

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 362**

51 Int. Cl.:

**B29C 64/264** (2007.01)

**B29C 64/124** (2007.01)

**G03F 7/00** (2006.01)

**G03F 7/20** (2006.01)

**G02B 27/09** (2006.01)

**B33Y 30/00** (2015.01)

**B29C 64/129** (2007.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**G02B 19/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2019** **PCT/FI2019/050505**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.01.2020** **WO20002775**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2019** **E 19826001 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2023** **EP 3814113**

54 Título: **Aparato de estereolitografía**

30 Prioridad:

**28.06.2018 FI 20185586**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.04.2024**

73 Titular/es:

**PLANMECA OY (100.0%)**  
**Asentajankatu 6**  
**00880 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**RAKKOLAINEN, TERO y**  
**KOIVISTO, JUHA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 964 362 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**

Aparato de estereolitografía

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

La invención se refiere a la tecnología de la impresión estereolitográfica en 3D, también conocida como fabricación aditiva estereolitográfica. En particular, la invención se refiere a aparatos de estereolitografía con sistemas de exposición basados en fotomáscaras.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La estereolitografía es una técnica de impresión 3D o fabricación aditiva en la que se utiliza radiación óptica para fotopolimerizar materia prima adecuada para producir el objeto deseado. La materia prima llega al proceso en forma de resina. Se utiliza una cuba para contener una cantidad de resina y se mueve una plataforma de construcción en dirección vertical de modo que el objeto a producir crece capa por capa sobre una superficie de construcción de la plataforma de construcción. La radiación óptica utilizada para la fotopolimerización puede provenir de encima de la cuba, en cuyo caso la plataforma de construcción se mueve hacia abajo a través de la resina restante a medida que avanza la fabricación. La presente descripción se refiere en particular a la variante de estereolitografía denominada "de abajo a arriba", en la que la radiación óptica fotopolimerizante proviene de debajo de la cuba y la plataforma de construcción se mueve hacia arriba alejándose de la resina restante a medida que avanza la fabricación.

En los aparatos de estereolitografía, la radiación óptica puede ser proporcionada por diferentes tipos de sistemas de exposición, por ejemplo, dispositivos de escaneo láser, dispositivos de proyección de imágenes o sistemas de exposición basados en fotomáscaras. Generalmente, los aparatos de estereolitografía con sistemas de exposición basados en fotomáscaras pueden proporcionar altas velocidades de construcción y resolución de impresión.

En sistemas de exposición convencionales basados en fotomáscaras, se proporciona una matriz de elementos radiantes en estrecha proximidad a una fotomáscara rectangular, y la radiación óptica emitida por la matriz de elementos radiantes se transmite a través de la fotomáscara para producir patrones de intensidad óptica secuenciales dentro de la cuba para fabricar el objeto deseado, capa por capa, a partir de la resina.

En estos sistemas, la matriz de elementos radiantes produce habitualmente una distribución de intensidad óptica que varía espacialmente en toda la extensión de la fotomáscara. Para fabricar el objeto deseado sin defectos, la distribución de intensidad óptica debería hacerse preferiblemente más uniforme. Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante la provisión de elementos unificadores de intensidad adicionales entre la matriz de elementos radiantes y la fotomáscara. Dichos elementos unificadores de intensidad se pueden proporcionar, por ejemplo, en forma de un filtro que presenta una transmitancia óptica que varía espacialmente, que es complementaria a la distribución de intensidad óptica producida por la matriz de elementos radiantes, y/o un difusor basado en la dispersión de la radiación óptica producida por la matriz de elementos radiantes.

Sin embargo, la provisión de elementos unificadores de intensidad puede inducir pérdidas ópticas notables, disminuyendo la potencia total de la radiación óptica transmitida a través de la fotomáscara y reduciendo la eficiencia energética de los aparatos de estereolitografía que comprenden dichos elementos. Además, para utilizar adecuadamente dichos elementos, puede ser necesario proporcionar la matriz de elementos radiantes y/o los elementos unificadores de intensidad en estrecha proximidad a la fotomáscara. Esto puede provocar problemas relacionados con el calentamiento de la fotomáscara y/o de la resina.

A la luz de los dos desafíos antes mencionados, puede ser deseable idear soluciones estructurales que proporcionen una distribución de intensidad óptica uniforme en toda la extensión de una fotomáscara rectangular, sin inducir pérdidas ópticas importantes y/o sin producir como resultado un calentamiento excesivo de la fotomáscara y/o de la resina.

El documento JP HO8 142203 A, correspondiente al preámbulo de la reivindicación 1, describe un aparato de modelado óptico para irradiar con luz una resina fotocurable líquida para conformar un modelo tridimensional que tenga una forma deseada. El aparato comprende una fuente de luz lineal y un espejo de reflexión en forma de arco que refleja la luz emitida desde la fuente de luz lineal. El documento JP HO8 281810 A describe realizaciones de un aparato en el que resina fotocurable se irradia con luz. Las realizaciones comprenden fuentes de luz alargadas y sistemas de espejos que rodean parcialmente a estas últimas.

**COMPENDIO**

La invención está relacionada con un aparato de estereolitografía según lo expuesto en la reivindicación 1.

En una realización, el elemento radiante comprende una fuente de radiación, como por ejemplo una fuente de radiación sustancialmente lambertiana, que tiene un patrón de radiación con un ángulo de anchura completa a la mitad del valor máximo (FWHM) en un rango de 110° a 130°, por ejemplo, aproximadamente 120°.

En una realización, el elemento de enmascaramiento comprende un elemento de cristal líquido.

En una realización, el elemento de cristal líquido es un elemento de cristal líquido transmisivo.

5 En una realización, la trayectoria óptica es sustancialmente lineal.

En una realización, la trayectoria óptica corta perpendicularmente el centro del área de enmascaramiento.

10 En una realización, cualquiera de las superficies reflectantes comprende un metal, por ejemplo, aluminio, hierro y/o plata.

En una realización, el límite de un rectángulo tiene dos planos de simetría perpendiculares entre sí con una intersección a lo largo del segmento lineal.

15 En una realización, cada una de las superficies reflectantes está dispuesta en una superficie límite interior de un cuerpo hueco.

En una realización, cada una de las superficies reflectantes está dispuesta en una superficie límite exterior de un cuerpo sólido.

20 En una realización, el elemento radiante comprende una fuente de radiación cuadrada con un tamaño de aproximadamente 25 mm x 25 mm, que tiene un patrón de radiación con un ángulo de anchura completa a la mitad del valor máximo (FWHM) de aproximadamente 120°. El elemento de enmascaramiento comprende un elemento de cristal líquido transmisivo, que tiene un área de enmascaramiento rectangular con un tamaño de aproximadamente 75 mm x 150 mm. La trayectoria óptica es sustancialmente lineal, tiene una longitud de aproximadamente 100 mm y corta perpendicularmente un centro del elemento radiante y un centro del área de enmascaramiento. Las superficies reflectantes se extienden de forma continua entre dos planos perpendiculares al segmento lineal, estando los dos planos situados aproximadamente en  $x = 9$  mm y  $x = 109$  mm. Las superficies reflectantes primera y segunda son sustancialmente planas, formando cada una de ellas un ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño con el segmento lineal de aproximadamente 15°, y una distancia entre las superficies reflectantes primera y segunda en  $x = 9$  mm es de aproximadamente 25 mm. Además, una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al segmento lineal y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta, tiene la forma de una parte de una sección cónica, presentable en forma paramétrica con un radio de curvatura  $R$  de la sección cónica en  $x = 0$  en un rango de 6 mm a 9 mm, preferiblemente de aproximadamente 7 mm, y una constante cónica  $e$  en un rango de -1,30 a -1,55, preferiblemente de aproximadamente -1,35.

Debe entenderse que las realizaciones de la invención descritas anteriormente se pueden usar en cualquier combinación de unas con otras. Varias de las realizaciones se pueden combinar entre sí para formar una realización adicional de la invención.

#### 40 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos adjuntos, que se incluyen para proporcionar una mayor comprensión de la invención y constituyen una parte de esta especificación, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, ayudan a explicar los principios de la invención. En los dibujos:

45 La Figura 1 muestra partes seleccionadas de aparatos de estereolitografía, la Figura 2 representa un sistema unificador de intensidad de un aparato de estereolitografía, la Figura 3 ilustra secciones transversales del sistema unificador de intensidad de la Figura 2 tomadas a lo largo de los planos IIIa, IIIb y IIIc de la Figura 2, 50 la Figura 4 muestra dos sistemas unificadores de intensidad de aparatos de estereolitografía, y la Figura 5 representa un sistema unificador de intensidad de un aparato de estereolitografía.

Las Figuras 1 a 5 no están dibujadas a escala. Signos de referencia similares se refieren a elementos correspondientes a lo largo de esta especificación.

#### 55 Descripción detallada

Con respecto a los aparatos de estereolitografía analizados en esta descripción detallada, se deberá observar lo siguiente.

60 Un aparato de estereolitografía también puede denominarse impresora 3D estereolitográfica o aparato de fabricación aditiva estereolitográfica. Un aparato de estereolitografía puede ser una impresora 3D para la fabricación de objetos dentales. Puede ser una impresora 3D para crear férulas dentales, modelos, guías quirúrgicas, empastes temporales y modelos de ortodoncia con verdadera precisión y eficiencia. De forma adicional o alternativa, un aparato de estereolitografía puede ser una impresora 3D para la fabricación de cualquier objeto imprimible estereolitográficamente 65 en 3D que no sean objetos dentales.

Además, un aparato de estereolitografía puede comprender cualquiera de un controlador, un bloque de lector(es) y/o sensor(es), una interfaz de datos, una interfaz de usuario, un bloque de alimentación, una parte de base, una tapa, un mecanismo de tapa, una cuba, una plataforma de construcción, un mecanismo de plataforma de construcción, un mecanismo de suministro de resina, una parte calentadora de resina, un sistema de exposición y una parte enfriadora del sistema de exposición o cualquier otra parte y/o estructura necesaria y/o beneficiosa para el funcionamiento del aparato de estereolitografía. Sin embargo, muchos de los rasgos antes mencionados están fuera del alcance de esta descripción y, por lo tanto, se omiten en el presente documento.

La Figura 1 ilustra ejemplos de aparatos de estereolitografía 100. Sólo se muestran partes seleccionadas de los aparatos de estereolitografía 100. Aunque no se muestra explícitamente en la Figura 1, la realización de la Figura 1b puede comprender en general cualquier rasgo y/o elemento de la realización de la Figura 1a, que se omiten en la Figura 1b.

Con referencia a la Figura 1a, se proporciona una cuba 102 para contener resina para su uso en el proceso de impresión estereolitográfica en 3D. Una plataforma de construcción 106 con una superficie de construcción 108 está soportada por encima de la cuba 102 de manera que la superficie de construcción 108 mira hacia la cuba 102. El fondo de la cuba 102 es o puede hacerse selectivamente transparente o translúcido para el tipo de radiación óptica utilizada para la fotopolimerización de la resina.

Se proporciona un mecanismo de plataforma de construcción que está configurado para mover la plataforma de construcción 106 en un rango de movimiento de trabajo entre posiciones extremas primera y segunda. De estas, la primera posición extrema es la proximal a la cuba 102, y la segunda posición extrema es la alejada de la cuba 102. En la primera posición extrema, la superficie de construcción 108 puede estar muy cerca de o en contacto con el fondo de la cuba 102. La primera capa del objeto a fabricar se fotopolimerizará sobre la superficie de construcción 108 cuando la plataforma de construcción 106 esté en o cerca de la primera posición extrema de modo que la distancia entre la superficie de construcción 108 y el fondo de la cuba 102 sea del orden del espesor de una capa en el proceso de impresión estereolitográfica en 3D.

En general, un mecanismo de plataforma de construcción puede comprender partes mecánicas y eléctricas que sirven para mover una plataforma de construcción entre sus posiciones extremas primera y segunda. Un mecanismo de plataforma de construcción también puede comprender estructuras de soporte que sirven para garantizar el correcto posicionamiento angular de la plataforma de construcción. En una implementación práctica, un soporte de una plataforma de construcción puede comprender diferentes rasgos técnicos avanzados, como juntas y/o mecanismos de ajuste fino para garantizar que la orientación de una superficie de construcción es apropiada. Sin embargo, dichos rasgos están fuera del alcance de esta descripción y, por lo tanto, se omiten en el presente documento.

La posición mostrada en la Figura 1a puede ser la segunda posición extrema, o al menos ser más cercana a la segunda posición extrema que a la primera posición extrema. Puede decirse que existe una zona de trabajo del aparato de estereolitografía 100 entre la cuba 102 y la segunda posición extrema de la plataforma de construcción 106, porque el objeto a fabricar aparecerá dentro de esta zona. No es necesario que la plataforma de construcción 106 ascienda hasta la segunda posición extrema, ni siquiera cerca de ella, durante la fabricación de un objeto; la segunda posición extrema puede ser de máxima utilidad para hacer que sea más fácil separar un objeto fabricado completo de la plataforma de construcción 106.

El aparato de estereolitografía 100 de la Figura 1a comprende un sistema de exposición 110 que comprende un elemento radiante 120 adecuado para emitir radiación óptica. La radiación óptica es preferiblemente adecuada para provocar la fotopolimerización selectiva de la resina durante un proceso de impresión estereolitográfica en 3D. El espectro de longitud de onda y la intensidad de la radiación óptica se pueden seleccionar en base al tipo de resina utilizada para el proceso de impresión estereolitográfica en 3D.

Un "elemento radiante" puede referirse a un elemento que puede formar, por sí mismo, una fuente completa y operable de radiación óptica. Alternativamente, se puede utilizar un elemento radiante como un elemento de un conjunto radiante completo que comprenda también otros elementos, unidades y/o estructuras.

Un elemento radiante puede comprender cualquier tipo de fuente de radiación, por ejemplo, una fuente de radiación incandescente u otra fuente de radiación térmica, una fuente de radiación luminiscente y/o un arco eléctrico o una lámpara de descarga de gas. En una realización preferida, un elemento radiante comprende una fuente de diodo emisor de luz (LED). Dicha fuente LED puede comprender un elemento LED o una pluralidad de elementos LED, por ejemplo, una matriz de elementos LED.

Dicha fuente de radiación puede ser sustancialmente lambertiana, es decir, la fuente de radiación puede obedecer la ley del coseno de Lambert. De forma adicional o alternativa, la fuente de radiación puede tener un patrón de radiación que se asemeje al patrón de radiación de una fuente lambertiana, con un ángulo de anchura completa a la mitad del valor máximo (FWHM) en un rango de 110° a 130°, por ejemplo, aproximadamente 120°. En una realización preferida,

un elemento radiante comprende una fuente LED con una matriz de elementos LED, que tienen un ángulo FWHM de aproximadamente 120°.

En la realización de la Figura 1a, el sistema de exposición 110 también comprende un elemento de enmascaramiento 130, que tiene un área de enmascaramiento 132 sustancialmente rectangular, para conformar un patrón de exposición enmascarando parcialmente la radiación óptica procedente del elemento radiante 120.

Un "área de enmascaramiento" puede referirse a una parte de una superficie de un elemento de enmascaramiento configurada para recibir y/o ser iluminada por radiación óptica emitida por un elemento radiante. De forma adicional o alternativa, "área de enmascaramiento" puede referirse a una parte de una superficie de un elemento de enmascaramiento tal que el elemento de enmascaramiento tiene propiedades transmisivas y/o reflectantes espacial y/o temporalmente variables para la radiación óptica que será emitida por un elemento radiante y que incidirá sobre la parte de la superficie del elemento de enmascaramiento.

Un área de enmascaramiento puede ser parcial o totalmente definible en base a una distribución de intensidad espacial de radiación óptica que será emitida por un elemento radiante y que incidirá sobre el elemento de enmascaramiento. Por ejemplo, un área de enmascaramiento puede ser definible como partes de al menos una superficie de un elemento de enmascaramiento, donde la intensidad de la radiación óptica que será emitida por un elemento radiante está configurada para que sea al menos el 50 % de una intensidad máxima de radiación óptica que será emitida por el elemento radiante sobre la superficie del elemento de enmascaramiento.

Un "área de enmascaramiento sustancialmente rectangular" puede referirse a una proyección de un área de enmascaramiento que tiene una forma sustancialmente rectangular en al menos un plano. Un área de enmascaramiento sustancialmente rectangular puede ser preferiblemente sustancialmente plana. En esta especificación, el término "sustancialmente rectangular" se utiliza en un sentido amplio, comprendiendo, por ejemplo, rectángulos con esquinas redondeadas o biseladas.

"Conformar un patrón de exposición mediante enmascaramiento parcial" puede referirse a configurar un elemento de enmascaramiento de manera que la radiación óptica emitida por un elemento radiante pueda propagarse sobre el área de enmascaramiento y, desde el área de enmascaramiento, una parte de la radiación óptica pueda seguir propagándose hacia el interior de una zona de trabajo.

Un elemento de enmascaramiento puede comprender una lámina, placa o película con transmitancia y/o reflectancia que varían espacialmente para la radiación óptica emitida por un elemento radiante, formando al menos una parte de un área de enmascaramiento. La lámina, placa o película puede comprender un material de sustrato transparente o translúcido a la radiación óptica emitida por el elemento radiante, por ejemplo, vidrio, cuarzo, plástico y/o zafiro, y un material de enmascaramiento, por ejemplo, un metal y/o tinta, sobre el material de sustrato para enmascarar parcialmente la radiación óptica emitida por el elemento radiante.

En la realización de la Figura 1a, el elemento de enmascaramiento 130 comprende un elemento de cristal líquido transmisivo sustancialmente rectangular, actuando una superficie exterior del mismo como el área de enmascaramiento 132. En otras realizaciones, un elemento de enmascaramiento puede comprender tipos similares de elementos de enmascaramiento u otros tipos, por ejemplo, elementos de cristal líquido reflectantes o dispositivos de microespejos digitales. En realizaciones que comprendan elementos de cristal líquido, se puede utilizar cualquier tecnología de dispositivo de cristal líquido adecuada conocida en la técnica.

Un elemento de cristal líquido transmisivo puede comprender, por ejemplo: un primer filtro polarizador para polarizar radiación óptica, que es emitida por un elemento radiante e incide sobre un área de enmascaramiento, a lo largo de una primera dirección; un primer sustrato transparente para la radiación óptica emitida por el elemento radiante; una primera pluralidad de electrodos transparentes dispuestos sobre el primer sustrato, definiendo sus formas al menos parcialmente patrones de exposición producibles en una zona de trabajo; una capa de cristal líquido nemático retorcido; una segunda pluralidad de electrodos transparentes, definiendo sus formas al menos parcialmente los patrones de exposición producibles en la zona de trabajo; un segundo sustrato transparente para la radiación óptica emitida por el elemento radiante, donde la segunda pluralidad de electrodos transparentes puede estar dispuesta sobre el segundo sustrato; y un segundo filtro polarizador con su eje de polarización orientado en perpendicular a la primera dirección.

En las realizaciones de la Figura 1, el sistema de exposición 110 también comprende una trayectoria óptica 140 entre el elemento radiante 120 y el área de enmascaramiento 132.

Como se sabe comúnmente en la técnica, una "trayectoria óptica" puede referirse a una trayectoria que sigue la radiación óptica mientras se propaga a través de un medio o sistema óptico. En consecuencia, una "trayectoria óptica entre un elemento radiante y un área de enmascaramiento" puede referirse a partes de un sistema de exposición que están dispuestas de tal manera que al menos parte de la radiación óptica de un elemento radiante puede incidir sobre un área de enmascaramiento. Generalmente, un sistema de exposición puede comprender una pluralidad de

trayectorias ópticas entre un elemento radiante y un área de enmascaramiento. Un sistema de exposición también puede comprender una pluralidad de trayectorias ópticas entre cualquiera de una pluralidad de elementos radiantes y cualquiera de una pluralidad de áreas de enmascaramiento.

5 Un sistema de exposición puede comprender componentes ópticos reflectantes, por ejemplo, espejos y/o divisores de haz; componentes ópticos refractivos, por ejemplo, prismas y/o lentes; componentes ópticos difractivos, por ejemplo, difusores, rejillas y/o lentes de Fresnel; y/o componentes de fibra óptica a lo largo de una trayectoria óptica. En algunas realizaciones, puede existir una trayectoria óptica incluso si hubiera que retirar dichos componentes del aparato de estereolitografía. En algunas realizaciones, la retirada de dichos componentes puede interrumpir una trayectoria  
10 óptica. En tal caso, dichos componentes pueden ser fundamentales para el funcionamiento del sistema de exposición. En algunas realizaciones, un sistema de exposición puede no comprender ninguno de dichos componentes a lo largo de una trayectoria óptica.

15 En las realizaciones de la Figura 1, la trayectoria óptica 140 se extiende desde un centro del elemento radiante 120 hasta un centro del área de enmascaramiento 132. En otras realizaciones, una trayectoria óptica puede extenderse desde cualquier punto de un elemento radiante hasta cualquier punto situado en un área de enmascaramiento.

20 En la realización de la Figura 1a, la trayectoria óptica 140 se extiende linealmente entre el elemento radiante 120 y el área de enmascaramiento 132. En el aparato de estereolitografía ilustrado parcialmente en la Figura 1b se utiliza otra configuración. En esa realización, la trayectoria óptica 140 se hace no lineal mediante un elemento reflectante que cambia la dirección de la luz que incide sobre él. En otras realizaciones, una trayectoria óptica puede ser no lineal o lineal. En este caso, el término "lineal" puede referirse a un objeto que está dispuesto en o se extiende a lo largo de una línea o segmento de línea recta o casi recta.

25 En las realizaciones de la Figura 1, la trayectoria óptica 140 comprende un segmento lineal 145.

Un "segmento lineal" de una trayectoria óptica puede referirse a una parte de la trayectoria óptica entre un elemento radiante y un área de enmascaramiento. Si una trayectoria óptica es no lineal, aún puede comprender una parte sustancialmente lineal. Un segmento lineal puede entonces comprender parcial o totalmente dicha parte lineal. Si una  
30 trayectoria óptica es lineal, el término "segmento lineal" puede referirse entonces a toda la trayectoria óptica o a una parte de la misma.

35 En la realización de la Figura 1a, la trayectoria óptica 140 corta perpendicularmente superficies del elemento radiante 120 y del área de enmascaramiento 132. En otras realizaciones, una trayectoria óptica puede cortar de forma perpendicular u oblicua una superficie de un elemento radiante. De forma adicional o alternativa, en algunas realizaciones, una trayectoria óptica puede cortar de forma perpendicular u oblicua un área de enmascaramiento.

40 Los aparatos de estereolitografía de la Figura 1 comprenden además un sistema unificador de intensidad 150 que puede estar de acuerdo con cualquiera de los sistemas unificadores de intensidad analizados a continuación con referencia a las Figuras 2 a 5.

45 En la realización de las Figuras 2 y 3, el sistema de exposición 110 comprende un sistema unificador de intensidad 150, que tiene una primera y una segunda superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$  dispuestas en lados opuestos de un segmento lineal 145 de la trayectoria óptica 140, y una tercera y una cuarta superficies reflectantes  $152_3$ ,  $152_4$  dispuestas en lados opuestos del segmento lineal 145.

50 Aquí, una "superficie" puede referirse a una parte finita de una generalización de un plano, que puede tener una curvatura distinta de cero, posiblemente dependiente de la posición, y que puede ser preferiblemente lisa. Además, una superficie puede estar conectada, es decir, ser no divisible en dos subsuperficies independientes, o preferiblemente estar conectada por una trayectoria. Algunas superficies pueden estar simplemente conectadas.

Una "superficie reflectante" puede referirse a una superficie que está configurada para poder reflejar especularmente al menos una parte, preferiblemente una parte importante, de la radiación óptica que será emitida por un elemento radiante y que incidirá sobre la superficie. Por ejemplo, una superficie reflectante puede estar configurada para reflejar  
55 especularmente al menos el 50 %, preferiblemente al menos el 70 %, por ejemplo, al menos el 90 % de la potencia óptica que incide sobre la superficie reflectante en un rango de longitud de onda relevante y formando un cierto ángulo. Una superficie reflectante puede reflejar además parte de la radiación óptica, emitida por un elemento radiante y que incide sobre dicha superficie, de manera difusa.

60 Una superficie reflectante puede reflejar la radiación óptica emitida por un elemento radiante y que incide sobre dicha superficie debido a que una composición del material de dicha superficie comprende un material reflectante, por ejemplo, un metal (como por ejemplo aluminio, plata o hierro) o por reflexión interna total.

65 Una superficie reflectante puede comprender generalmente un metal, por ejemplo, aluminio, hierro y/o plata. Una superficie reflectante puede fabricarse al menos parcialmente mecanizando y/o doblando un material reflectante o

refractivo. Al menos una de las superficies reflectantes, preferiblemente cada una de ellas, puede fabricarse al menos parcialmente evaporando o pulverizando un material reflectante, por ejemplo, un metal (como por ejemplo aluminio o plata). Una superficie reflectante puede corresponder a una superficie exterior de un metal recubierto por un recubrimiento orgánico y/o inorgánico para prevenir o ralentizar la corrosión y/o abrasión del metal.

Que dos superficies reflectantes estén dispuestas en "lados opuestos de un segmento lineal de una trayectoria óptica" puede referirse a que ninguna de las dos superficies reflectantes corta a un plano que se extiende sobre el segmento lineal.

En la realización de las Figuras 2 y 3, las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> están configuradas para recoger radiación óptica procedente de un elemento radiante, que se propaga oblicuamente con respecto al segmento lineal 145 de la trayectoria óptica 140, sobre un área de enmascaramiento.

La recogida de radiación óptica procedente de un elemento radiante, que se propaga oblicuamente con respecto a un segmento lineal de una trayectoria óptica, sobre un área de enmascaramiento puede proporcionar una distribución de intensidad óptica uniforme en todo el área de enmascaramiento, sin inducir pérdidas ópticas importantes y/o sin producir como resultado un calentamiento excesivo del elemento de enmascaramiento y/o de una resina. Esta provisión de una distribución uniforme de intensidad óptica se puede lograr recogiendo la radiación óptica dirigida preferentemente a partes periféricas de un área de enmascaramiento. De forma adicional o alternativa, la provisión de un sistema unificador de intensidad puede permitir disponer un área de enmascaramiento a una cierta distancia de un elemento radiante sin inducir pérdidas ópticas excesivas.

Una superficie reflectante puede ser contigua a otra superficie reflectante. Por ejemplo, en la realización de las Figuras 2 y 3, la primera superficie reflectante 152<sub>1</sub> es contigua a la cuarta superficie reflectante 152<sub>4</sub>, y la cuarta superficie reflectante 152<sub>4</sub> es contigua tanto a la primera como a la segunda superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>.

Además, una superficie reflectante puede estar separada de otras superficies reflectantes. Por ejemplo, la tercera superficie reflectante 152<sub>3</sub> de la realización de las Figuras 2 y 3 está separada de cada una de las superficies reflectantes primera, segunda y cuarta 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>4</sub>, sin compartir fronteras comunes con ninguna de dichas superficies reflectantes.

Una superficie reflectante puede comprender orificios pasantes. En la realización de las Figuras 2 y 3, las superficies reflectantes segunda, tercera y cuarta 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> comprenden orificios pasantes. En algunas realizaciones, una superficie reflectante puede no tener orificios pasantes. Por ejemplo, la primera superficie reflectante 152<sub>1</sub> de la realización de las Figuras 2 y 3 no tiene orificios pasantes.

En la realización de las Figuras 2 y 3, para cada una de las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>, una distancia 154, medible perpendicularmente desde el segmento lineal 145, es no decreciente con el aumento de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica 140 con respecto a un elemento radiante. Además, en una sección transversal del sistema unificador de intensidad 150 a lo largo de cualquier plano que corta perpendicularmente el segmento lineal 145, las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> siguen un límite 156 de un rectángulo.

En una realización, para cada superficie reflectante, una distancia, medible perpendicularmente desde un segmento lineal de una trayectoria óptica, es creciente con el aumento de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica con respecto a un elemento radiante.

En una realización preferida, se puede definir una primera dirección, que corta perpendicularmente un segmento lineal, y, en una sección transversal de un sistema unificador de intensidad a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente al segmento lineal, superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad siguen un límite de un rectángulo, que tiene un borde que se extiende paralelo a la primera dirección.

En una realización preferida, en una sección transversal de un sistema unificador de intensidad a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente un segmento lineal, las superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad siguen un límite de un rectángulo, teniendo el límite de un rectángulo dos planos de simetría perpendiculares entre sí con una intersección a lo largo del segmento lineal. Esto puede, por ejemplo, permitir dirigir la radiación óptica que se propaga sustancialmente a lo largo del segmento lineal hacia un punto predeterminado de un área de enmascaramiento sin inducir pérdidas ópticas indebidas debido a reflexiones innecesarias. Esto puede ser especialmente beneficioso en caso de que una intensidad radiante máxima de un elemento radiante coincida con una trayectoria óptica y/o la trayectoria óptica corte un centro del área de enmascaramiento.

En una sección transversal de un sistema unificador de intensidad a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente un segmento lineal, el que las superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad "siguen un límite de un rectángulo" puede referirse a que las secciones transversales forman al menos una parte de un límite de un rectángulo y a que no se alejan sustancialmente del límite del rectángulo; por ejemplo, que no se alejan del límite del rectángulo una distancia mayor que un décimo, preferiblemente un uno por ciento, de la longitud de un borde

del rectángulo.

En una sección transversal de un sistema unificador de intensidad a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente un segmento lineal, las superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad que siguen un límite de un rectángulo pueden reducir la cantidad de radiación óptica emitida por un elemento radiante que puentea un área de enmascaramiento sustancialmente rectangular sin inducir pérdidas ópticas excesivas.

Una "distancia, medible perpendicularmente desde un segmento lineal" puede referirse a una longitud de una trayectoria lineal mínima, que intercepta perpendicularmente el segmento lineal en un punto a lo largo de una trayectoria óptica y se extiende desde el segmento lineal hasta una superficie reflectante. Dado que, en una sección transversal de un sistema unificador de intensidad a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente un segmento lineal, las superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad siguen un límite de un rectángulo, una distancia desde el segmento lineal hasta cualquiera de las superficies reflectantes siempre puede ser medible perpendicularmente a dicha superficie reflectante.

Cuando no existe una trayectoria lineal que corta perpendicularmente un segmento lineal en un punto a lo largo de una trayectoria óptica y no existe una superficie reflectante particular, la distancia puede definirse como no medible en dicho punto para dicha superficie reflectante. Por ejemplo, la Figura 3c muestra una sección transversal del sistema unificador de intensidad 150 de la Figura 2 a lo largo del plano IIIc de la Figura 2. En la sección transversal, tres distancias 154 son medibles perpendicularmente desde el segmento lineal 145 hasta las superficies reflectantes primera, segunda y cuarta 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>4</sub>. En cambio, una distancia desde el segmento lineal 145 hasta la tercera superficie reflectante 152<sub>3</sub> no es medible en un punto de intersección del segmento lineal 145 y el plano IIIc debido a la existencia de un orificio pasante en la tercera superficie reflectante 152<sub>3</sub>.

Que una distancia sea "no decreciente con el aumento de la distancia a lo largo de una trayectoria óptica con respecto a un elemento radiante" puede referirse a que la distancia que no es medible, constante o creciente en cada punto entre dos puntos cualesquiera en un segmento lineal, y/o a que la distancia es una función no decreciente, y posiblemente al menos parcialmente discontinua y/o indefinida, de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica con respecto al elemento radiante.

Para cada superficie reflectante de un sistema unificador de intensidad, una distancia, medible perpendicularmente desde un segmento lineal, que es no decreciente con el aumento de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica con respecto a un elemento radiante, puede permitir recoger la radiación óptica emitida por el elemento radiante, que se propaga oblicuamente con respecto a un segmento lineal, sobre un elemento de enmascaramiento para unificar una distribución de intensidad de radiación óptica procedente del elemento radiante sobre el elemento de enmascaramiento.

La Figura 4 ilustra dos sistemas unificadores de intensidad 150 diferentes de aparatos de estereolitografía. En el sistema unificador de intensidad 150 de la Figura 4a, cada una de las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> está dispuesta en una superficie límite interior de un cuerpo hueco. Las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> definen una cavidad que atraviesa el cuerpo hueco. En general, en una superficie límite interior de un cuerpo hueco puede estar dispuesta al menos una superficie reflectante, preferentemente cada una de ellas. Disponer superficies reflectantes en superficies límite interiores de un cuerpo hueco puede permitir la provisión de un sistema unificador de intensidad con una masa pequeña, alta transparencia y/o baja conductividad térmica.

Por otro lado, en el sistema unificador de intensidad 150 de la Figura 4b, cada una de las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> está dispuesta en una superficie límite exterior de un cuerpo sólido. En algunas realizaciones, al menos una superficie reflectante puede estar dispuesta en una superficie límite exterior de un cuerpo sólido. En estas realizaciones, el cuerpo sólido puede comprender generalmente cualquier número de orificios, orificios pasantes y/o cavidades. Disponer superficies reflectantes en superficies límite exteriores de un cuerpo sólido puede permitir la provisión de un sistema unificador de intensidad mecánicamente robusto.

Un sistema de exposición puede fabricarse al menos parcialmente mediante moldeo por inyección. Por ejemplo, un sistema de exposición puede comprender un cuerpo hueco o sólido moldeado por inyección, en el que una superficie reflectante está dispuesta en una superficie límite interior o exterior del cuerpo hueco o sólido, respectivamente.

La Figura 5 ilustra dos vistas esquemáticas en sección transversal de un sistema de exposición 110 de un aparato de estereolitografía. En la Figura 5a, se representa un elemento radiante 120 cerca del sistema unificador de intensidad 150. Sin embargo, en la Figura 5b, el elemento radiante 120 se omite para mayor claridad.

En la Figura 5, un sistema de coordenadas cartesianas bidimensional con ejes x e y tiene su origen fijado en una extensión del segmento lineal 145 hacia el elemento radiante 120 a lo largo de la trayectoria óptica 140. El eje x está dirigido a lo largo del segmento lineal 145, y el eje y se extiende a lo largo de un plano, que se extiende a lo largo del segmento lineal 145 y corta perpendicularmente a la tercera o cuarta superficie reflectante 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>, y hacia la tercera superficie reflectante 152<sub>3</sub>.

En la realización de la Figura 5, las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> se extienden de forma continua sin orificios pasantes entre dos planos perpendiculares al eje x, estando los dos planos situados en  $x = h_0$  y  $x = h_0 + h$ . En otras realizaciones, superficies reflectantes diferentes pueden extenderse entre superficies diferentes y/o pueden extenderse de manera discontinua con orificios pasantes.

En la realización de la Figura 5, las superficies reflectantes primera y segunda 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub> son sustancialmente planas. En otras realizaciones, las superficies reflectantes primera y segunda pueden ser sustancialmente planas o no planas.

Que las superficies reflectantes primera y segunda sean sustancialmente planas puede, por ejemplo, permitir unificar distribuciones de intensidad lineales de radiación óptica emitida por un elemento radiante sobre un área de enmascaramiento de un elemento de enmascaramiento a lo largo de trayectorias lineales paralelas a un cierto borde del área de enmascaramiento, especialmente si una trayectoria óptica intercepta un centro del área de enmascaramiento perpendicularmente. De forma adicional o alternativa, esto puede facilitar la provisión de un sistema unificador de intensidad con estabilidad mecánica mejorada.

Además, en la realización de la Figura 5, cada una de las superficies reflectantes planas primera y segunda 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub> forma un ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño medido a lo largo de un plano, paralelo al segmento lineal 145 y perpendicular a las superficies reflectantes primera y segunda 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, con el segmento lineal 145.

Una superficie reflectante puede formar un ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño con un segmento lineal en un rango de 0° a menos de 90°, preferiblemente de 5° a 30°, por ejemplo, de 10° a 20°. En algunas realizaciones, el ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño puede tener un valor similar o idéntico para una primera y una segunda superficie reflectante. En otras realizaciones, el ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño puede tener valores diferentes para una primera y una segunda superficie reflectante.

En la realización de la Figura 5, una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al segmento lineal 145 y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>, tiene la forma de una parte de una sección cónica, por ejemplo, un círculo, una elipse, una parábola o una hipérbola. En otras realizaciones, las superficies reflectantes tercera y cuarta pueden tener una forma similar o cualquier otra forma adecuada.

Una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente a un segmento lineal y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta, que tiene la forma de una parte de una sección cónica, por ejemplo, un círculo, una elipse, una parábola o una hipérbola, puede, por ejemplo, permitir unificar distribuciones de intensidad lineales de radiación óptica emitida por un elemento radiante en un área de enmascaramiento de un elemento de enmascaramiento a lo largo de trayectorias lineales perpendiculares a un cierto borde del área de enmascaramiento, especialmente si una trayectoria óptica intercepta un centro del área de enmascaramiento perpendicularmente.

Las formas de las superficies reflectantes tercera y cuarta 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> de la realización de la Figura 5 pueden presentarse en forma paramétrica como

$$y(x) = \pm \sqrt{2Rx - (e + 1)x^2},$$

donde  $x = h_0 \dots h_0 + h$ , R es el radio de curvatura de la sección cónica en el origen y e es la constante cónica, también conocida como constante de Schwarzschild. Además, las distancias, medidas paralelas al eje y, entre las superficies reflectantes tercera y cuarta 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> en  $x = h_0$  y  $x = h_0 + h$  se designan como a y L, respectivamente.

La Figura 5a muestra una sección transversal del sistema de exposición 110 de la Figura 5 a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al eje x y que corta perpendicularmente al eje y en el origen. En  $x = h_0$  y  $x = h_0 + h$ , las distancias entre las superficies reflectantes primera y segunda 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub> a lo largo de una dirección paralela a los ejes x e y son a y W, respectivamente.

En la realización de la Figura 5, una sección transversal de las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> a lo largo de un plano que corta perpendicularmente al eje x en  $x = h_0$  es cuadrada. En otras realizaciones, dicha sección transversal puede tener forma cuadrada o cualquier otra forma rectangular. Además, una sección transversal de las superficies reflectantes 152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub> a lo largo de un plano que corta perpendicularmente al eje x en  $x = h_0 + h$  es no cuadrada. En otras realizaciones, dicha sección transversal puede tener forma cuadrada o cualquier otra forma rectangular.

Las distribuciones de intensidad lineales de radiación óptica emitida por un elemento radiante sobre un área de enmascaramiento de un elemento de enmascaramiento a lo largo de trayectorias lineales paralelas y perpendiculares a un cierto borde del área de enmascaramiento se pueden unificar simultáneamente proporcionando un sistema

unificador de intensidad con superficies reflectantes primera y segunda, así como superficies reflectantes tercera y cuarta con formas de sección transversal de partes de secciones cónicas, especialmente si una trayectoria óptica intercepta un centro del área de enmascaramiento perpendicularmente. El mismo efecto también se puede conseguir si todas las superficies reflectantes tienen formas de sección transversal de partes de secciones cónicas. Esta unificación simultánea de distribuciones de intensidad lineales a lo largo de dos direcciones perpendiculares se puede lograr con independencia de si las secciones transversales de las superficies reflectantes a lo largo de planos que cortan perpendicularmente el eje  $x$  en  $x = h_0$  y  $x = h_0 + h$  tienen formas similares o diferentes.

En una realización ejemplar, que puede ser básicamente de acuerdo con la de la Figura 5 y/o la Figura 1a, un sistema de exposición 110 comprende: un elemento radiante 120, que tiene una matriz  $10 \times 10$  de LED con un tamaño de matriz de aproximadamente  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  como fuente de radiación, para emitir radiación óptica en un rango de longitud de onda de  $405 \text{ nm} - 410 \text{ nm}$  con una potencia de salida óptica de  $30 \text{ W} - 35 \text{ W}$  y un ángulo FWHM de aproximadamente  $120^\circ$ ; un elemento de cristal líquido transmisivo como elemento de enmascaramiento 130, que tiene un área de enmascaramiento 132 rectangular con un tamaño de aproximadamente  $75 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ ; una trayectoria óptica 140 y un segmento lineal 145 con longitudes de aproximadamente  $100 \text{ mm}$  y aproximadamente  $100 \text{ mm}$ , respectivamente, cortando la trayectoria óptica 140 perpendicularmente un centro del elemento radiante 120 y un centro del área de enmascaramiento 132; y un sistema unificador de intensidad 150, que tiene superficies reflectantes primera y segunda  $152_1$ ,  $152_2$  dispuestas en lados opuestos del segmento lineal 145, y superficies reflectantes tercera y cuarta  $152_3$ ,  $152_4$  dispuestas en lados opuestos del segmento lineal 145.

Las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  están configuradas para recoger radiación óptica procedente del elemento radiante 120, que se propaga oblicuamente con respecto al segmento lineal 145, sobre el área de enmascaramiento 132. Para cada una de las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$ , una distancia, medible perpendicularmente desde el segmento lineal 145, es no decreciente con el aumento de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica 140 con respecto al elemento radiante 120.

En una sección transversal del sistema unificador de intensidad 150 a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente el segmento lineal 145, las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  siguen un límite de un rectángulo, teniendo el límite de un rectángulo dos planos de simetría perpendiculares entre sí con una intersección a lo largo del segmento lineal 145.

El sistema unificador de intensidad 150 comprende un cuerpo hueco moldeado por inyección, y cada una de las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  está dispuesta en una superficie límite interior del cuerpo hueco. Además, cada una de las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  se fabrica pulverizando una capa de aluminio sobre dicho cuerpo hueco.

En otras realizaciones, un aparato de estereolitografía puede comprender un sistema de exposición básicamente similar al sistema de exposición 110 de la realización ejemplar, con la excepción de que comprende un sistema unificador de intensidad, que tiene cada superficie reflectante dispuesta sobre una superficie límite exterior de un cuerpo sólido. En este caso, las dimensiones y/o la forma del sistema unificador de intensidad se pueden ajustar, si es necesario, para tener en cuenta cualquier efecto del índice de refracción del cuerpo sólido sobre las propiedades del sistema unificador de intensidad.

En el sistema de exposición 110 de la realización ejemplar, las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  se extienden de forma continua entre dos planos perpendiculares al segmento lineal 145, estando los dos planos situados en  $x = 9 \text{ mm}$  y  $x = 109 \text{ mm}$ . Las superficies reflectantes primera y segunda  $152_1$ ,  $152_2$  son sustancialmente planas, y cada una de las superficies reflectantes primera y segunda  $152_1$ ,  $152_2$  forma un ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño con el segmento lineal 145 de aproximadamente  $15^\circ$ .

Además, una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta  $152_3$ ,  $152_4$  a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al segmento lineal 145 y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta  $152_3$ ,  $152_4$ , tiene forma de parte de una sección cónica, presentable en forma paramétrica con un radio de curvatura  $R$  de la sección cónica en el origen en un rango de  $6 \text{ mm}$  a  $9 \text{ mm}$ , preferiblemente de aproximadamente  $7 \text{ mm}$ , y una constante cónica  $e$  en un rango de  $-1,30$  a  $-1,55$ , preferiblemente de aproximadamente  $-1,35$ .

En la realización ejemplar, las distancias entre las superficies reflectantes tercera y cuarta  $152_3$ ,  $152_4$  en  $x = 9 \text{ mm}$  y  $x = 109 \text{ mm}$  son aproximadamente  $25 \text{ mm}$  y  $150 \text{ mm}$ , respectivamente. Además, en  $x = 9 \text{ mm}$  y  $x = 109 \text{ mm}$ , las distancias entre las superficies reflectantes primera y segunda  $152_1$ ,  $152_2$  son aproximadamente  $25 \text{ mm}$  y  $76 \text{ mm}$ , respectivamente. Específicamente, una sección transversal de las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  a lo largo de un plano que corta perpendicularmente el eje  $x$  en  $x = 9 \text{ mm}$  es cuadrada, y una sección transversal de las superficies reflectantes  $152_1$ ,  $152_2$ ,  $152_3$ ,  $152_4$  a lo largo de un plano que corta perpendicularmente el eje  $x$  en  $x = 109 \text{ mm}$  es no cuadrada.

Con el sistema de exposición 110 de la realización anterior, se puede lograr una distribución de intensidad uniforme de radiación óptica emitida por la matriz de LED y que incide sobre el elemento de cristal líquido transmisivo. Más

específicamente, se puede lograr una variación de intensidad de  $\pm 3\%$  con respecto a una intensidad promedio. Además, dado que la distribución de intensidad uniforme producida por el sistema unificador de intensidad es rectangular y tiene un tamaño correspondiente al tamaño del elemento de cristal líquido transmissivo, se puede reducir la cantidad de luz parásita dentro del sistema de exposición y se puede mejorar la eficiencia energética de los aparatos de estereolitografía.

Es obvio para un experto en la técnica que, con el avance de la tecnología, la idea básica de la invención se puede implementar de diversas maneras. Por lo tanto, la invención y sus realizaciones no están limitadas a los ejemplos descritos anteriormente, sino que pueden variar dentro del alcance de las reivindicaciones.

#### SIGNOS DE REFERENCIA

- 100 aparato de estereolitografía
- 102 cuba
- 104 resina
- 106 plataforma de construcción
- 108 superficie de construcción
- 110 sistema de exposición
- 120 elemento radiante
- 130 elemento de enmascaramiento
- 132 área de enmascaramiento
- 134 borde principal
- 136 distribución de intensidad lineal
- 140 trayectoria óptica
- 145 segmento lineal
- 150 sistema unificador de intensidad
- 152 superficie reflectante
- 154 distancia
- 156 límite

# REIVINDICACIONES

1. Un aparato de estereolitografía (100), que tiene un sistema de exposición (110) que comprende:

- 5       - un elemento radiante (120), para emitir radiación óptica,
- un elemento de enmascaramiento (130), que tiene un área de enmascaramiento (132) sustancialmente rectangular, para conformar un patrón de exposición enmascarando parcialmente la radiación óptica procedente del elemento radiante (120),
- 10      - una trayectoria óptica (140) entre el elemento radiante (120) y el área de enmascaramiento (132), teniendo la trayectoria óptica (140) un segmento lineal (145), y
- un sistema unificador de intensidad (150), que tiene superficies reflectantes, teniendo las superficies reflectantes una tercera y una cuarta superficies reflectantes (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>); donde las superficies reflectantes tercera y cuarta (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) están dispuestas en lados opuestos del segmento lineal (145);
- 15      las superficies reflectantes (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) están configuradas para recoger radiación óptica procedente del elemento radiante (120), que se propaga oblicuamente con respecto al segmento lineal (145), sobre el área de enmascaramiento (132);
- para cada una de las superficies reflectantes (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>), una distancia (154), medible perpendicularmente desde el segmento lineal (145), es no decreciente con el aumento de la distancia a lo largo de la trayectoria óptica (140) con respecto al elemento radiante (120);
- 20      una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al segmento lineal (145) y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>), tiene la forma de una parte de una sección cónica, por ejemplo, un círculo, una elipse, una parábola o una hipérbola;
- 25      **caracterizado por que** las superficies reflectantes del sistema unificador de intensidad (150) tienen una primera y una segunda superficie reflectante (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>);
- las superficies reflectantes primera y segunda (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>) están dispuestas en lados opuestos del segmento lineal (145);
- las superficies reflectantes primera y segunda (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>) son sustancialmente planas; y
- 30      en una sección transversal del sistema unificador de intensidad (150) a lo largo de cualquier plano, que corta perpendicularmente el segmento lineal (145), las superficies reflectantes (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) siguen un límite (156) de un rectángulo.

35      2. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento radiante (120) comprende una fuente de radiación, como por ejemplo una fuente de radiación sustancialmente lambertiana, que tiene un patrón de radiación con un ángulo de anchura completa a la mitad del valor máximo (FWHM) en un rango de 110° a 130°, por ejemplo, de aproximadamente 120°.

40      3. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de enmascaramiento (130) comprende un elemento de cristal líquido.

      4. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el elemento de cristal líquido es un elemento de cristal líquido transmisivo.

45      5. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la trayectoria óptica (140) es sustancialmente lineal.

50      6. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la trayectoria óptica (140) corta perpendicularmente el centro del área de enmascaramiento (132).

      7. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cualquiera de las superficies reflectantes (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) comprende un metal, por ejemplo, aluminio, hierro y/o plata.

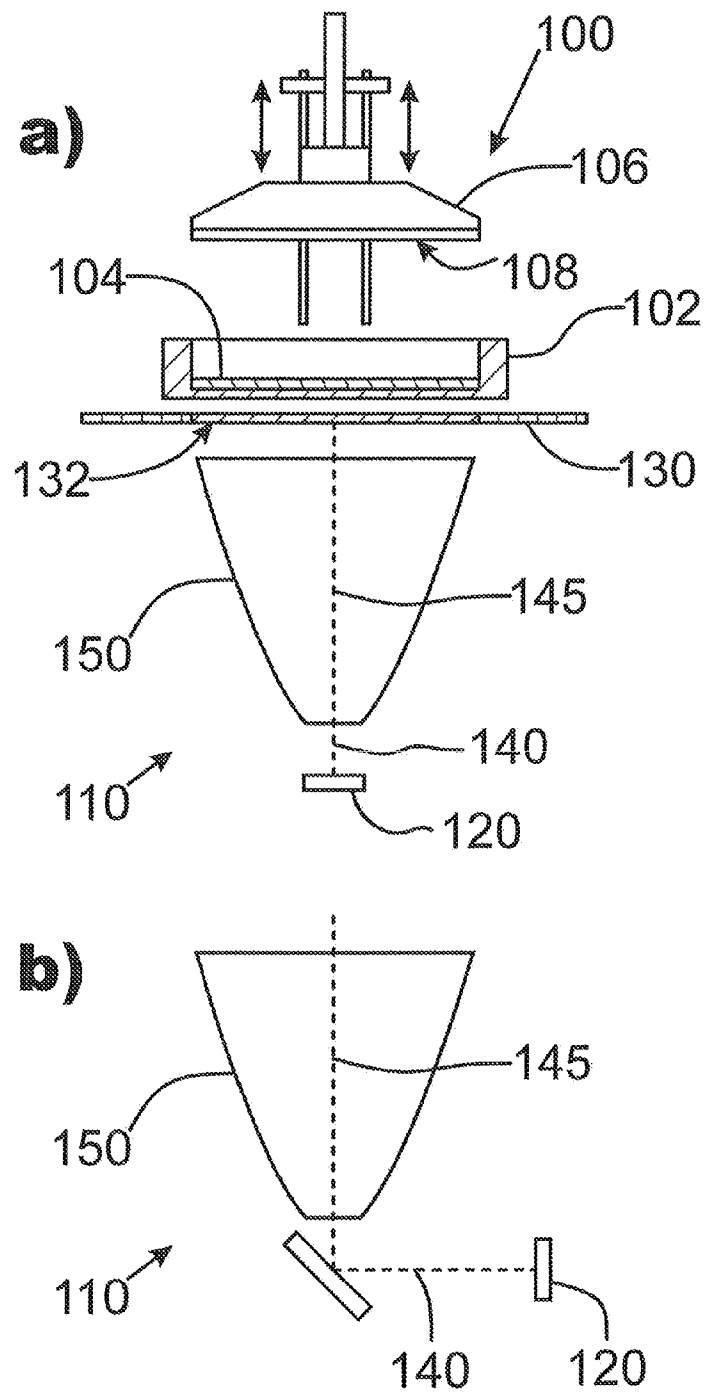
55      8. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el límite (156) de un rectángulo tiene dos planos de simetría perpendiculares entre sí con una intersección a lo largo del segmento lineal (145).

60      9. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de las superficies reflectantes (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) está dispuesta en una superficie límite interior de un cuerpo hueco.

65      10. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que cada una de las superficies reflectantes (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) está dispuesta en una superficie límite exterior de un cuerpo sólido.

11. Un aparato de estereolitografía (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 5 el elemento radiante (120) comprende una fuente de radiación cuadrada con un tamaño de aproximadamente 25 mm x 25 mm, que tiene un patrón de radiación con un ángulo de anchura completa a la mitad del valor máximo (FWHM) de aproximadamente 120°;
- el elemento de enmascaramiento (130) comprende un elemento de cristal líquido transmisivo, que tiene un área de enmascaramiento (132) rectangular con un tamaño de aproximadamente 75 mm x 150 mm;
- 10 la trayectoria óptica (140) es sustancialmente lineal, tiene una longitud de aproximadamente 100 mm y corta perpendicularmente un centro del elemento radiante (120) y el centro del área de enmascaramiento (132);
- las superficies reflectantes (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>, 152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) se extienden de forma continua entre dos planos perpendiculares al segmento lineal (145), estando los dos planos situados aproximadamente en  $x = 9$  mm y  $x = 109$  mm del elemento radiante (120);
- 15 las superficies reflectantes primera y segunda (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>) son sustancialmente planas y cada una de ellas forma un ángulo suplementario  $\alpha$  más pequeño con el segmento lineal (145) de aproximadamente 15°, y una distancia entre las superficies reflectantes primera y segunda (152<sub>1</sub>, 152<sub>2</sub>) en  $x = 9$  mm es aproximadamente 25 mm; y
- 20 una sección transversal de las superficies reflectantes tercera y cuarta (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>) a lo largo de un plano, que se extiende paralelamente al segmento lineal (145) y perpendicularmente a las superficies reflectantes tercera y cuarta (152<sub>3</sub>, 152<sub>4</sub>), tiene forma de parte de una sección cónica, presentable en forma paramétrica con un radio de curvatura R de la sección cónica en  $x = 0$  en un rango de 6 mm a 9 mm, preferiblemente de aproximadamente 7 mm, y una constante cónica e en un rango de -1,30 a -1,55, preferiblemente de aproximadamente -1,35.



**FIG. 1**

