemplo para un volumen de 1 mm^3 deben exponerse en total más de 10^9 puntos. Esto conduce a tiempos de construcción muy largos, lo que es el motivo principal para la reducida utilización industrial de procedimientos de absorción multifotónica.

20 Por tanto, la presente invención pretende mejorar un procedimiento y un dispositivo de la técnica mencionada al principio de modo que se aumente el rendimiento de componentes sin perder la posibilidad de una alta resolución de estructura.

25 Para alcanzar este objetivo la invención, en el caso de un procedimiento de la técnica mencionada al principio, consiste en que el volumen del punto focal se varía por lo menos una vez durante el procedimiento, de modo que el componente se construye a partir de elementos de volumen solidificados de distinto volumen. Por medio del volumen variable del punto focal son posibles (en el caso de un pequeño volumen de punto focal) altas resoluciones. Al mismo tiempo puede conseguirse (en el caso de un gran volumen de punto focal) una alta velocidad de escritura (medida en mm^3/h). Por tanto, la invención combina una alta resolución con un gran rendimiento. A este respecto, la variación del volumen de punto focal puede utilizarse, por ejemplo, de tal manera que en el interior del componente que va a construirse se utiliza un gran volumen de punto focal para aumentar el rendimiento, y en la superficie del componente se utiliza un menor volumen de punto focal para configurar con alta resolución la superficie de componente. Una ampliación del volumen de punto focal posibilita un rendimiento de estructuración más alto, dado que se incrementa el volumen de material solidificado en una operación de exposición. Para mantener con alto rendimiento una alta resolución, pueden utilizarse pequeños volúmenes de punto focal para estructuras y superficies más finas, y mayores volúmenes de punto focal para estructuras bastas y/o para llenar espacios interiores.

30 En un procedimiento preferido se efectúa la variación del volumen focal de tal manera que el mayor volumen de punto focal durante la fabricación de un componente es mayor de $1 \mu\text{m}^3$, preferentemente mayor de $100 \mu\text{m}^3$, en particular mayor de $10.000 \mu\text{m}^3$.

35 El principio de la absorción multifotónica se utiliza en el marco de la invención para iniciar en el baño de material fotosensible un proceso fotoquímico. Como consecuencia de la reacción fotoquímica se produce un cambio del material a por lo menos otro estado, produciéndose normalmente una fotopolimerización. La exposición se efectúa a este respecto desde abajo a través de un fondo de cubeta transparente para la radiación electromagnética. El principio de la absorción multifotónica se basa en que el proceso fotoquímico mencionado solo tiene lugar en aquellas zonas de la trayectoria de haz en las que está presente una densidad de fotones suficiente para la absorción multifotónica. La densidad de fotones más alta aparece en el foco del sistema de imagen óptico, de modo que la absorción multifotónica con suficiente probabilidad solo aparece en el punto focal. Fuera del foco la densidad de fotones es más reducida, de modo que la probabilidad de la absorción multifotónica fuera del foco es demasiado reducida para causar un cambio irreversible del material por medio de una reacción fotoquímica. La radiación electromagnética en la longitud de onda utilizada puede pasar en su mayor parte sin impedimentos el material y solo se produce en el punto focal una interacción entre material fotosensible y radiación electromagnética. El principio de la absorción multifotónica se describe por ejemplo en Zipfel *et al.*, "Nonlinear magic: multiphoton microscopy in the biosciences", NATURE BIOTECHNOLOGY, VOLUMEN 21, NÚMERO 11, NOVIEMBRE DE 2003.

La fuente para la radiación electromagnética puede ser preferentemente un haz láser colimado. El láser puede emitir tanto una como varias longitudes de onda fijas o variables. En particular, se trata de un láser continuo o pulsado con duraciones de pulso en el ámbito de nanosegundos, picosegundos o femtosegundos. Un láser de femtosegundo pulsado ofrece a este respecto la ventaja de que se necesita una potencia media más reducida para la absorción multifotónica.

Por material fotosensible se entiende cada material fluido en condiciones de construcción que se transforma por medio de absorción multifotónica en el volumen de punto focal en un segundo estado, por ejemplo, por medio de polimerización. El cambio de material debe limitarse a este respecto al volumen de punto focal y su entorno directo. El cambio de las propiedades de sustancia puede ser duradero y consistir por ejemplo en un cambio de un estado líquido a uno sólido, aunque también puede ser solo transitorio. También un cambio duradero puede ser por lo demás reversible o no reversible. El cambio de las propiedades de material no debe pasar de manera obligatoria completamente de uno a otro estado, sino que también puede existir como forma mixta de ambos estados.

La potencia de la radiación electromagnética y la duración de exposición influyen en la calidad del componente generado. Por medio de la adaptación de la potencia de radiación y/o de la duración de exposición el volumen del punto focal puede variarse en una zona estrecha. Con potencias de radiación demasiado altas aparecen procesos adicionales que pueden conducir al deterioro del componente. Si la potencia de radiación es demasiado reducida, no puede ajustarse ningún cambio de propiedad de material duradero. Por tanto, para cada material fotosensible hay parámetros de proceso de construcción típicos que están relacionados con buenas propiedades de componentes.

Sin embargo, la variación según la invención del volumen de punto focal no se basa a este respecto en un cambio de la intensidad de la radiación electromagnética utilizada. Más bien se aplica la intensidad de radiación (óptima) elegida para el proceso de construcción, que durante la construcción de componente se deja sin cambios. Por tanto, el procedimiento según la invención se realiza preferentemente de tal manera que el cambio del volumen de punto focal se realiza con una intensidad de radiación invariable.

Por tanto, como volumen de punto focal se entiende aquel volumen de un punto expuesto tras la etapa de preparación en los parámetros de proceso de construcción típico. Por el cambio según la invención del volumen de punto focal se entiende un cambio de la distribución de intensidad espacial en el punto focal. A este respecto la distribución de intensidad espacial del punto focal puede cambiarse tanto en una como en varias direcciones. Así por ejemplo, puede ampliarse la distribución de intensidad en todas las tres direcciones espaciales por medio de una reducción de la apertura numérica efectiva del sistema de imagen óptico. Al utilizar un elemento óptico difractivo puede cambiarse el foco en una línea o superficie, o aumentarse la cantidad de los puntos focales.

Un procedimiento preferido de la invención prevé que el cambio del volumen de punto focal se realice por medio de una unidad que se compone por lo menos de un elemento óptico dispuesto en la trayectoria de haz entre la fuente de la radiación electromagnética y un sistema de imagen óptico enfocado en el punto focal.

El cambio del volumen de punto focal puede efectuarse de muy diferentes maneras por medio del por lo menos un elemento óptico, pudiendo también combinarse entre sí las posibilidades mencionadas a continuación.

Preferentemente, está previsto que el cambio del volumen de punto focal se efectúe por medio de una variación de la apertura numérica efectiva del sistema de imagen óptico. Por apertura numérica del sistema de imagen óptico se entienden sus propiedades nominales en condiciones óptimas con el menor tamaño de punto focal posible. Si se produce un mayor volumen de punto focal por medio de un cambio de los parámetros ópticos delante del sistema de imagen óptico, se habla de la apertura numérica efectiva del sistema de imagen.

Preferentemente, puede estar previsto que el cambio del volumen de punto focal se efectúe por medio de una variación del diámetro de haz a lo largo de la trayectoria de haz.

El procedimiento también puede realizarse preferentemente de tal manera que la variación del diámetro de haz se efectúa por medio de una óptica de expansión en particular variable o un diafragma ajustable. Por una óptica de expansión se entiende un sistema óptico con el que se amplía o disminuye el diámetro de haz. El diámetro de haz determina junto con la distancia focal del sistema de imagen óptico el volumen de punto focal. Por tanto, con una distancia focal constante un cambio del diámetro de haz conduce a un cambio de la apertura numérica efectiva y con ello a un cambio del volumen de punto focal. La óptica de expansión puede estar realizada con una expansión tanto constante como variable. En el caso de una expansión variable, la óptica de expansión puede utilizarse para cambiar el volumen de punto focal.

Un cambio del diámetro de haz también puede realizarse con ayuda de un diafragma ajustable, en el que una disminución del diámetro de haz conduce por ejemplo a una reducción de la apertura numérica efectiva, con lo que se aumentan el diámetro y la longitud del volumen de punto focal. El diafragma puede realizarse como diafragma hendido unidimensional, como diafragma de iris bidimensional o cualquier otra forma de diafragma.

Preferentemente, el por lo menos un elemento óptico se forma por un elemento óptico difractivo y/o una lente óptica. Una posible aplicación de un elemento óptico difractivo consiste en formar, a partir del haz que llega, varios haces, que se diferencian en el ángulo de salida. Los haces individuales se reproducen por medio del sistema de imagen óptico en el plano focal, representando los puntos focales individuales de los haces individuales diferentes puntos en el plano focal. Según el elemento óptico difractivo utilizado, pueden reproducirse en este caso uno o varios puntos focales. Los puntos focales también pueden estar situados tan cerca unos de otros que los puntos individuales coinciden entre sí. En este caso se generan líneas o superficies. El elemento óptico difractivo puede ser estático o dinámico. En el caso de elementos ópticos difractivos dinámicos se habla de un “*spatial light modulator*” (“modulador de luz espacial”).

La unidad para cambiar el volumen de punto focal también puede contener un sistema óptico para la conformación de haz. Un sistema óptico de este tipo puede componerse de dos lentes cilíndricas con una distancia variable para el control dirigido del astigmatismo en el sistema de imagen óptico. Por medio de la variación de la distancia de lente puede influirse de manera dirigida en una dimensión del volumen de punto focal.

Además, la unidad para cambiar el volumen de punto focal también puede incluir uno o varios sistemas deflectores de haz que se mueven rápido, que guían el haz en un ángulo conocido con respecto a los otros sistemas deflectores. De una manera preferida, dos sistemas deflectores están en ángulo recto entre sí. Mientras que el un sistema deflector guía el haz a través del material fotosensible, el segundo expande el volumen de material transformado por medio de un movimiento rápido del haz ortogonal a la dirección de guiado de haz.

Con las medidas mencionadas para cambiar el volumen de punto focal puede efectuarse el cambio del volumen de punto focal en por lo menos una, preferentemente en tres, direcciones espaciales que están en perpendicular entre sí.

En el marco de las medidas descritas para cambiar el volumen de punto focal, la apertura numérica del sistema de imagen óptico puede seleccionarse pequeña, seleccionándose la apertura numérica preferentemente menor de 0,8, preferentemente menor de 0,2.

Como ya se mencionó, el componente según la invención se construye de tal manera que la radiación electromagnética se introduce en el material desde abajo a través de un fondo de cubeta permeable por lo menos por zonas a la radiación y se enfoca sucesivamente en un gran número de puntos focales dentro del material. A este respecto se procede de tal manera que la radiación electromagnética se defleca por medio de una unidad deflectora dispuesta delante del sistema de imagen óptico, para ajustar el punto focal en un plano esencialmente paralelo (dirección X e Y) al fondo de cubeta. El ajuste se efectúa siempre después de que se solidifique un elemento de volumen del material. Para la deflexión del haz puede utilizarse a este respecto cualquier unidad deflectora de haz que se conozca por el estado de la técnica. Por ejemplo, pueden estar previstos un dispositivo deflector de haz independiente para una deflexión de haz en dirección X y un dispositivo deflector de haz para una deflexión en dirección Y. Adicionalmente, la unidad deflectora de haz puede combinarse con un sistema de posicionamiento o sustituirse parcialmente por medio del mismo, que mueve el campo de imagen del sistema de imagen, para posibilitar la producción de componentes con una extensión mayor en dirección X e Y. A este respecto es insignificante si se mueve el sistema de imagen óptico o el componente.

Un procedimiento preferido prevé además que la plataforma de construcción se eleve de manera progresiva con el progreso de construcción progresivo. A este respecto la construcción del componente puede efectuarse, por ejemplo, por capas. En primer lugar, se producen todos los elementos de volumen en un plano o una capa, sobre el que la plataforma de construcción se eleva para configurar la siguiente capa. Para ello se dispone una plataforma de construcción que puede ajustarse en dirección vertical (dirección Z) en el material fotosensible. A esta plataforma de construcción se adhiere la primera capa generada por medio de transformación de material inducida de manera multifotónica del componente futuro. La segunda capa se adhiere a la primera capa y cada capa adicional se adhiere a la respectiva capa anterior, de modo que el componente crece por medio de la construcción por capas a partir de la cubeta.

De manera especialmente preferible, a este respecto el punto focal se dispone a distancia del fondo de cubeta. Normalmente la distancia del punto focal con respecto al fondo de cubeta asciende a entre 20 μm y 2 mm. Debido a la distancia entre la zona de polimerización y el fondo de cubeta no puede producirse ninguna adherencia no deseada del material transformado a la cubeta. Además, puede continuar fluyendo más fácilmente material fresco entre el componente y la cubeta, para estar a disposición como material de partida para las siguientes capas. Dado que no se produce ninguna adherencia del componente al fondo de cubeta, no ha de esperarse ninguna fuerza de extracción al elevar la plataforma de construcción. La base de este efecto es el hecho de que el proceso fotoquímico en la absorción multifotónica como ya se mencionó solo puede tener lugar en un volumen focal bien definido. Cuando la distancia entre el fondo de cubeta y la capa de construcción se selecciona relativamente grande, durante el procedimiento de construcción puede continuar fluyendo material en

el intersticio entre el fondo de cubeta y el componente, con lo que se posibilita un procedimiento continuo en su mayor parte.

5 En la construcción por capas descrita del componente, la distancia normal de los puntos focales con respecto al fondo de cubeta puede mantenerse constante, porque el movimiento del componente se realiza en dirección vertical por medio de la plataforma de construcción móvil. De este modo, las condiciones de borde ópticas se mantienen constantes durante todo el procedimiento de construcción. Por consiguiente, con respecto al estado de la técnica, en el que el foco se mueve en dirección vertical, se logra la ventaja de que la radiación electromagnética no debe enfocarse con profundidad diferente en el material fotosensible, lo que conduciría a variaciones de la calidad de foco dependientes de la profundidad. La distancia normal que se mantiene constante se mide preferentemente entre el fondo de cubeta y el punto central del volumen de punto focal. Alternativamente, puede medirse la distancia normal que se mantiene constante entre el fondo de cubeta y el borde inferior del volumen de punto focal.

15 El cambio según la invención del volumen de punto focal también puede efectuarse a este respecto dentro de una misma capa, de modo que una capa se compone de elementos de volumen de diferente volumen. No obstante, también puede procederse de tal manera que una capa pueda componerse solo de elementos de volumen igualmente grandes y que un volumen de punto focal cambiado se utilice para la siguiente capa.

20 Como sistema de imagen óptico, que enfoca la radiación electromagnética en el punto focal respectivo, puede utilizarse cualquier tipo de sistema óptico, conocido según el estado de la técnica, con cualquier cantidad de elementos ópticos para el enfoque. La unidad de imagen óptica puede utilizarse delante o detrás de la unidad deflectora de haz. Por ejemplo, puede utilizarse una óptica de F-theta detrás del sistema deflector de haz con una apertura numérica moderada de < 0.2 .

25 Entre la unidad deflectora de haz y la óptica de enfoque del sistema de imagen óptico puede estar insertada una expansión o una reducción de haz ópticas adicionales. Este sistema óptico adicional puede ampliar o disminuir la apertura numérica efectiva por medio del cambio del diámetro de haz con una distancia focal invariable de la unidad de imagen óptica. Sin embargo, toda adaptación detrás del sistema deflector de haz afecta a la velocidad de deflexión de haz.

30 Un aspecto adicional de la invención se refiere a un dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de componentes tridimensionales, en particular para realizar un procedimiento según el primer aspecto de la invención. El dispositivo comprende una fuente de radiación electromagnética, una cubeta con un fondo permeable por lo menos por zonas a la radiación, que puede llenarse con material que puede solidificarse, una plataforma de construcción, que se mantiene a una altura ajustable sobre el fondo de cubeta, y una unidad de irradiación, que puede controlarse para la irradiación localmente selectiva de material que se encuentra entre la plataforma de construcción y el fondo de cubeta desde abajo a través del fondo de cubeta, comprendiendo la unidad de irradiación un sistema de imagen óptico, para enfocar sucesivamente la radiación en puntos focales dentro del material, con lo que en cada caso un elemento de volumen que se encuentra en el punto focal del material puede solidificarse por medio de absorción multifotónica. El dispositivo está caracterizado por que la unidad de irradiación comprende por lo menos un elemento óptico dispuesto en la trayectoria de haz entre la fuente de la radiación electromagnética y el sistema de imagen óptico, que está configurado para el cambio del volumen del punto focal.

45 Preferentemente, puede utilizarse el por lo menos un elemento óptico para cambiar la apertura numérica efectiva del sistema de imagen.

50 Preferentemente, está previsto que esté presente el por lo menos un elemento óptico para variar el diámetro de haz a lo largo de la trayectoria de haz.

Preferentemente, está previsto que el por lo menos un elemento óptico esté formado por una óptica de expansión variable o un diafragma ajustable.

55 Preferentemente, también puede estar previsto que el por lo menos un elemento óptico se forme por un elemento óptico difractivo y/o una lente óptica.

60 En particular, el por lo menos un elemento óptico puede comprender un sistema de conformación de haz, que comprende, por ejemplo, dos lentes cilíndricas que se mantienen entre sí a una distancia variable.

La unidad de irradiación comprende una unidad deflectora dispuesta delante del sistema de imagen óptico, para ajustar el punto focal en un plano esencialmente paralelo con respecto al fondo de cubeta.

65 Una unidad de control que actúa conjuntamente con la unidad de irradiación está preparada ventajosamente para solidificar en etapas de irradiación sucesivas elementos de volumen situados en una capa sobre la plataforma de construcción para configurar una capa con una geometría predeterminada por medio del control de

la unidad de irradiación y para adaptar después de las etapas de irradiación para la capa la posición relativa de la plataforma de construcción al fondo de cubeta, para construir así sucesivamente el componente en la forma deseada.

5 La invención se explicará más detalladamente a continuación mediante ejemplos de realización representados esquemáticamente en los dibujos. En los mismos muestran la figura 1 un dispositivo para realizar el procedimiento según la invención, la figura 2 una unidad para la adaptación de volumen focal, la figura 3 una configuración modificada de la unidad para la adaptación del volumen focal, la figura 4 una configuración modificada adicional de la unidad para la adaptación de volumen focal, la figura 5 una configuración modificada
10 adicional de la unidad para la adaptación de volumen focal, la figura 6 una configuración modificada adicional de la unidad para la adaptación de volumen focal y las figuras 7 a 10 estrategias de construcción diferentes mediante la utilización de elementos de volumen grandes y pequeños.

15 En la figura 1 resulta evidente que una onda electromagnética emitida por el láser 7 se guía a través de una unidad para cambiar el volumen de punto focal 8 y mediante una unidad deflectora de haz 9 y por medio de un sistema de imagen óptico 10 se enfoca a través de una placa de fondo 1 transparente en un material 2 fotosensible. En el foco 5 del sistema de imagen óptico 10 se produce el cambio de estado del material 2 fotosensible, con lo que se construye el componente 3. El componente 3 cuelga de una plataforma 4 de construcción, que puede moverse en dirección vertical. Después de que la capa actual se ha terminado de
20 exponer, se eleva la plataforma 4 de construcción y se expone la siguiente capa. Por medio de la utilización de un láser 7 con alta potencia de cresta es posible la utilización de absorción multifotónica, de modo que el cambio de estado del material solo tiene lugar en el foco 5, pero no en la zona 6 ópticamente "muerta" entre el fondo de cubeta 1 y la plataforma de construcción o el componente ya construido. Por consiguiente, puede producirse menor adherencia del componente a la placa de fondo 1 transparente.

25 Todos los elementos en la figura 1 están representados de manera únicamente simbólica y pueden ampliarse a voluntad y de manera correspondiente al conocimiento del experto en la materia, por ejemplo, por medio de la utilización de sistemas de lentes, diafragmas, espejos, filtros o divisores de haz adicionales.

30 La figura 2 muestra esquemáticamente la unidad 8 para cambiar el volumen de punto focal. La unidad comprende un elemento óptico difractivo 11, que disocia el haz incidente en dos haces que pasan por un sistema de dos lentes 12 y 13. La disociación del haz se efectúa con el objetivo de generar dos puntos uno al lado de otro en el plano focal. Si ambos puntos se solapan entre sí, también se puede hablar de una línea.

35 La figura 3 muestra una configuración modificada de la unidad 8 para cambiar el volumen de punto focal. La unidad 8 comprende dos lentes cilíndricas 14 y 15 coaxiales separadas entre sí, por las que pasa el haz. El perfil de haz antes de la entrada en la unidad 8, concretamente en el plano representado de manera discontinua, es redondo. En la salida de la unidad 8 debe observarse una compresión en la dirección del eje y. De esto se obtiene en el punto focal 5 en el plano x, z y en el plano y, z la expansión representada en el dibujo del volumen
40 de punto focal.

Por medio del ajuste de la distancia entre las lentes cilíndricas 14 y 15 se cambia el volumen de todo el punto focal 5.

45 Se obtiene un efecto similar al utilizar un diafragma hendido 17, como se muestra en la configuración según la figura 5, generándose en este caso sin embargo pérdidas de intensidad por medio del corte del haz.

50 En la configuración según la figura 4, un diafragma de iris 16 causa una reducción de la apertura numérica efectiva del sistema de imagen, con lo que el volumen de punto focal será más largo y también más ancho.

En la configuración según la figura 6, el expansor mostrado a partir de las lentes 18 y 19 presenta el mismo efecto que el diafragma de iris 16, pero evita pérdidas de intensidad, disminuyendo el diámetro de haz sin cortar el haz.

55 Las posibilidades mostradas en las figuras 2 a 6 para cambiar el volumen de punto focal se efectúan en particular con la utilización de luz de láser pulsada con una longitud de onda en el ámbito de 400 a 1600 nm, ascendiendo la duración de pulso a entre 1 fs y 1 ns.

60 La figura 7 muestra un componente que se construyó por medio de un procedimiento en el que se solidifican exclusivamente volúmenes de punto focal 22 pequeños sin adaptación del volumen. Por medio de la alta resolución se obtiene una gran cantidad de puntos que van a escribirse y con ello un elevado tiempo de procesamiento por capa. Esta estrategia de construcción es ventajosa para estructuras pequeñas, de alta resolución, en las que una adaptación del volumen de punto focal no brindaría ninguna ventaja o el rendimiento no es decisivo.

65 Para el procedimiento de construcción representado en la figura 8 se utiliza solo un volumen de punto focal

grande 32 sin adaptación del volumen. La estrategia de construcción presenta un alto rendimiento, pero una resolución reducida. El volumen de punto focal se controla por medio de la unidad óptica 8, ampliándose la superficie del volumen de punto focal y adaptándose la apertura numérica efectiva al grosor de capa deseado. Esta estrategia de construcción es ventajosa para componentes que no necesitan una alta resolución, pero en los que se requiere un alto rendimiento.

5

El posible desarrollo de un procedimiento de construcción con dos volúmenes de punto focal diferentes se muestra en la figura 9. Por medio de la adaptación del volumen de punto focal durante el procedimiento de construcción por medio de la unidad óptica 8 se reduce el tiempo de procesamiento por capa. La estructura 41 que va a construirse se construye capa a capa de manera alterna a partir de volúmenes de llenado finos 42 y bastos 43. Con los volúmenes de llenado finos 42 se exponen aquellas partes de la estructura que no pueden alcanzarse con el volumen de llenado basto 43. Es ventajoso escribir en primer lugar las partes de alta resolución con el volumen de punto focal pequeño 42 y después llenar el volumen interior, dado que puede producirse una distorsión del punto focal por medio de estructuras ya construidas. El volumen de punto focal adaptativo posibilita la producción de componentes tanto con alta resolución como con alto rendimiento. Esta estrategia de construcción es adecuada para componentes con alta resolución con una ligera rugosidad de superficie.

10

15

El desarrollo de la estrategia de construcción en la figura 10 es similar a la estrategia de construcción representada en la figura 9, excepto porque ahora la superficie del componente se construye con un volumen de punto focal pequeño 54 adicional y un grosor de capa menor. Los tres volúmenes de punto focal se mencionan a continuación: el volumen de llenado fino 52, el volumen de llenado basto 53 y el volumen de superficie 54. El volumen de superficie posee el menor volumen y con ello la resolución más alta para una buena reproducción de forma de esquinas y cantos. El volumen de llenado fino 52 es igual a o mayor que el volumen de superficie 54 y llena orificios que no pueden alcanzarse por medio del volumen de llenado basto 53. Esta estrategia de construcción es adecuada para componentes en los que se requieren una reproducción de forma, calidad de superficie y un alto rendimiento excelentes.

20

25

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación generativa basada en litografía de componentes (3) tridimensionales, en el que un material (2) que puede solidificarse por medio del efecto de la radiación electromagnética está presente en una cubeta, una plataforma (4) de construcción se posiciona a una distancia del fondo de cubeta (1), un material (2) que se encuentra entre la plataforma (4) de construcción y el fondo de cubeta (1) se irradia de manera localmente selectiva con ayuda de una unidad de irradiación, introduciéndose la radiación electromagnética en el material (2) desde abajo a través de un fondo de la cubeta (1) permeable por lo menos por zonas a la radiación y se enfoca sucesivamente en puntos focales (5) dentro del material (2), con lo que en cada caso se solidifica un elemento de volumen del material (2) que se encuentra en el punto focal (5), efectuándose la solidificación por medio de absorción multifotónica, deflectándose la radiación electromagnética por medio de una unidad deflectora (9) dispuesta delante del sistema de imagen óptico (10),
- caracterizado por que el volumen del punto focal (5) durante el procedimiento por lo menos se varía una vez, de modo que el componente (3) se construye a partir de elementos de volumen solidificados de distinto volumen, estando configurada la unidad deflectora (9) para ajustar el punto focal (5) en un plano esencialmente paralelo al fondo de cubeta (1).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el cambio del volumen de punto focal se realiza por medio de por lo menos un elemento óptico (8) dispuesto en la trayectoria de haz entre la fuente de la radiación electromagnética y un sistema de imagen óptico (10) que se enfoca en el punto focal (5).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que el cambio del volumen de punto focal se efectúa por medio de una variación de la apertura numérica efectiva del sistema de imagen óptico (10).
4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizado por que el cambio del volumen de punto focal se efectúa por medio de una variación del diámetro de haz a lo largo de la trayectoria de haz.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la variación del diámetro de haz se efectúa por medio de una óptica de expansión variable o un diafragma ajustable.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico se forma por un elemento óptico difractivo y/o una lente óptica.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) comprende un sistema de conformación de haz, que comprende por ejemplo dos lentes cilíndricas (14, 15) que se mantienen a una distancia variable entre sí.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la apertura numérica del sistema de imagen óptico se selecciona menor de 0,8, preferentemente menor de 0,2.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que el cambio del volumen de punto focal se efectúa en por lo menos una, preferentemente en tres, direcciones espaciales que están perpendiculares una a otra.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la plataforma (4) de construcción se eleva gradualmente con el progreso de construcción progresivo.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que el punto focal (5) está dispuesto a distancia del fondo de cubeta (1).
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que la distancia normal del punto focal (5) con respecto al fondo de cubeta (1) se mantiene constante con un volumen de punto focal que varía.
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que elementos de volumen en la superficie del componente (3) que va a producirse se construyen a partir de elementos de volumen solidificados con menor volumen que elementos de volumen solidificados en el interior del componente (3).
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que el mayor volumen de punto focal es mayor de $1 \mu\text{m}^3$, preferentemente mayor de $100 \mu\text{m}^3$, en particular mayor de $10.000 \mu\text{m}^3$.
15. Dispositivo para la fabricación generativa basada en litografía de componentes (3) tridimensionales, para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende una fuente de radiación electromagnética, una cubeta con un fondo de cubeta (1) permeable por lo menos por zonas a la radiación, que puede llenarse con material (2) que puede solidificarse, una plataforma (4) de construcción, que se mantiene a una altura ajustable sobre el fondo de cubeta (1), un sistema deflector óptico (9) y una unidad de irradiación, que

- 5 puede controlarse desde abajo a través del fondo de cubeta (1) para la irradiación localmente selectiva de material (2) que se encuentra entre la plataforma (4) de construcción y el fondo de cubeta (1), comprendiendo la unidad de irradiación un sistema de imagen óptico (10), para enfocar la radiación sucesivamente en puntos focales (5) dentro del material (2), con lo que en cada caso puede solidificarse un elemento de volumen del material (2) que se encuentra en el punto focal (5) por medio de absorción multifotónica, deflectándose la radiación electromagnética por medio de la unidad deflectora (9) dispuesta delante del sistema de imagen óptico (10),
- 10 caracterizado por que la unidad de irradiación comprende por lo menos un elemento óptico (8) dispuesto en la trayectoria de haz entre la fuente de la radiación electromagnética y el sistema de imagen óptico (10) y que está configurado para cambiar el volumen del punto focal (5), estando configurada la unidad deflectora (9) para ajustar el punto focal (5) en un plano esencialmente paralelo al fondo de cubeta (1).
- 15 16. Dispositivo según la reivindicación 15, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) está configurado para cambiar la apertura numérica efectiva del sistema de imagen.
17. Dispositivo según la reivindicación 16, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) está configurado para variar el diámetro de haz a lo largo de la trayectoria de haz.
- 20 18. Dispositivo según la reivindicación 16 o 17, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) está formado por una óptica de expansión variable o un diafragma ajustable.
- 25 19. Dispositivo según la reivindicación 16, 17 o 18, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) se forma por un elemento óptico difractivo y/o una lente óptica.
20. Dispositivo según una de las reivindicaciones 16 a 19, caracterizado por que el por lo menos un elemento óptico (8) comprende un sistema de conformación de haz, que comprende por ejemplo dos lentes cilíndricas (14, 15) que se mantienen a una distancia variable una de otra.
- 30 21. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 20, caracterizado por que la apertura numérica del sistema de imagen óptico se selecciona menor de 0,8.
- 35 22. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 21, caracterizado por que una unidad de control que actúa conjuntamente con la unidad de irradiación está preparada para solidificar en etapas de irradiación sucesivas unos elementos de volumen situados en una capa sobre la plataforma (4) de construcción para configurar una capa con una geometría predeterminada por medio del control de la unidad de irradiación y para adaptar después de las etapas de irradiación para la capa la posición relativa de la plataforma (4) de construcción al fondo de cubeta (1), para construir así sucesivamente el componente (3) en la forma deseada.
- 40 23. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 22, caracterizado por que la unidad de irradiación está configurada para ajustar un volumen de punto focal mayor de $1 \mu\text{m}^3$, preferentemente mayor de $100 \mu\text{m}^3$, en particular mayor de $10.000 \mu\text{m}^3$.

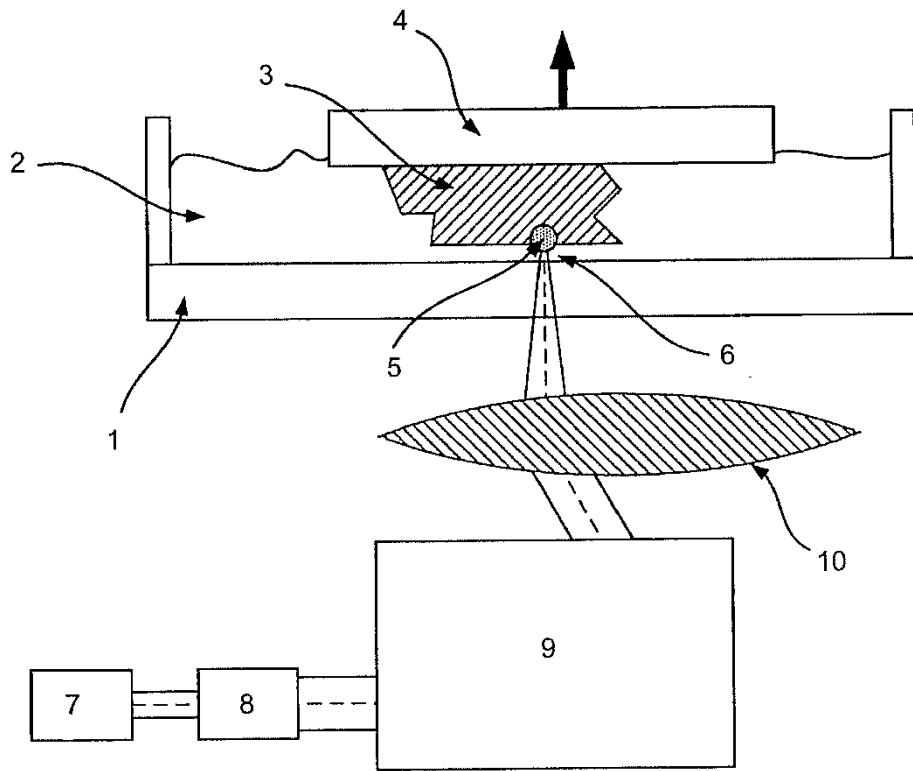


Fig. 1

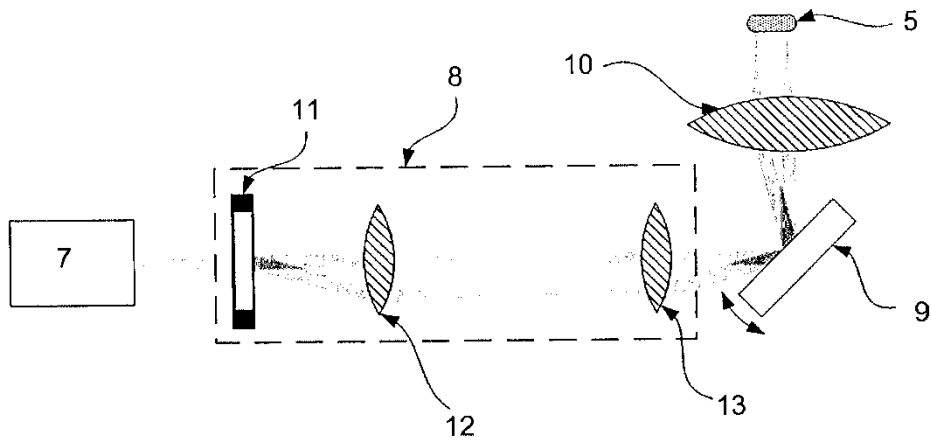
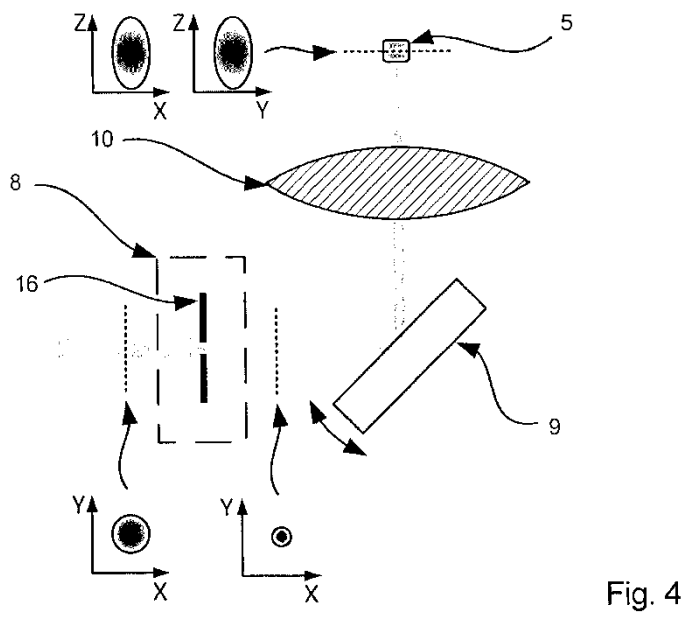
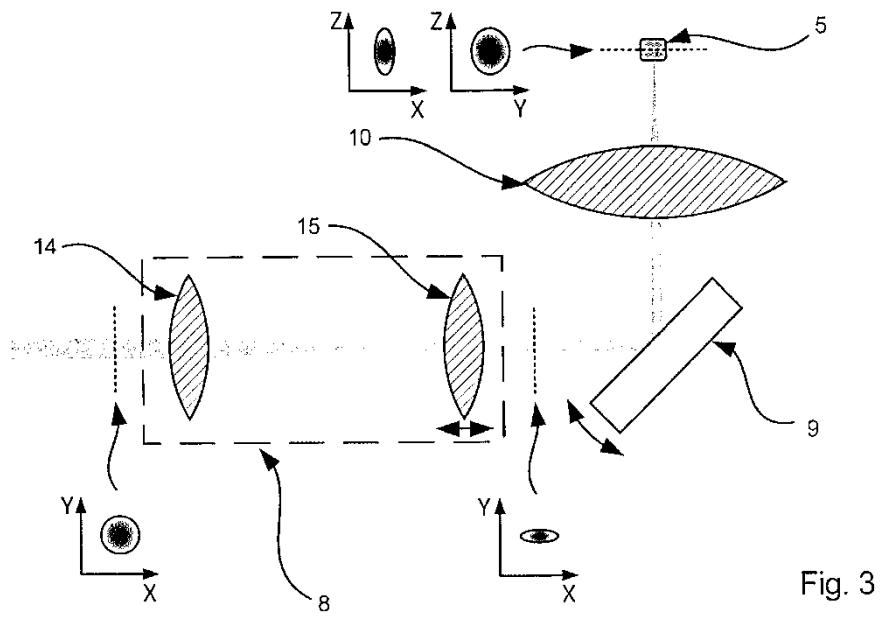


Fig. 2



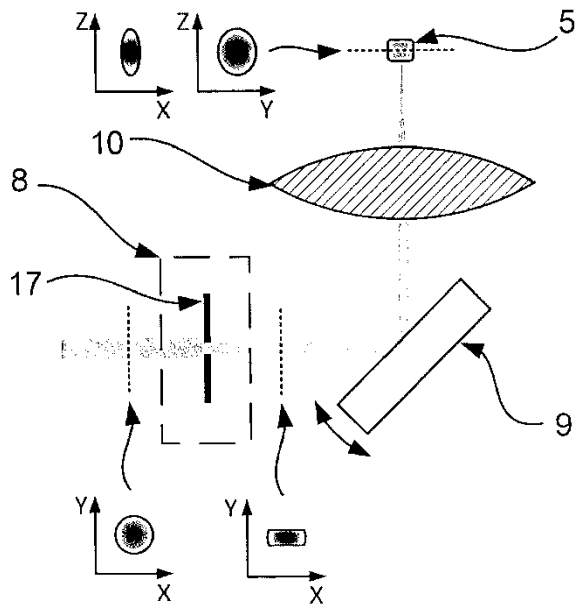


Fig. 5

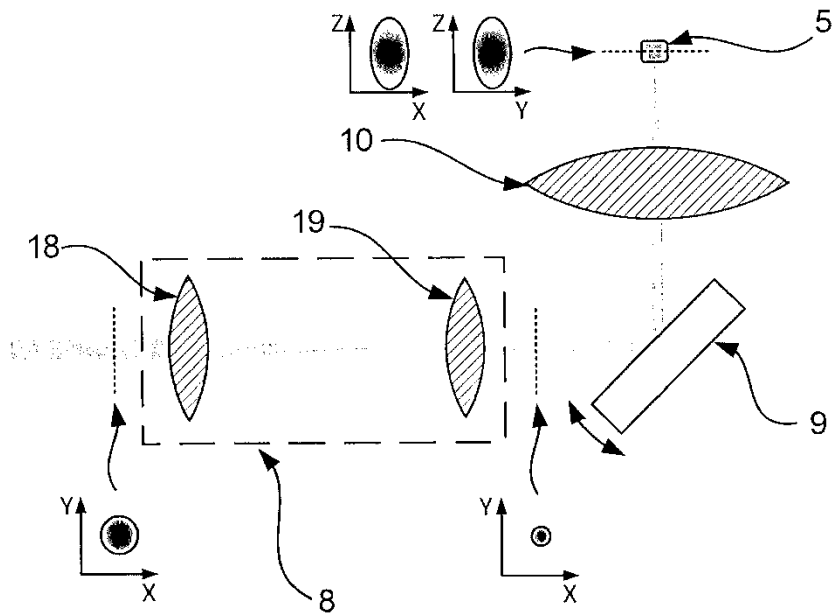


Fig. 6

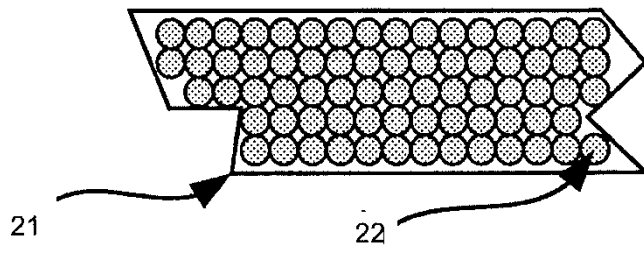


Fig. 7

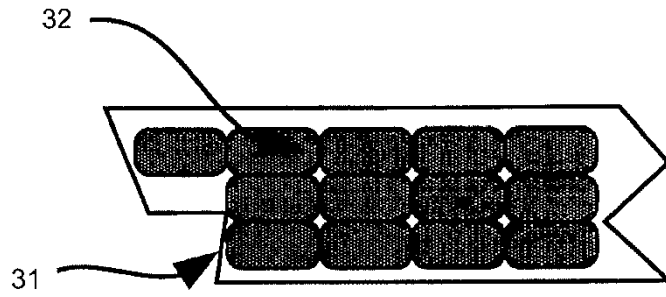


Fig. 8

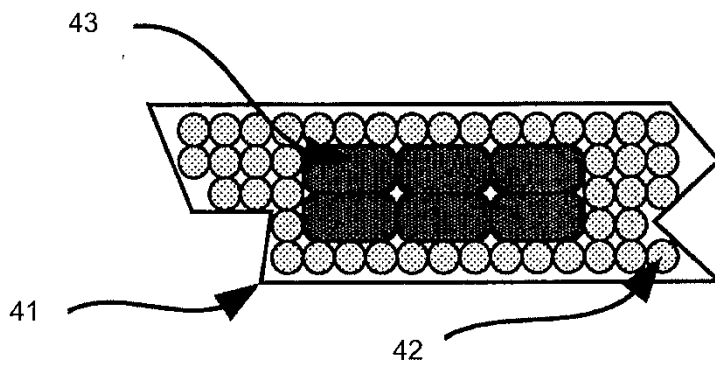


Fig. 9

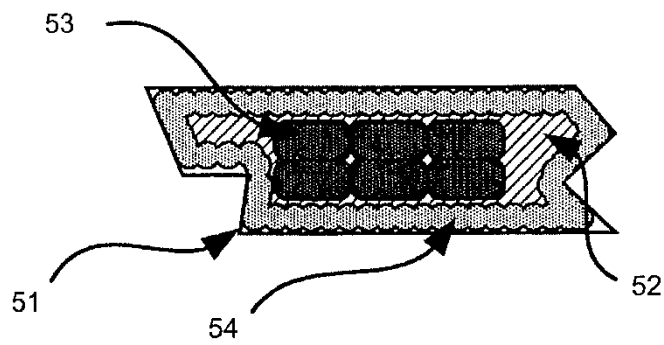


Fig. 10