

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 097**

51 Int. Cl.:

B33Y 10/00	(2015.01) B22F 10/28	(2011.01)
B33Y 50/02	(2015.01) B22F 10/366	(2011.01)
B29C 64/393	(2007.01) B22F 12/44	(2011.01)
B29C 64/268	(2007.01) B22F 12/49	(2011.01)
B29C 64/264	(2007.01)	
B29C 64/153	(2007.01)	
G02B 26/00	(2006.01)	
B33Y 40/00	(2010.01)	
B33Y 30/00	(2015.01)	
G02B 26/10	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2016** **E 19202231 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2024** **EP 3628488**

54 Título: **Aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser**

30 Prioridad:
30.03.2015 GB 201505458

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2024

73 Titular/es:
RENISHAW PLC (100.0%)
New Mills
Wotton-under-Edge, Gloucestershire GL12 8JR,
GB

72 Inventor/es:
BROWN, CERI;
JONES, NICHOLAS;
EWING, DAVID GARRY JAMES y
MC FARLAND, GEOFFREY

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 988 097 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 fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser

5 Campo de la Invención

Esta invención se refiere a un escáner y a un método para dirigir un haz de láser en un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser (SLM, por sus siglas en inglés) y sinterización selectiva por láser (SLS, por sus siglas en inglés), en donde capas de polvo se solidifican capa por capa para formar un objeto.

10

Antecedentes

Los aparatos de fusión selectiva por láser (SLM) y sinterización selectiva por láser (SLS) producen objetos a través de la solidificación capa por capa de un material como, por ejemplo, un material de polvo metálico, mediante el uso de un haz de alta energía como, por ejemplo, un haz de láser. Se forma una capa de polvo a lo largo de un lecho de polvo en una cámara de construcción depositando una pila de polvo adyacente al lecho de polvo y extendiendo la pila de polvo con un limpiador a lo largo (de un lado a otro lado) del lecho de polvo para formar la capa. A continuación, se escanea un haz de láser a lo largo de las áreas de la capa de polvo que corresponden a una sección transversal del objeto que se está construyendo. El haz de láser funde o sinteriza el polvo para formar una capa solidificada. Después de la solidificación selectiva de una capa, el lecho de polvo se reduce en un espesor de la capa recientemente solidificada y se extiende una capa adicional de polvo sobre la superficie y se solidifica, según sea necesario. Un ejemplo de tal dispositivo se describe en el documento US6042774. Las capas pueden formarse a través del movimiento de rotación de un limpiador con respecto a la plataforma de construcción, como se describe en el documento US8172562.

15

20

25

La estrategia usada para escanear un haz de láser puede afectar a las cargas térmicas generadas durante la construcción y precisión de una línea solidificada resultante de material. Las cargas térmicas excesivas, no restringidas, creadas durante la construcción provocan alabeo y/o rizado de la parte que se está construyendo.

30

Típicamente, el haz de láser se escanea a lo largo del polvo a lo largo de una trayectoria de escaneo. Una disposición de las trayectorias de escaneo se definirá mediante una estrategia de escaneo.

35

El documento US5155324 describe una estrategia de escaneo que comprende escanear un contorno (borde) de una sección transversal de la parte seguido de un escaneo de un interior (núcleo) de la sección transversal de la parte. El escaneo de un borde de la parte puede mejorar la resolución, definición y suavizado de superficies de la parte.

40

Los documentos US5155324 y US2008/0241392 A1 describen el escaneo de un área en múltiples trayectorias de escaneo paralelas (sombreados). (Denominado en la presente memoria "escaneo de meandro"). La dirección de las trayectorias de escaneo se hace girar entre capas para homogeneizar las tensiones generadas durante la construcción. El documento US2008/0241392 A1 extiende este concepto al escaneo en una serie de franjas paralelas, en donde cada franja consiste en múltiples trayectorias de escaneo paralelas (sombreados) que discurren perpendiculares a una dirección longitudinal de la franja. (Denominado en la presente memoria "escaneo de franjas"). El documento US2008/0241392 A1 también describe las franjas que cubren regiones parciales (comúnmente cuadrados) del área a solidificar, en donde los sombreados de regiones parciales adyacentes están a 90 grados entre sí. (Denominado en la presente memoria "escaneo de tablero de ajedrez").

45

50

El documento US2005/0142024 describe una estrategia de escaneo para reducir cargas térmicas que comprende irradiar sucesivamente áreas individuales de una capa, que están a una distancia entre sí que es mayor que o al menos igual a un diámetro medio de las áreas individuales. Cada área individual se irradia en una serie de trayectorias de escaneo paralelas (sombreados).

55

Es conocido el uso de un modo continuo de funcionamiento del láser, en donde el láser se mantiene encendido mientras los espejos se mueven para dirigir el punto de láser a lo largo de la trayectoria de escaneo, o un modo pulsado de funcionamiento del láser, en donde el láser se enciende y apaga cuando los espejos dirigen el punto de láser a diferentes ubicaciones a lo largo de la trayectoria de escaneo.

60

Un baño de fusión generado por el láser depende de las propiedades del material y del estado (polvo o solidificado) y de la temperatura del material que rodea el volumen que se está fundiendo. El modo de funcionamiento del láser puede afectar al estado y la temperatura del material vecino. Por ejemplo, el escaneo del punto de láser a lo largo de una trayectoria de escaneo en modo continuo forma un gran baño de fusión que se arrastra justo detrás del punto de láser, dando como resultado líneas de solidificación más grandes y menos detalladas. Para algunos materiales como, por ejemplo, aceros para herramientas y superaleaciones de calidad para aeronaves, puede ser difícil arrastrar el baño de fusión a lo largo de la capa en un modo continuo de funcionamiento del láser. Estos problemas pueden mitigarse usando el haz de láser en el modo de funcionamiento pulsado. En particular, establecer que el tiempo entre pulsos/distancia entre puntos de exposición sea lo suficientemente largo como para permitir que un baño de fusión

65

previamente formado se enfríe antes de formar un baño de fusión adyacente puede dar como resultado líneas de solidificación más precisas, lo cual puede ser particularmente beneficioso para escaneos de bordes.

El haz de láser se dirige típicamente sobre el lecho de polvo usando un par de espejos que pueden inclinarse en un ángulo requerido por galvanómetros. Un ejemplo de un escáner de este tipo se describe en el documento WO2010/026397. La respuesta dinámica limitada de los galvanómetros puede dar como resultado una divergencia significativa del haz de láser de los patrones deseados (como se describió más arriba). En particular, se ha encontrado que, en la transición entre líneas de sombreado, los espejos dirigen el haz de láser en una trayectoria curva, visible en las partes que se fabrican, en lugar de proveer un cambio angular agudo en la dirección. Para escanear un láser en un modo pulsado, idealmente los espejos dirigen el haz de láser en un punto fijo sobre la superficie de trabajo cuando el láser está encendido, saltando al siguiente punto de exposición entre pulsos. Sin embargo, la respuesta dinámica de los galvanómetros es demasiado lenta con respecto a los tiempos de exposición de punto deseados y el tiempo entre exposiciones, de manera que los espejos aún se moverán durante una exposición. Esto da como resultado la creación de baños fundidos alargados que tienen características similares al escaneo continuo. Tales problemas pueden superarse aumentando el tiempo entre exposiciones para dar tiempo a los espejos para moverse y asentarse en la nueva posición, pero esto puede alargar significativamente el tiempo de construcción.

El documento "*Electro-optic and acousto-optic laser beam scanners*", de G.R. B. E. Römer, P. Bechtold, Physics Procedia 56 (2014), 29-39, describe combinar un escáner basado en espejo con un deflector óptico electro o acústico, que se basa en un cambio en el índice de refracción n del material para controlar la desviación de un haz de láser. Un problema con los deflectores ópticos electro y acústicos es que los deflectores absorben una proporción significativa de la luz que viaja a través de los mismos. Por consiguiente, tales deflectores son inadecuados para su uso con haces de láser de alta potencia debido al calentamiento resultante del deflector que se producirá. Tal calentamiento hará extremadamente difícil, si no imposible, controlar la temperatura de los cristales del deflector para que esté justo por encima de la temperatura de Curie, según se requiera.

El documento WO2009/108543 A2 describe un sistema de exposición que incluye una fuente de luz que emite un haz a lo largo de un eje óptico que es capaz de inducir una reacción multifotónica en una resina. El sistema de exposición comprende un módulo de control que recibe información de posición del haz del detector de detección de posición y la cámara digital, y controla un módulo de dirección del haz para volver a colocar el haz. En una realización, el módulo de dirección de haz incluye al menos un espejo accionado piezoeléctricamente.

El documento WO92/20505 describe el uso de escaneo de dos etapas, en donde los escáneres gruesos se limitan a alguna aceleración preestablecida, mientras que los escáneres rápidos de rango limitado "afilan" las esquinas. Un ejemplo de escáneres de ajuste fino son espejos de cristal piezoeléctrico que pueden montarse delante de o en el curso de los espejos de escaneo principales.

Compendio de la Invención

Según un primer aspecto de la invención, se provee un aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según la reivindicación 1.

De esta manera, el escáner puede desviar el haz de láser sobre un amplio rango de ángulos en la primera dimensión mientras logra cambios rápidos en la dirección inalcanzables utilizando el primer componente de dirección del haz solo. El escáner puede dirigir el haz de láser sobre un área de 2 dimensiones. El escáner tiene una respuesta dinámica aumentada tanto en la primera como en la segunda dimensiones. La capacidad dinámica del escáner puede permitir que el haz de láser sea escaneado a lo largo de trayectorias más cercanas a las estrategias de escaneo ideales como, por ejemplo, las descritas más arriba.

El controlador puede estar dispuesto para controlar el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales para acelerar/desacelerar el haz de láser en la primera dimensión usando la respuesta dinámica más rápida de los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales sincrónicamente con el movimiento del haz de láser en la primera dimensión usando el primer galvanómetro.

El controlador puede estar dispuesto para controlar el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales de manera que, sincrónicamente con el funcionamiento del primer galvanómetro, suministren un movimiento continuo en una dirección, los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales se operan para suministrar un movimiento oscilante de manera que el haz de láser se mueva a lo largo de una trayectoria en una serie de movimientos separados. El movimiento resultante puede ser el haz de láser que lleva a cabo una serie de movimientos, en donde el haz de láser se mantiene relativamente estacionario para exponer una región de la trayectoria al haz de láser (por ejemplo, cuando la acción del primer galvanómetro es mover el haz de láser en una dirección opuesta en la primera dimensión a la acción de los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales, con la posibilidad de que las acciones opuestas se cancelen para proveer un punto de energía estacionario) antes de que el haz de láser experimente un movimiento corto y agudo para "saltar" el haz de láser a otra región de la trayectoria (por ejemplo, cuando el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales actúan para mover el haz de láser en la misma dirección en la

primera dimensión). Tal control de los componentes de dirección del haz puede sincronizarse con un haz de láser pulsado de manera que durante el "salto" el haz de láser se apaga. Esto puede tener una aplicación particular en la fabricación aditiva, en donde "saltar" el punto de energía a lo largo del lecho de polvo para exponer una serie de puntos puede producir un detalle más fino debido a una reducción o eliminación de la formación de bolas causado por el arrastre del haz de láser a lo largo de la superficie.

El controlador puede estar dispuesto para controlar el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal de manera que, sincrónicamente con el funcionamiento del primer galvanómetro para cambiar una dirección del haz de láser en la primera dimensión, los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal se operan para proveer un cambio más marcado en la dirección del haz de láser en la primera dimensión. En particular, la respuesta dinámica más lenta del primer galvanómetro puede dar como resultado una distancia de detención y aceleración más larga en la primera dimensión que la deseada. El controlador puede estar dispuesto para controlar los accionadores piezoeléctricos, de bobina de voz o de tensión normal para compensar la divergencia de una trayectoria de escaneo deseada que ocurrirá si se hiciese un intento de escaneo a lo largo de la trayectoria deseada solamente usando el primer galvanómetro.

Mediante la reflexión del haz de láser se puede evitar una absorción significativa del haz de láser en el componente óptico. El componente óptico puede estar dispuesto para absorber menos del 1 % del flujo radiante del haz de láser. El componente óptico es un espejo. Tal reflector puede ser adecuado para su uso con haces de láser de alta potencia como, por ejemplo, haces de láser de más de 50 W, y preferiblemente más de 100 W, usados en ciertos procesos de fabricación aditiva.

Los accionadores piezoeléctricos proveen típicamente una respuesta dinámica rápida pero un intervalo de movimiento más pequeño que un galvanómetro. El uno o más accionadores de tensión normal pueden ser uno o más accionadores de tensión normal linealizados en duro.

Los galvanómetros proveen típicamente una respuesta dinámica más lenta que los motores piezoeléctricos pero un mayor intervalo de movimiento.

Un método, que no se reivindica, de escaneo del haz de láser puede comprender el funcionamiento de un aparato según el primer aspecto de la invención para acelerar/desacelerar el haz de láser en la primera dimensión utilizando la respuesta dinámica más rápida de los accionadores piezoeléctricos, de bobina de voz o de tensión normal sincrónicamente con el movimiento del haz de láser en la primera dimensión utilizando el primer galvanómetro.

El método se usa para escanear el haz de láser a lo largo de capas en un proceso de fabricación aditiva capa por capa, en donde se forman capas sucesivas de polvo a lo largo de una plataforma de construcción y el haz de láser se escanea a lo largo de áreas seleccionadas de cada capa para consolidar el polvo en las áreas seleccionadas.

Un soporte de datos, que no se reivindica, puede tener instrucciones almacenadas en el mismo, que, cuando se ejecutan por un controlador de un escáner según el primer aspecto de la invención, hace que el controlador controle el primer galvanómetro y los accionadores piezoeléctricos, de bobina de voz o de tensión normal del escáner para llevar a cabo el método del tercer aspecto de la invención.

El soporte de datos puede ser un medio adecuado para proveer a una máquina instrucciones como, por ejemplo, un soporte de datos no transitorio, por ejemplo, un disquete, un CD ROM, un DVD ROM/RAM (que incluye -R/-RW y +R/+RW), un HD DVD, un disco Blu Ray(TM), una memoria (como, por ejemplo, un Memory Stick(TM), una tarjeta SD, una tarjeta flash compacta o similar), una unidad de disco (como, por ejemplo, una unidad de disco duro), una cinta, cualquier almacenamiento magneto/óptico o un soporte de datos transitorio como, por ejemplo, una señal en un cable o fibra óptica o una señal inalámbrica, por ejemplo, una señal enviada a través de una red cableada o inalámbrica (como, por ejemplo, una descarga de Internet, una transferencia FTP o similar).

Un método de fabricación de una parte mediante el uso de un proceso de fabricación aditiva capa por capa puede comprender depositar capas sucesivas de polvo a lo largo de una plataforma de construcción y operar un aparato según el primer aspecto de la invención para escanear un haz de láser a lo largo de áreas seleccionadas de cada capa para consolidar el polvo en las áreas seleccionadas, en donde el haz de láser se acelera/desacelera en la primera dimensión usando la respuesta dinámica más rápida de los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal sincrónicamente con el movimiento del haz de láser en la primera dimensión usando el primer galvanómetro.

Descripción de los dibujos

La Figura 1 es un esquema de un aparato de solidificación selectiva por láser;
la Figura 2 es un esquema del aparato de solidificación selectiva por láser desde otro lado;
la Figura 3 es un diagrama esquemático de un escáner según una realización de la invención;
la Figura 4a es un diagrama que ilustra la secuencia de escaneo de un haz de láser según una realización de la invención;

la Figura 4b muestra la trayectoria de escaneo de los espejos accionados por galvanómetro en comparación con una trayectoria seguida por el punto de láser resultante del movimiento adicional impartido al haz de láser por el espejo accionado piezoeléctrico;

la Figura 4c es un gráfico que muestra un desplazamiento típico del punto de láser sobre el lecho de polvo durante la secuencia de escaneo;

la Figura 5 muestra una estrategia de escaneo según una realización adicional de la invención;

la Figura 6a es una vista en perspectiva de un espejo orientable y un accionador asociado según una realización adicional de la invención;

la Figura 6b es una vista en sección transversal del espejo orientable y el accionador asociado que se muestran en la Figura 6a;

la Figura 7 es una vista en perspectiva de un espejo orientable y un accionador asociado según una realización adicional de la invención.

Descripción de las realizaciones

Con referencia a las Figuras 1 y 2, un aparato de solidificación por láser comprende una cámara 101 principal que tiene en su interior particiones 115, 116 que definen una cámara 117 de construcción y una superficie sobre la que se puede depositar polvo. Se provee una plataforma 102 de construcción para soportar un objeto 103 construido mediante polvo 104 de fusión por láser selectiva. La plataforma 102 puede bajarse dentro de la cámara 117 de construcción a medida que se forman capas sucesivas del objeto 103. Un volumen de construcción disponible se define por el grado en que la plataforma 102 de construcción puede bajarse a la cámara 117 de construcción.

Se forman capas de polvo 104 cuando el objeto 103 se construye mediante el aparato 108 dispensador y un limpiador 109 alargado. Por ejemplo, el aparato 108 de dispensación puede ser un aparato como se describe en el documento WO2010/007396.

Un módulo 105 láser genera un láser de 500 W para fundir el polvo 104, el láser dirigido según lo requiera un escáner, en esta realización un módulo 110 óptico, bajo el control de un ordenador 130. El láser entra en la cámara 101 a través de una ventana 107. El módulo 110 óptico comprende componentes 106 de dirección de haz para dirigir el haz de láser a la ubicación deseada en el lecho 104 de polvo y óptica de enfoque, en esta realización un par de lentes 111, 112 móviles, para ajustar una longitud focal del haz de láser. Los accionadores de los componentes 106 de dirección del haz y la óptica 111, 112 de enfoque se controlan mediante un controlador 139.

Con referencia a las Figuras 3a y 3b, según la invención reivindicada, los componentes 106 de dirección de haz comprenden dos espejos 106a, 106b móviles accionados por galvanómetros 121a, 121b y un tercer espejo 106c móvil accionado por accionadores 120a, 120b piezoeléctricos. El espejo 106a puede girar alrededor de un eje A perpendicular a un eje B alrededor del cual puede girar el espejo 106b, y el tercer espejo 106c móvil puede dirigirse alrededor de dos ejes perpendiculares C, D. Los espejos 106a, 106b y 106c están dispuestos de manera que el láser pasa a través de la óptica 111, 112 de enfoque al espejo 106c, que desvía el láser sobre el espejo 106a. El espejo 106a desvía el láser sobre el espejo 106b y el espejo 106b desvía el láser fuera del módulo óptico a través de una ventana o abertura al lecho 104 de polvo.

El accionador 120a piezoeléctrico es utilizable para rotar el espejo 106c unos pocos grados en una dirección alrededor del eje C y el accionador 120b piezoeléctrico es utilizable para rotar el espejo 106c unos pocos grados en una dirección alrededor de un eje D. Los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos proveen una respuesta dinámica (aceleración) más rápida que los galvanómetros 121a, 121b pero un rango de movimiento más pequeño. El espejo 106c puede usarse para desviar el haz de láser a través de un intervalo de ángulos en las mismas dimensiones que pueden lograrse con los espejos 106a y 106b. Típicamente, cada galvanómetro 121a, 121b será capaz de mover el espejo 106a, 106b asociado a través de un intervalo de ángulos alrededor del eje A, B de +/- 10 grados, aunque puede usarse un intervalo de ángulos de hasta +/- 20 grados. Los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos serán típicamente capaces de dirigir el espejo 106c a través de un rango de ángulos alrededor de los ejes C y D que es aproximadamente el 1 % del rango de espejos 106a, 106b.

La Figura 3b muestra el espejo 106c y los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos con más detalle. Cada accionador 120a, 120b piezoeléctrico comprende dos pares 122, 123; 124 125 de pilas 122a, 122b, 123a, 123b, 124a, 124b, 125a, 125b piezoeléctricas.

Cada pila 122a, 122b, 123a, 123b, 124a, 124b, 125a, 125b piezoeléctrica comprende una pila de elementos piezoeléctricos que están conectados entre sí para proveer, como una estructura combinada, un intervalo suficiente de movimiento del espejo 106c. Las pilas 122a, 122b, 123a, 123b, 124a, 124b, 125a, 125b piezoeléctricas pueden mantenerse en su lugar mediante sustratos de soporte (no se muestran), los sustratos de soporte aplicando una fuerza de compresión a las pilas 122a, 122b, 123a, 123b, 124a, 124b, 125a, 125b piezoeléctricas.

Las dos pilas 122a, 122b; 123a, 123b; 124a, 124b; 125a, 125b piezoeléctricas de cada par 122, 123, 124, 125 están ubicadas a cada lado del espejo 106c y alineadas para aplicar una fuerza a la misma sección del espejo 106c. Las pilas 122a, 122b; 123a, 123b; 124a, 124b; 125a, 125b de cada par 122, 123, 124, 125 funcionan en tándem, con una

de las pilas 122a, 123a, 124a, 125a piezoeléctricas operada para contraerse/extenderse cuando la otra 122b, 123b, 124b, 125b se opera para llevar a cabo el movimiento opuesto (extensión/contracción). De esta manera, las pilas 122a, 122b; 123a, 123b; 124a, 124b; 125a, 125b piezoeléctricas de cada par 122, 123, 124, 125 aplican una fuerza al espejo 106c en la misma dirección.

Los dos pares 122, 123; 124, 125 de pilas piezoeléctricas de cada accionador 120a; 120b están unidos, cada uno, a una periferia del espejo 106a en una ubicación espaciada del otro par 123, 122; 125, 124 a cada lado del eje correspondiente C, D. Los dos pares 122, 123; 124, 125 de pilas piezoeléctricas trabajan en tándem para aplicar una fuerza en direcciones opuestas (lineales) para provocar la rotación del espejo 106c alrededor del eje C, D.

Se conecta un circuito apropiado a las pilas 122a, 122b, 123a, 123b, 124a, 124b, 125a, 125b piezoeléctricas para aplicar voltajes apropiados a las pilas para controlar la extensión y contracción de las pilas.

Un láser de baja potencia puede generar un haz 126 de láser de monitorización dirigido hacia el espejo 106c y se provee un sensor 127 para detectar un ángulo en donde el haz 126 de láser se refleja desde el espejo 106c. La posición detectada del haz 126 de láser puede usarse como retroalimentación para determinar un ángulo del espejo 106c alrededor de los ejes C y D.

Los accionadores 120a, 120b, 121a y 121b son controlados por el controlador 139 del módulo 106 óptico, de la manera que se describe ahora con referencia a las Figuras 4a a 4c. Típicamente, el haz 118 de láser es escaneado a lo largo de un área que ha de ser solidificada en una serie de líneas de sombreado. Por ejemplo, el haz 118 de láser puede escanearse a lo largo de un área usando una estrategia de escaneo de franjas, tablero de ajedrez o meandros. Los espejos 106a y 106b se controlan para moverse suavemente de manera que los espejos 106a, 106b dirijan el haz 118 de láser a lo largo de una trayectoria 140 si el espejo 106c no proporcionase orientación adicional del haz 118 de láser. Se evitan los cambios rápidos en la velocidad y dirección de rotación de los espejos 106a a 106b. Los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos son controlados por el controlador 139 para añadir perturbaciones a la trayectoria 140 que dan como resultado que el haz 118 de láser "salte" entre los puntos 141 de exposición estáticos. En particular, los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos se controlan para mantener el punto de haz de láser sustancialmente estacionario durante un período establecido (tiempo de exposición) en un punto 141 en el lecho 104 de polvo que contrarresta el movimiento continuo de los espejos 106a, 106b. Al final del tiempo de exposición, los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos mueven el espejo 106c rápidamente para dirigir el haz 118 de láser al siguiente punto 141 a lo largo del sombreado. De esta manera, los espejos 106a y 106b proveen el movimiento a gran escala del haz 118 de láser a lo largo del lecho 104 de polvo y el espejo 106c oscila para impartir una perturbación a pequeña escala al movimiento a gran escala.

Al final de la trayectoria 140, al menos uno de los espejos 106a, 106b tendrá que experimentar un cambio de dirección para dirigir el haz 118 de láser a lo largo del siguiente sombreado. Debido a la respuesta dinámica relativamente baja de los galvanómetros 121a, 121b, puede no ser posible que la trayectoria 140 siga el cambio más repentino en la dirección requerida por los puntos 141 en los extremos de cada sombreado. Sin embargo, el controlador 139 puede controlar los accionadores 120a, 120b piezoeléctricos de manera que el espejo 106c compense el cambio lento en la dirección provista por los espejos 106a, 106b para mover el punto de haz de láser entre los puntos 141 en el extremo de los sombreados con el tiempo de exposición requerido. La compensación puede aplicarse aún incluso cuando se escanea en un modo de funcionamiento continuo (en lugar del modo de escaneo de puntos que se muestra en la Figura 4a) con el fin de que el haz 118 de láser escanease una trayectoria con un cambio de dirección más agudo que el que puede conseguirse con los espejos 106a, 106b solos.

La Figura 4b muestra un bucle 140a de la trayectoria 140 trazado por los galvanómetros cuando cambia la dirección entre las líneas de sombreado y una trayectoria 142, a lo largo de la cual se escanean los puntos (no se muestran). La longitud del bucle 140a y la longitud $2L_1$ se seleccionan de manera que el tiempo que tardan los galvanómetros en trazar la trayectoria 140a sea equivalente al tiempo que tardan los galvanómetros en trazar una trayectoria lineal de longitud $2L_1$. El haz de láser es típicamente "saltado" en un solo salto a lo largo de la longitud L_2 de manera tal que la longitud de esta sección puede ignorarse. Sin embargo, si L_2 se escanea de la misma manera que las longitudes L_1 , entonces la longitud del bucle 140a y $2L_1 + L_2$ se seleccionan de manera que el tiempo que tardan los galvanómetros en trazar la trayectoria 140a sea equivalente al tiempo que tardan los galvanómetros en trazar una trayectoria lineal de longitud $2L_1 + L_2$. A medida que al menos uno de los galvanómetros se ralentiza para cambiar de dirección a lo largo de la trayectoria 140a, la trayectoria 140a será más corta que la longitud $2L_1$. De esta manera, el tiempo de exposición de punto y el tiempo entre exposiciones de punto para el extremo de los sombreados se pueden mantener coherentes con lo mismo para el medio de los sombreados.

La Figura 4c muestra un gráfico del desplazamiento, D , con el tiempo, t . Para escanear una porción media de un sombreado, los espejos 106a y 106b se mueven de manera que el punto de láser se desplazará sobre el lecho 104 de polvo a una velocidad constante, como se muestra por la línea G , si el espejo 106c se mantuviera estático. El espejo 106c se mueve de tal manera que el punto de láser se desplazará sobre el lecho 104 de polvo según el perfil en diente de sierra, mostrado por la línea P , si los espejos 106a y 106b se mantuvieran estáticos. La línea L indica el desplazamiento real del punto de láser sobre el lecho 104 de polvo como resultado del movimiento sincrónico de los espejos 106a, 106b y 106c. El gradiente negativo del perfil en diente de sierra tiene la misma magnitud que el gradiente

positivo de la línea G. Por consiguiente, durante este período 142, las acciones de los espejos 106a, 106b y 106c sobre el movimiento del punto de láser en el lecho 104 de polvo se cancelan de manera que el punto de láser se mantiene estacionario para exponer un punto 141 al haz de láser. Cuando, durante el período 143, el movimiento del espejo 106c debe desplazar el haz de láser en la misma dirección que el movimiento de los espejos 106a, 106b, el punto de láser "salta" a la siguiente ubicación de punto en el lecho 104 de polvo. Durante el período 143, el láser/haz de láser puede apagarse de manera que el punto de láser no se escanee a lo largo del lecho de polvo. De esta manera, una serie de puntos 141 discretos se exponen al haz de láser.

Estos métodos de provisión de un cambio dinámico de dirección más rápido que el que puede lograrse usando los espejos 106a, 106b solos también pueden aplicarse a otros tipos de escaneo distintos de los sombreados como, por ejemplo, escaneos de borde.

El espejo 106c puede utilizarse también para compensar el tiempo de asentamiento de los galvanómetros. Por ejemplo, cuando hay un espacio entre las líneas de escaneo y/o las áreas a escanear, los galvanómetros pueden moverse rápidamente para redirigir el haz 118 de láser al inicio de la línea de escaneo posterior. Por ejemplo, esto puede ocurrir cuando se mueve de la última línea de sombreado en un cuadrado de un patrón de tablero de ajedrez o una franja a la primera línea de sombreado de un cuadrado o franja posterior o entre líneas de escaneo de borde. Otro ejemplo ocurre cuando se forma una estructura reticular fina que implica una serie de exposiciones únicas o líneas de escaneo muy pequeñas interpuestas con un espacio. En tales escenarios, los galvanómetros pueden "oscilar" en el punto de inicio de la línea de escaneo/en el punto de exposición después de que se operan los galvanómetros para atravesar el espacio. Es conocida la provisión de un tiempo de asentamiento para permitir que los espejos en un escáner se asienten en una posición deseada después de una desaceleración.

Con el escáner de la invención, el espejo 106c puede usarse para compensar el movimiento no deseado de los galvanómetros que puede ocurrir durante una desaceleración. De esta manera, el tiempo de asentamiento puede eliminarse o al menos reducirse. Esto puede ser particularmente ventajoso en el escaneo de geometrías que tienen muchos espacios, ya que la eliminación/reducción en el tiempo de asentamiento puede reducir significativamente la duración de la construcción. Los galvanómetros pueden comprender codificadores para proveer una medición del ángulo del galvanómetro. El espejo 106c piezoeléctrico puede ser controlado por el controlador 139 en respuesta a las lecturas del codificador para compensar el movimiento no deseado de los espejos 106a, 106b.

En lugar de exponer las áreas a solidificar como una serie de exposiciones 141 de puntos con un punto de láser estático, las áreas pueden exponerse a un punto de láser móvil que se mueve al menos en una dirección perpendicular a una dirección de línea de sombreado/escaneo usando la respuesta dinámica más rápida del espejo 106c. La región expuesta puede ser una línea o un punto más grande que el punto de láser. Un ejemplo de tal realización se muestra en la Figura 5. En esta realización, para cada región 241 de exposición de una línea de sombreado, el espejo 106c mueve el punto 245 de láser perpendicular a la línea de sombreado (como se indica mediante la flecha) para exponer una región 241 sustancialmente en forma de línea al punto 245 de láser. El punto 245 de láser salta entonces a la siguiente región 241 de exposición en el sombreado (de la manera descrita más arriba con referencia a las Figuras 4a a 4c) para exponer una región 241 en forma de línea adicional al punto 245 de láser, por ejemplo, escaneando el punto 245 de láser perpendicular a la dirección de sombreado en la dirección opuesta a la región 241 en forma de línea anterior. Tal estrategia de escaneo puede permitir que se utilicen láseres de mayor potencia, ya que la energía del punto de láser puede extenderse sobre un área mayor dentro de un período establecido que cuando se utilizan los galvanómetros solos para dirigir el punto de láser.

Las Figuras 6a y 6b muestran una disposición 200 de accionador de bobina de voz y espejo para proveer una capacidad de dirección con una respuesta dinámica más rápida que los galvanómetros. Tal disposición 200 puede usarse en lugar del accionador piezoeléctrico. La disposición 200 comprende una bobina de alambre 201 enrollada alrededor de un núcleo 202 de hierro. Un espejo 206 para dirigir el haz 118 de láser está montado en el núcleo 202 de hierro. Cuatro electroimanes 203a, 204a; 203b, 204b en forma de herradura (de los que solamente se muestran dos en la Figura 6a) están montados circunferencialmente alrededor del núcleo 202 de hierro situado centralmente. El espejo 206 se desvía a una posición central por un resorte 205 plano. El resorte 205 plano puede ser un resorte "Isle of Man", un ejemplo del cual se describe en el documento US6683780, que tiene tres patas que se extienden circunferencial y radialmente alrededor del espejo 206 circular.

Durante el uso, se hace pasar una corriente sustancialmente constante a través de la bobina 201 y el procesador 141 controla cada par de electroimanes 203a, 204a; 203b, 204b para aplicar un campo magnético a lo largo de la bobina de alambre 201 y el núcleo 202 de hierro para hacer que el núcleo de hierro pivote alrededor de los ejes C y D según sea necesario. El giro del núcleo 202 de hierro hace que el espejo 206 se incline contra la desviación del resorte 205 plano. La dirección del campo magnético aplicado generado por cada par de electroimanes 203a, 204a; 203b, 204b puede usarse para controlar la dirección en la que el núcleo de hierro pivota alrededor de los ejes C y D.

La disposición que se muestra en las Figuras 6a y 6b puede controlarse para llevar a cabo las estrategias de escaneo descritas con referencia a las Figuras 4a a 4c.

Una versión más grande del accionador mostrado en las Figuras 6a y 6b puede usarse como sustitución para los galvanómetros.

La Figura 7 muestra una disposición 300 de espejo adicional para proveer una capacidad de dirección con una respuesta dinámica más rápida que los galvanómetros. El movimiento del espejo 306 es controlado por un primer accionador 301 para hacer girar el espejo 306 alrededor de un eje y un segundo accionador (no se muestra) para hacer girar el espejo 306 alrededor de un eje perpendicular. Cada accionador 301 comprende un par de accionadores 302, 303 de tensión normal linealizados en duro que pueden desplazar linealmente las armaduras 304, 305 unidas a bordes opuestos del espejo 306. El desplazamiento de las armaduras 304, 305 en direcciones opuestas hace girar el espejo 306.

Cada accionador 303, 304 linealizado duro comprende un núcleo 307, 308 de estator hecho de material magnético blando, devanados 309a, 309b, 310a, 310b de bobina, imán 311, 312 permanente y la armadura 304, 305. La armadura 304, 305 puede moverse en una almohadilla 313, 314 como, por ejemplo, una almohadilla de caucho, para permitir el movimiento de cizallamiento de la armadura 304, 305 con respecto al imán 311, 312 permanente. La línea 315, 316 de puntos muestra el flujo de desviación generado por el imán permanente y la línea 317, 318 del flujo de CA controlable a través del control de la corriente que fluye a través de los devanados 309a, 309b, 310a, 310b de bobina.

La corriente que pasa a través de los devanados 309a, 309b, 310a, 310b de bobina puede ser

La corriente que pasa a través de los devanados 309a, 309b, 310a, 310b de bobina puede controlarse para generar flujo diferencial en cada lado de la armadura 304, 305 para producir una fuerza de accionamiento neta en la armadura 304, 305. La fuerza de accionamiento es proporcional a la corriente.

Los accionadores de esfuerzo normal tienen potencialmente una densidad de fuerza más alta y por tanto una aceleración más alta (respuesta dinámica) que los accionadores de esfuerzo de corte.

Una descripción más detallada de los accionadores de tensión normal linealizados dura ultrarrápidos se puede encontrar en la tesis "*Electromagnetically-Driven Ultra-Fast Tool Servos for Diamond Turning*", de Xiaodong Lu, Massachusetts Institute of Technology, septiembre de 2005.

Se entenderá que se pueden llevar a cabo alteraciones y modificaciones a las realizaciones descritas más arriba sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones anexas.

El espejo 106c, 203. 306 puede reflejar la longitud de onda del láser, pero transmitir otras longitudes de onda, por ejemplo, longitudes de onda que pueden usarse para monitorizar el proceso de construcción como se describe en la solicitud de patente internacional PCT/GB2014/052887.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser que comprende un escáner (110) para dirigir un haz (118) de láser sobre capas de polvo (104) para fundir o sinterizar selectivamente el polvo (104) para formar un objeto (103) de una manera capa a capa, comprendiendo el escáner (110) un primer espejo (106a, 106b) utilizable bajo el control de un primer galvanómetro (121a, 121b) para reflejar el haz (118) de láser sobre un primer intervalo de ángulos en una primera dimensión con el fin de escanear un área a solidificar, un segundo espejo (106a, 106b) utilizable bajo el control de un segundo galvanómetro para reflejar el haz (118) de láser sobre un tercer intervalo de ángulos en una segunda dimensión ortogonal a la primera dimensión, y un tercer espejo (106c, 206, 306) utilizable bajo el control de accionadores (120a, 120b, 301) de tensión normal, de bobina de voz o piezoeléctricos, un controlador dispuesto para controlar los galvanómetros (121a, 121b) primero y segundo y los accionadores (120a, 120b, 301) piezoeléctricos, de bobina móvil o de tensión normal, **caracterizado por que** el tercer espejo es rotativo alrededor de dos ejes perpendiculares bajo el control de los accionadores (120a, 120b, 301) piezoeléctricos de tensión de voz o normales para reflejar el haz (118) de láser sobre un segundo rango de ángulos en la primera dimensión y un cuarto rango de ángulos en la segunda dimensión para escanear un área a solidificar, en donde los accionadores (120a, 120b, 301) piezoeléctricos de tensión de voz o normales proveen una respuesta dinámica más rápida pero un rango de movimiento más pequeño del haz de láser que el primer galvanómetro y el segundo galvanómetro (121a, 121b).
2. Un aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según la reivindicación 1, en donde los galvanómetros primero y segundo comprenden codificadores para proveer una medición de un ángulo del galvanómetro (121a, 121b) y el controlador (139) está dispuesto para controlar el accionador (120a, 120b, 301) piezoeléctrico, de bobina de voz o de tensión normal en respuesta a lecturas del codificador.
3. Un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según la reivindicación 2, que comprende un láser de baja potencia para generar un haz (126) de láser de monitorización dirigido hacia el tercer espejo (106c) giratorio y un sensor (127) para detectar un ángulo en el que el haz (126) de láser de monitorización se refleja desde el tercer espejo (106c) giratorio.
4. Un aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el controlador está dispuesto para controlar los galvanómetros (121a, 121b) primero y segundo para proveer un movimiento a gran escala del haz (118) de láser a lo largo del lecho (104) de polvo y para oscilar los accionadores (120a, 120b, 301) de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal para impartir una perturbación a pequeña escala al movimiento a gran escala.
5. Un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el controlador está dispuesto para controlar el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales para acelerar/desacelerar el haz de láser en la primera dimensión usando la respuesta dinámica más rápida de los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales sincrónicamente con el movimiento del haz de láser en la primera dimensión usando el primer galvanómetro.
6. Un aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según la reivindicación 5, en donde el controlador está dispuesto para controlar el primer galvanómetro y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales de manera que, sincrónicamente con el funcionamiento del primer galvanómetro, para suministrar un movimiento continuo en una dirección, el accionador de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal se hace funcionar para suministrar un movimiento oscilante de manera que el haz de láser se mueva a lo largo de una trayectoria en una serie de movimientos separados.
7. Un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según la reivindicación 1 a 3, en donde el controlador está dispuesto para controlar el primer y segundo galvanómetros y los accionadores (121a, 121b, 120a, 120b, 301) de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales de manera que las áreas a solidificar se exponen a un punto de láser en movimiento que se mueve al menos en una dirección perpendicular a una dirección de línea de sombreado/escaneo usando la respuesta dinámica más rápida del espejo (106c, 206, 306) bajo el control de los accionadores (120a, 120b, 301) de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normales.
8. Un aparato de fabricación aditiva por fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el controlador está dispuesto para controlar los galvanómetros primero y segundo y los accionadores de tensión piezoeléctrica, de bobina de voz o normal, de tal manera que la acción del primer espejo giratorio mueve el haz de láser en una dirección opuesta en la primera dimensión a la acción del tercer espejo giratorio antes de que el primer espejo giratorio y el tercer espejo giratorio actúen para mover el haz de láser en la misma dirección en la primera dimensión.

9. Un aparato de fabricación aditiva de fusión selectiva por láser o sinterización selectiva por láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el escáner (110) es para dirigir un haz (118) de láser sobre capas de polvo (104) para fundir o sinterizar selectivamente polvo (104) metálico.

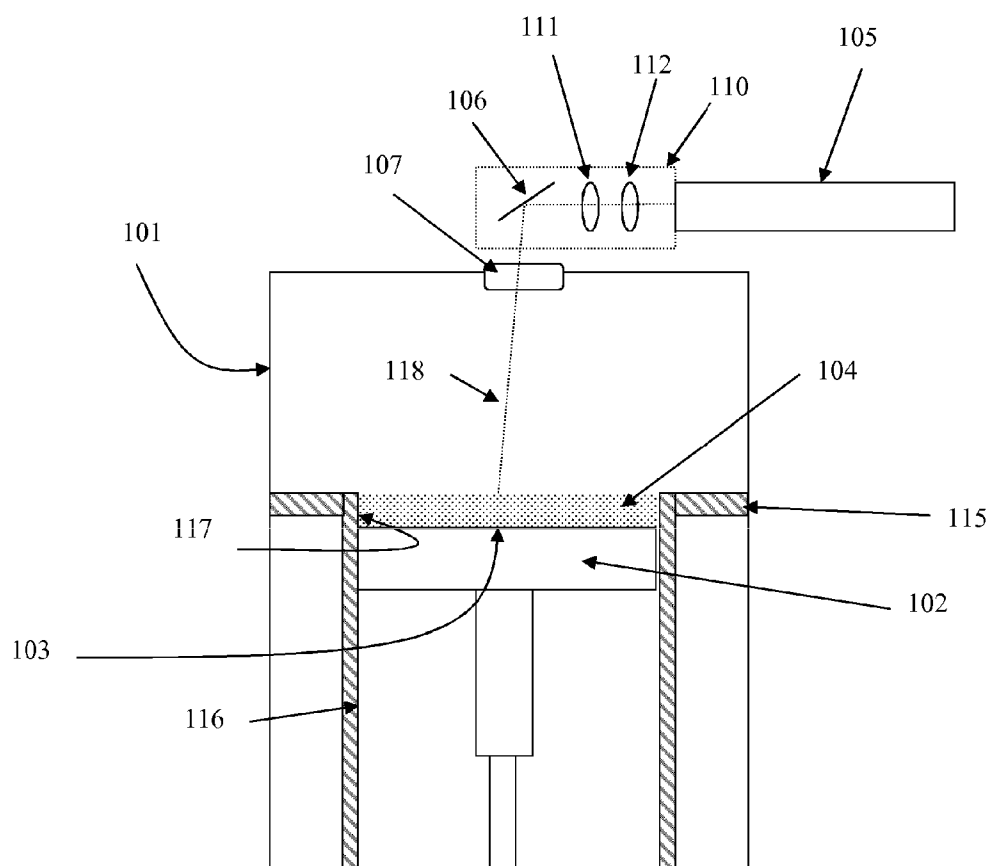


Fig. 1

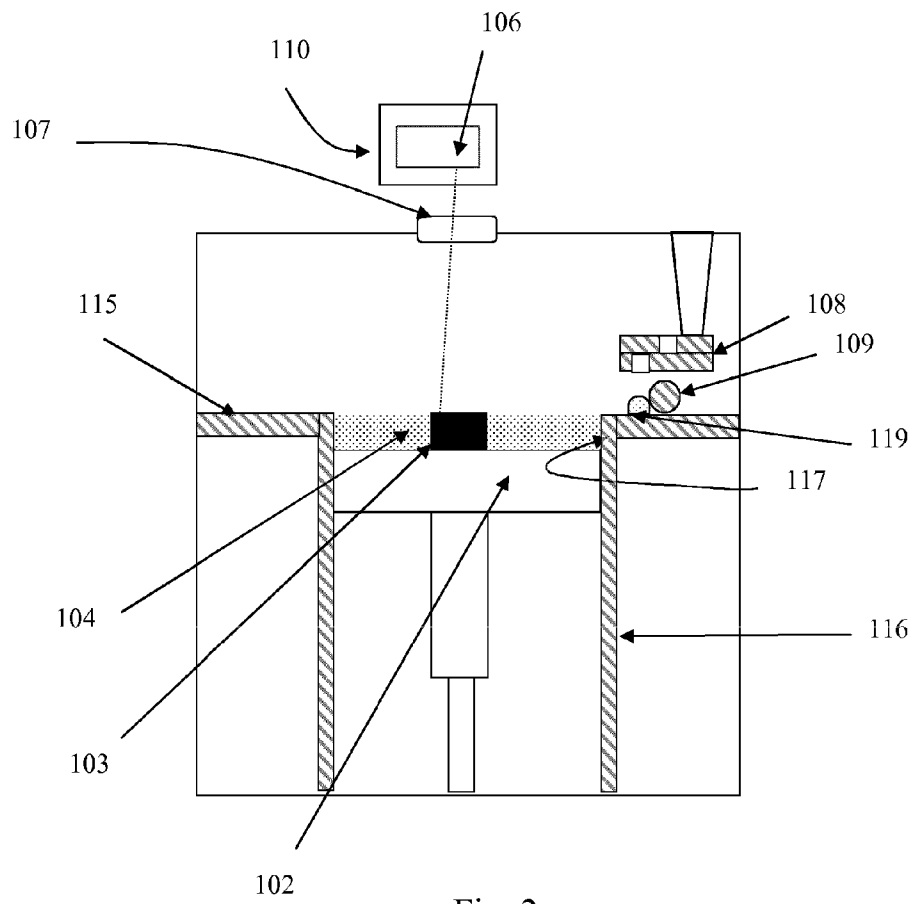
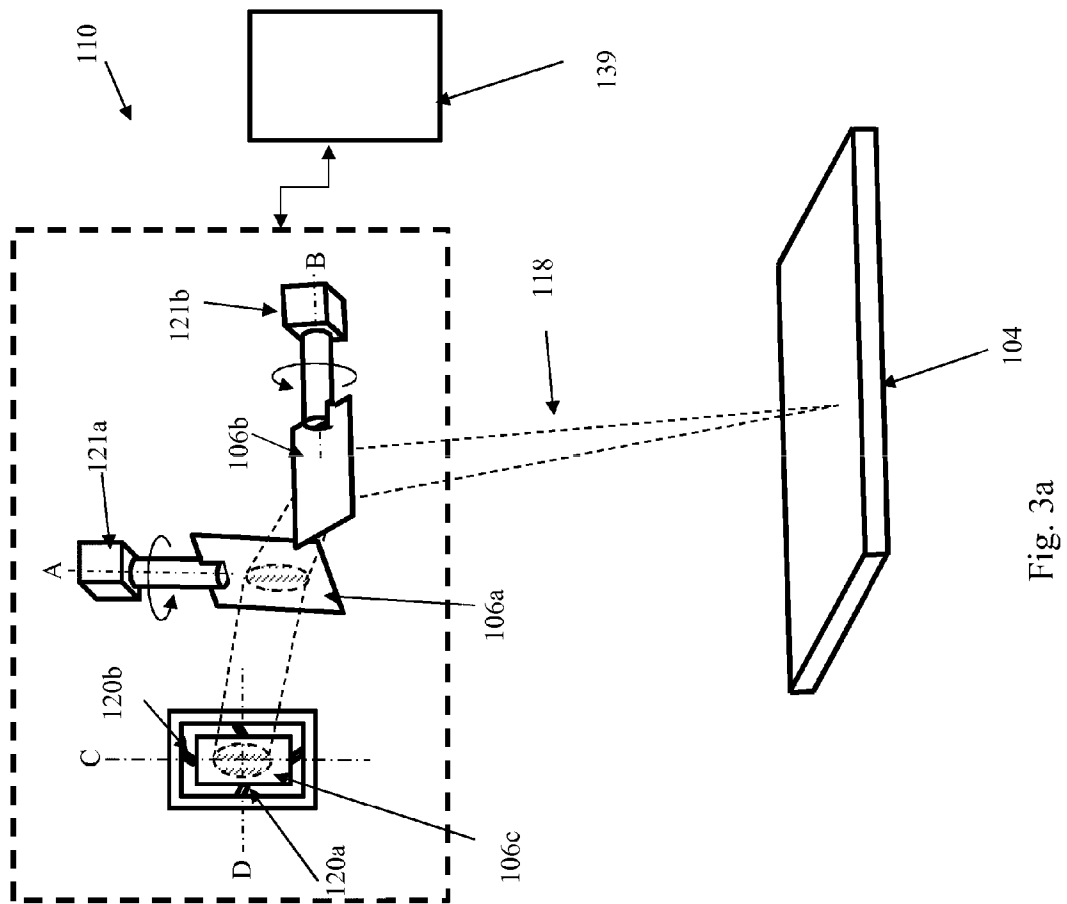


Fig. 2



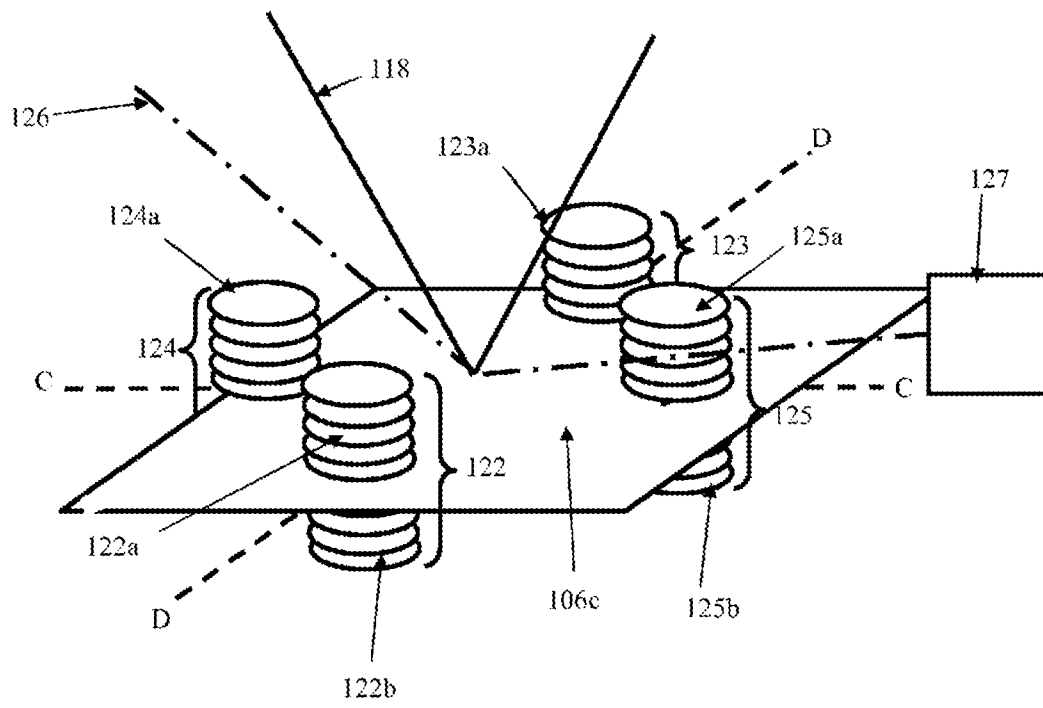


Fig. 3b

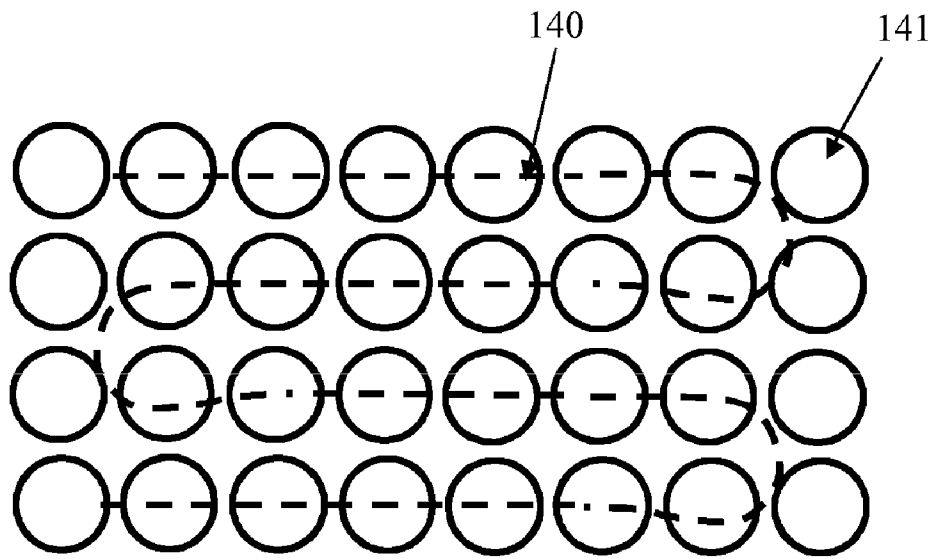


Fig. 4a

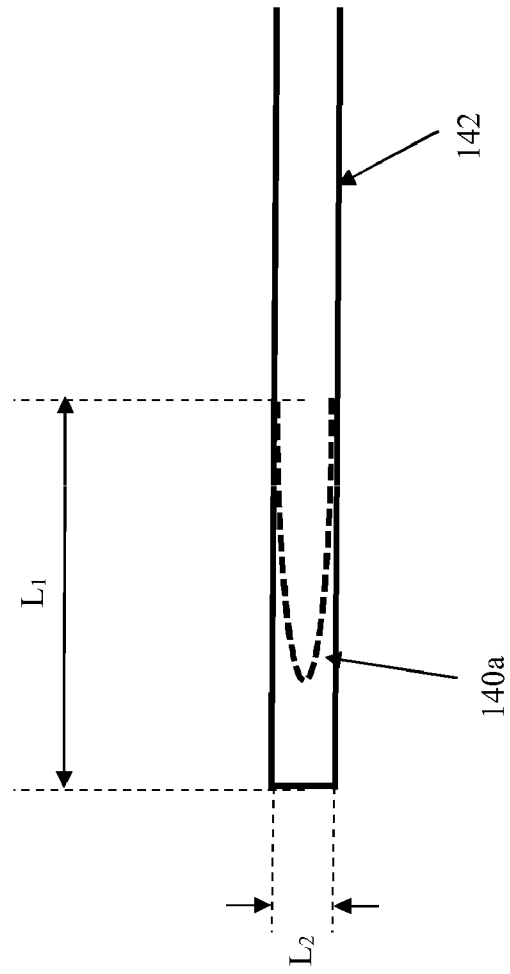


Fig. 4b

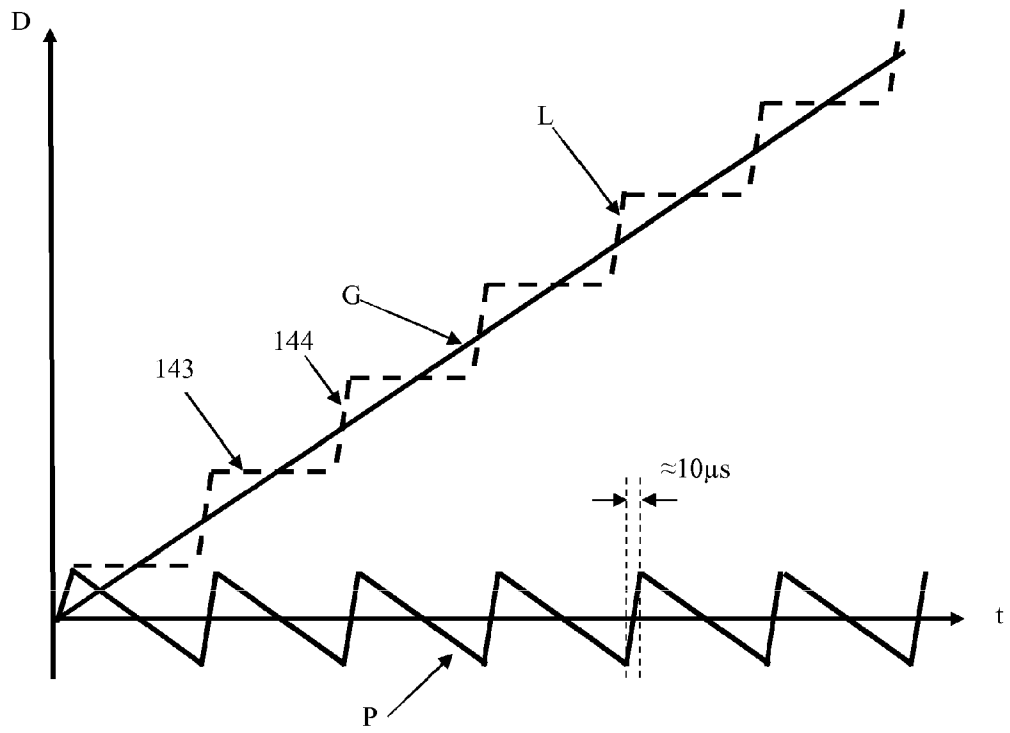


Fig. 4c

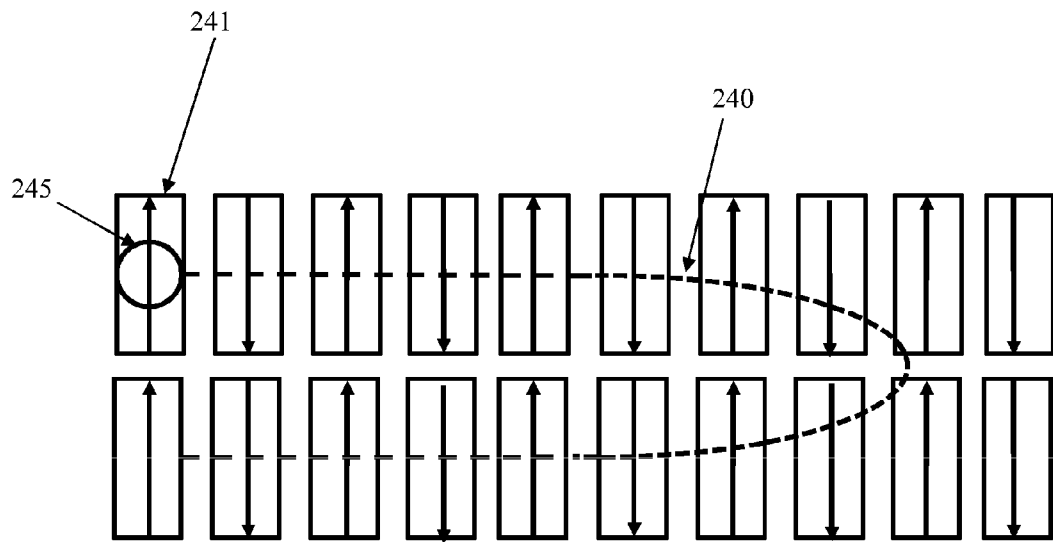


Fig. 5

