

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 905 587**

51 Int. Cl.:

A61F 2/50 (2006.01)

C12M 3/00 (2006.01)

B33Y 80/00 (2015.01)

B29C 64/112 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2018** **PCT/FR2018/050536**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2018** **WO18167402**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2018** **E 18712977 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.11.2021** **EP 3595592**

54 Título: **Equipo y método para la fabricación aditiva**

30 Prioridad:

15.03.2017 FR 1752131

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

11.04.2022

73 Titular/es:

POIETIS (100.0%)

Bioparc Bordeaux Métropole, 27 Allée Charles Darwin

33600 Pessac, FR

72 Inventor/es:

GUILLEMOT, FABIEN;

VIELLEROBE, BERTRAND;

BOUTER, JÉRÔME;

LE BOUFFANT, EVARZEG;

VAUCELLE, ROMAIN y

SOTO, DAN

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 905 587 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

Equipo y método para la fabricación aditiva

5 La presente invención se refiere al campo de la impresión aditiva tridimensional asistida por láser y más particularmente, pero no de manera limitativa, a la bioimpresión.

10 La impresión aditiva tridimensional asistida por láser consiste en proyectar partículas hacia un objetivo mediante un chorro producido mediante la evaporación local de un sustrato que otorga energía cinética a una partícula transferible o un agregado de partículas contenido en un fluido portador.

Las partículas transferibles pueden provenir de un material en polvo transportado por un sustrato líquido o un material transferible líquido.

15 Dichas partículas pueden ser de metal, compuestos inorgánicos o incluso polímeros o biomateriales.

También pueden consistir en partículas biológicas, por ejemplo, células vivas.

20 La presente invención se refiere al campo de la bioimpresión realizada mediante un método de transferencia asistido por ordenador para modelar y ensamblar materiales vivos y no vivos con una organización 2D o 3D prescrita para producir estructuras tridimensionales, específicamente estructuras de bioingeniería usadas en medicina regenerativa, farmacología y en estudios de biología celular.

25 La ingeniería de tejidos tiene como objetivo diseñar y desarrollar soluciones de sustitución que sean biológicamente capaces de reemplazar, restaurar o mantener las funciones del tejido nativo, o incluso de un órgano. Un ejemplo se describe en el artículo Griffith, LG y Naughton, G. (2002). Tissue engineering-current challenges and expanding opportunities. Science, 295(5557), 1009-1014.

30 Para superar estos límites, se ha comenzado a pensar en la impresión de elementos biológicos, más comúnmente denominada bioimpresión, como se muestra en los artículos de Klebe, R. (1988). Cytoscribing: A Method for Micropositioning Cells and the Construction of Two- and Three-Dimensional Synthetic Tissues. Experimental Cell Research, 179(2):362-373;

35 y Klebe, R., Thomas, C., Grant, G., Grant, A. y Gosh, P. (1994). Cytoscription: Computer controlled micropositioning of cell adhesion proteins and cells. Methods in Cell Science, 16(3):189-192.

Técnica anterior

40 En la técnica anterior, la patente WO2016097619 describe un método para imprimir al menos una tinta, dicho método que comprende una etapa de enfocar un haz láser para generar una cavidad en una película de tinta, una etapa de formar al menos una gota de tinta a partir de una superficie libre de la película de tinta, y una etapa de depositar dicha gota sobre una superficie de deposición de un sustrato receptor posicionado a una distancia específica (L) de la película, caracterizado porque el haz láser se dirige en la dirección opuesta con respecto a la fuerza gravitacional (G), la superficie libre de la película que es dirigida hacia arriba, hacia la superficie de deposición situada encima de la película de tinta.

45 Además, la patente WO2014061024 se refiere a un sistema para realizar una transferencia directa inducida por láser (LIFT) sin sustrato y/o donante local. Este sistema comprende un depósito que comprende al menos una abertura y una fuente de energía que se configura para entregar energía a un material donante dentro de dicho depósito. Este sistema permite la deposición de material mediante transferencia directa inducida por láser sin necesidad de sustrato donante. La invención también se refiere a métodos para transferencia directa inducida por láser sin sustrato y/o donante local.

Desventajas de la técnica anterior

55 Las soluciones anteriores que proporcionan un portaobjetos recubierto con un fluido que contiene las partículas a transferir, ya que es necesario reemplazar el portaobjetos después de cada secuencia, no permiten un buen control de las características de la película que contiene los elementos transferibles, en particular el volumen del fluido, la dispersión del fluido sobre la superficie del portaobjetos, la homogeneidad y la evolución en el tiempo debido a los fenómenos de secado, evaporación y evolución de partículas vivas, etc. Así, el principal inconveniente de las soluciones de la técnica anterior se refiere tanto a la falta de reproducibilidad de la impresión como a la frecuente necesidad de manipulación que reduce la productividad.

65 En las soluciones que proporcionan un tanque o depósito que contiene un fluido, los problemas que se presentan están relacionados con el control de la generación del chorro en la interfase aire-líquido ya que los materiales a transferir tienden a sedimentarse y por lo tanto terminan lejos del objetivo. Por lo tanto, estas soluciones no permiten

que las partículas contenidas en un fluido se transfieran en condiciones reproducibles. Esta es una desventaja genérica que también se conoce en las soluciones de bioextrusión o inyección de tinta.

Generalmente, las soluciones de la técnica anterior no son adecuadas para un proceso industrial de impresión de medios líquidos que contienen partículas debido a la dificultad de apuntar con precisión las partículas contenidas en el fluido y la necesidad de cambiar periódicamente el medio. Estos cambios en el medio requieren manipulación, lo que da como resultado la falta de reproducibilidad observada.

Un problema secundario que la invención busca resolver mediante ciertas modalidades alternativas se refiere a la disposición con la interacción del láser con una capa de sacrificio, por ejemplo, un recubrimiento de oro.

Para las soluciones de la técnica anterior que usan una capa de sacrificio, el chorro formado por un láser que excita esta capa provoca la transferencia de material desde esta capa que puede conducir a problemas de toxicidad y proyección de partículas distintas de las partículas a transferir.

Estas soluciones también implican la destrucción local del sustrato durante cada disparo, lo que crea heterogeneidades y requiere cambiar el sustrato repetidamente.

Solución proporcionada por la invención

Por la heterogeneidad de la película de biotinta en el sentido de la presente patente se entiende cualquier región de la película que tenga características locales particulares en términos de composición: partículas, especies bioquímicas (factor de crecimiento, moléculas, iones) y biomateriales.

Los términos "región heterogénea", "variaciones de composición local" y "región de composición específica" tienen el mismo significado técnico en el sentido de la presente patente.

La solución consiste en hacer que las heterogeneidades de la película fluida posicionada en la región de interacción del láser sean homogéneas en espesor y densidad de volumen durante la impresión aditiva tridimensional asistida por láser. Dicha solución consiste también en permitir que dicha región de interacción se llene repetidamente y sea controlada por el fluido. Dicha solución requiere llevar a cabo un método de impresión láser que no use una capa de sacrificio para generar los chorros de material, lo que de hecho implica una interacción láser-material que tiene lugar directamente en el fluido. Por lo tanto, el método para generar la burbuja de cavitación y luego el chorro de material son totalmente diferentes de la técnica anterior general.

Las ventajas de esta solución son varias:

- permite llevar el fluido heterogéneo a la región de interacción de forma controlada y reproducible lo que evita toda manipulación (pipeteado, esparcido, limpieza, etc.). Por lo tanto, hace que el proceso sea más seguro y confiable;
- permite modular la composición de la tinta al mezclar una pluralidad de líquidos (especies químicas, biomateriales líquidos, etc.) y una pluralidad de tipos de partículas (células, biomateriales, etc.) en un mismo tipo de tinta;
- permite el uso de un sistema fluídico controlable que recarga continuamente o pseudocontinuamente la región de interacción, lo que permite de esta manera ganar productividad durante la impresión;
- permite obtener una película fluida de espesor homogéneo en la superficie de la región de interacción, que tiene por objeto hacer la impresión mucho más reproducible y homogénea al nivel de las gotas impresas en la superficie receptora;
- opcionalmente, las películas pueden tener una pendiente o forma adecuada tanto a la geometría de la entrada/salida como al modo de llenado (continuo, discontinuo, bidireccional, etc.);
- permite ajustar el espesor de la película gracias a conjuntos de parámetros optimizados (caudal, sección transversal, forma, etc.) del sistema fluídico. La altura de los chorros de material se puede adaptar de esta manera, lo que puede ser muy importante para imprimir sobre superficies que no son planas.

Además, la invención permite el uso de medios de formación de imágenes correlacionados con disparos de láser para detectar las heterogeneidades en el fluido de forma controlada. Para ello, la región de interacción tiene que descansar sobre un material transparente tanto para el láser como para los medios de captura de imagen.

Incluso si esta solución es compatible con la impresión por láser basada en el uso de una capa de sacrificio (típicamente una capa de metal de oro o plata), está destinada preferentemente a la impresión por láser sin usar una capa de sacrificio. Por lo tanto, dicha solución debe garantizar la creación de chorros reproducibles y repetibles en el campo durante una interacción directa entre el láser y el fluido que contiene las heterogeneidades. Para hacer esto, es necesario un cierto número de parámetros de impresión, que se enumeran a continuación, porque la generación de los chorros es muy difícil de obtener en esta condición de impresión sin una capa de sacrificio:

- - el láser emite pulsos cortos en régimen de picosegundos o femtosegundos con un nivel de energía de entre 1 y 40 microjulios, y preferentemente de 5 a 20 microjulios, para optimizar la generación del plasma láser en el fluido. Al leer las modalidades que se describen en este documento, se proporcionará evidencia de este desempeño;
- 5 • - el láser emite pulsos láser en un régimen de nanosegundos con una energía de 0,5 a 20 milijulios para permitir la generación de burbujas y luego chorros sin una capa de sacrificio;
- - el láser emite preferentemente pulsos en el dominio del IR cercano para evitar cualquier efecto ionizante sobre las células que son suficientemente absorbible por el medio. Para optimizar dicho parámetro, sería bastante posible usar un láser en el UV o el IR medio, o incluso en el visible para maximizar la tasa de absorción por el medio;
- 10 • - se realizan mediciones de propiedades características del fluido presente en la región de interacción (densidad, viscosidad, espesor de película, etc.) para modular u optimizar los parámetros del láser y hacer que la impresión sea lo más homogénea posible;
- - las imágenes de las heterogeneidades en el fluido permiten apuntar a regiones específicas (número o tipo de partículas), lo que permite realizar una impresión homogénea y, sobre todo, de acuerdo con el archivo de impresión digital, ya que el número de las heterogeneidades impresas se puede controlar directamente por medio de estos medios de formación de imágenes o más generalmente por caracterización controlada por un ordenador para la interpretación de los datos adquiridos.
- 15

20 En tal contexto, ya no existe un problema relacionado con los restos de impresión desde la capa de sacrificio hacia el sustrato de impresión, lo que garantiza una mayor viabilidad de las células en el contexto de la bioimpresión.

Solución proporcionada por la invención

25 La invención se refiere, en su sentido más general, a un aparato de impresión aditiva que comprende un medio de excitación energética direccionable para producir una interacción puntual con un fluido que recubre un portaobjetos, para provocar un chorro dirigido hacia un objetivo, dicho fluido que consiste en un vector líquido que contiene partículas transferibles o por un biomaterial líquido transferible, caracterizado porque:

- 30 • dicho fluido forma una película líquida que tiene un espesor de menos de 500 μm ,
- en un portaobjetos que tiene al menos una región para la interacción con el láser, a la que conduce al menos una entrada, dicha región de interacción que conduce a al menos una salida, dicha región de interacción que tiene una abertura cuya sección transversal es al menos 3 veces mayor que el tamaño medio de las heterogeneidades presentes en el fluido,
- 35 • el aparato que comprende además medios para hacer circular el fluido entre dicha entrada (7) y dicha salida.

40 Este portaobjetos define una región que tiene una parte inferior preferentemente plana y está posicionada para permitir la interacción con el haz de excitación energética, esta región que está rodeada por un borde que tiene una abertura de entrada y una abertura de salida, para asegurar la presencia de una película en esta región de interacción con los medios de excitación energética, cuya película puede ser transitoriamente estática, depositada sobre la región, y en otros momentos formada por una circulación del fluido que asegura la renovación de las partículas transferibles y el desplazamiento con respecto al eje de excitación energética.

45 En soluciones "estáticas", es necesario reemplazar el portaobjetos después de cada secuencia. Esto no permite un buen control de las características de la película que contiene los elementos transferibles, en particular el volumen del fluido, la dispersión del fluido sobre la superficie del portaobjetos, la homogeneidad y la evolución en el tiempo debido a los fenómenos de secado, evaporación, evolución de partículas vivas, etc.

50 Los portaobjetos de la técnica anterior que comprenden un recubrimiento estático de tinta requieren un cambio de portaobjetos después de cada uso, lo que no optimiza el uso de los elementos transferibles.

De acuerdo con las modalidades alternativas particulares del aparato de acuerdo con la invención,

- el espesor de dicha película está entre 50 y 100 μm ,
- el espesor de dicha película es entre 5 y 10 veces el tamaño nominal de dichas partículas transferibles,
- 55 • la superficie de dicha región de interacción es superior a 0,05 mm^2 ,
- dicha entrada conduce a una parte lateral de dicha región de interacción,
- dicha región de interacción tiene una parte periférica que conduce lateralmente a dicha salida,
- dicha entrada y dicha salida consisten en canales tubulares conectados a la región de conexión, que forman el eje longitudinal de dichos canales tubulares, con el plano transversal de la región de interacción, entre 15° y 35°,
- 60 • dichos medios para hacer circular el fluido entre dicha entrada y dicha salida comprenden medios para controlar el caudal de inyección (o la presión positiva ejercida sobre el fluido) y caudal de succión para controlar el caudal de fluido (o la presión negativa ejercida sobre el fluido) en la región de interacción,
- dichos medios para controlar el caudal de inyección y el caudal de succión dependen de la medición del espesor de la película, para controlar el espesor de la película en la región de interacción,
- 65

- el aparato comprende una pluralidad de regiones de interacción, cada una de las cuales comprende una entrada y una salida,
- al menos dos de dichas regiones de interacción tienen entradas y/o salidas comunes,
- dicho medio de excitación energética consiste en un láser,
- 5 • la región de interacción es transparente en la banda de longitud de onda del láser y en la banda de longitud de onda de formación de imágenes y no tiene una capa de sacrificio,
- dicho fluido está cargado con un pigmento que es absorbente en la longitud de onda de emisión del láser,
- el aparato comprende medios para obtener imágenes de la región de interacción para controlar el láser de acuerdo con la densidad de las partículas,
- 10 • dicho láser emite pulsos en el régimen de picosegundos o femtosegundos con un nivel de energía de entre 5 y 20 microjulios, controlado el nivel de energía que es controlado por pulso por un ordenador de acuerdo con el resultado de la medición de las características del fluido presente en la región de interacción, dichas medidas que incluyen la densidad de partículas y/o la viscosidad y/o el espesor de la película,
- dicho medio de excitación energética consiste en un generador de ondas acústicas,
- 15 • el aparato comprende un medio para formar imágenes de la región de interacción y seleccionar el tipo de partícula a transferir.

La invención también se refiere a un método de impresión aditiva que usa un aparato que comprende un medio de excitación energética direccionable para producir una interacción puntual con un fluido que cubre un portaobjetos, para provocar un chorro dirigido hacia un objetivo, dicho fluido que consiste en un vector líquido que contiene heterogeneidades transferibles (partículas o biomateriales o especies químicas) o de biomaterial líquido transferible, caracterizado porque dicho fluido forma una película líquida de espesor inferior a 500 μm y que circula entre un conducto de entrada (7) y un conducto de salida de un portaobjetos que tiene al menos una región para la interacción con el láser, y a la que conduce al menos una entrada (7).

De acuerdo con una modalidad alternativa particular, el nivel de energía por pulso es controlado por un ordenador de acuerdo con el resultado de medidas de características del fluido presente en la región de interacción, dichas medidas que incluyen la densidad de partículas y/o la viscosidad y/o el espesor de la película.

Descripción detallada de un ejemplo no limitativo de la invención

La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción detallada de un ejemplo no limitativo de la invención que sigue, con referencia a las figuras adjuntas en las que:

- 35 • La Figura 1 muestra una vista en sección transversal esquemática de un aparato de acuerdo con la invención.
- La Figura 2 muestra una vista esquemática de un aparato de acuerdo con la invención que tiene un sistema óptico.
- la Figura 3 muestra una vista superior esquemática de un portaobjetos de un aparato de acuerdo con la invención;
- 40 • la Figura 4 muestra una vista en 3D de diferentes modalidades alternativas del aparato de acuerdo con la invención realizadas experimentalmente;
- la Figura 5 muestra una vista en 3D de diferentes modalidades alternativas del aparato de acuerdo con la invención que comprende una ranura para formar imágenes de la película de tinta desde el borde;
- la Figura 6 muestra una vista en 3D de una modalidad alternativa de acuerdo con la invención, así como también imágenes de películas de tinta obtenidas en esta configuración;
- 45 • la Figura 7 muestra una vista en 3D de una modalidad alternativa de múltiples cavidades del aparato de acuerdo con la invención;
- la Figura 8 muestra una serie de diagramas explicativos del proceso de interacción láser-material sin capa de sacrificio realizado en el aparato de acuerdo con la invención;
- 50 • la Figura 9 muestra una serie de fotografías que muestran el chorro de material generado por la interacción láser-material con una capa de sacrificio dentro del aparato de acuerdo con la invención;
- la Figura 10 muestra una imagen tomada bajo un microscopio de un campo impreso de gotas de agua dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua);
- la Figura 11 muestra una imagen tomada bajo un microscopio de un campo impreso de gotas que contienen micropelotas dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua);
- 55 • la Figura 12 muestra una imagen tomada bajo un microscopio de un campo impreso de gotas que contienen células dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua);
- la Figura 13 muestra una imagen tomada bajo un microscopio de un campo impreso de gotas de agua producidas dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo dinámico (con recarga continua);
- 60 • la Figura 14 muestra una imagen tomada bajo un microscopio de un campo impreso de gotas que contienen células, así como también melanina (absorbente) dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua);
- Las Figuras 15 a 17 muestran vistas de otra modalidad de un portaobjetos de acuerdo con la invención.

Descripción de una primera modalidad alternativa de un aparato de acuerdo con la invención

La Figura 1 muestra una primera modalidad alternativa de un aparato que realiza una excitación mediante un haz láser enfocado que genera un pulso (1).

Un portaobjetos (2) de vidrio o material transparente define una cavidad (3) por la que circula un fluido portador (4) que contiene partículas transferibles (5).

La profundidad de esta cavidad es inferior a 500 μm y preferentemente de 50 a 100 μm de espesor, lo que evita así fenómenos de sedimentación en la cavidad (3).

Esta cavidad (3) está formada por moldeo, mecanizado, soplado (vidrio) o incluso por impresión 3D (FDM, SLS, SLA, DLP, DMLS, EBM, CLIP, MultiJet, etc.) y tiene sección transversal de forma circular, o rectangular, u ovalada u otra forma geométrica. Su superficie transversal (6) define una región de trabajo que se puede escanear por el haz láser (1) y visualizada en un sensor a través de un retrohaz óptico.

El fluido portador (4), empujado por un sistema de bombeo (15), ingresa a la cavidad (3) a través de una abertura de entrada (7) conectada a un conducto de suministro (8) que a su vez está conectado a un tanque de suministro (14), y se evacua a través de una abertura de salida (9) a un conducto de descarga y/o succión (10).

La tubería de descarga y/o succión (10) conduce a un tanque de recuperación (13) que contiene el fluido portador (4) cargado con partículas transferibles (5). Una bomba (15) asegura la circulación del fluido portador (4) cargado de partículas transferibles (5). El tanque de suministro (14) y el tanque de recuperación (13) pueden estar separados o formar un solo tanque si se desea recircular el mismo fluido a través del sistema varias veces. En esta configuración, el interés es maximizar el número de partículas impresas en el fluido circulante.

Opcionalmente, el sistema comprende una pluralidad de conjuntos de tanques (14 y 13), cada uno de los cuales contiene un fluido portador cargado con heterogeneidades de diferente naturaleza. Se usa una válvula para seleccionar uno de los tanques, para permitir el depósito de partículas de diferente naturaleza y la formación de capas diferenciadas sobre el objetivo (11).

El caudal de fluido portador (4) se ajusta para asegurar el movimiento de la región de trabajo de las partículas transferibles (5) a una velocidad que permita la selección por los medios apropiados (imágenes, espectroscopia, etc.) y activar aquellos que son seleccionados por un disparo láser.

El objetivo (11) es móvil en un plano X, Y paralelo a la parte inferior (6) de la cavidad (3) para determinar el punto de depósito de la partícula transferida (12) y opcionalmente en dirección perpendicular para ajustar la distancia recorrida por la partícula (5) a transferir. En este caso, es posible modular el tamaño de las gotas depositadas sobre el sustrato receptor de la impresión.

La Figura 2 muestra una vista en sección transversal del dispositivo completo con el sistema óptico.

Este sistema óptico consta de dos espejos (20) oscilantes angularmente (del tipo galvanómetro), que permiten escanear la región de disparo del láser, y de una primera unidad óptica (21) que consiste en una lente de escaneo del tipo lente F-Theta, que permite formar un punto láser cuyo diámetro sobre la superficie de trabajo es lo más pequeño y constante posible. Esta primera unidad óptica (21) consiste en un sistema de una pluralidad de lentes de manera conocida.

Aguas arriba de los espejos de escaneo (20), el sistema óptico comprende una fuente láser (22), cuyo haz es devuelto a los espejos de escaneo (20) por un espejo dicróico (23).

Una segunda unidad óptica (24) forma una imagen de la región de trabajo (25) sobre un sensor (26) por medio del retrohaz que atraviesa el espejo dicróico (23).

Descripción de una segunda modalidad alternativa de un aparato de acuerdo con la invención

La Figura 3 muestra una vista superior de una modalidad alternativa de un portaobjetos (2) de acuerdo con la invención.

Dicho portaobjetos comprende tres circuitos formados por tres cavidades paralelas (30, 31, 32), cada una de las cuales se extiende entre un conducto de alimentación (33 a 35, respectivamente) y un conducto de descarga respectivamente (36 a 38).

Cada circuito asegura la circulación de un fluido portador que contiene heterogeneidades transferibles respectivamente (39 a 41) de naturaleza potencialmente diferente. En efecto, o bien son de la misma naturaleza, lo que podría permitir imprimir en campos de mayor tamaño o acelerar el proceso de impresión (ganancia de productividad), o bien son de

una naturaleza diferente, lo que podría permitir realizar objetos complejos y personalizados (ganancia en la gama de objetos fabricables); este es el aspecto "multicolor" que aporta este tipo de arquitectura.

5 Para seleccionar una de las cavidades, el portaobjetos (2) puede moverse mecánicamente en una dirección perpendicular al eje principal de las tres cavidades, o es posible que el escaneo del haz láser cubra todo el portaobjetos (2).

Descripción del uso de diferentes aparatos de acuerdo con la invención.

10 La Figura 4 muestra una vista de 3 posibles variantes de la arquitectura del aparato. La Figura 4.a muestra una vista en la que los conductos de alimentación (8) y descarga (10) son paralelos al portaobjetos (2) mientras que la Figura 4.b ilustra una situación en la que los conductos se extienden en ángulo con respecto al portaobjetos que puede estar entre 0 y 90°. La ventaja de una u otra de las soluciones radica en la capacidad de gestionar los caudales, volúmenes muertos o incluso ángulos para evitar problemas de bloqueo o continuidad en el flujo del fluido (4) y al mismo tiempo
15 garantizar que se obtenga una película fluida homogénea en la cavidad abierta (3) (parte circular en las figuras donde se enfocan los disparos láser). La Figura 4.c es una modalidad alternativa a las soluciones anteriores en la que se han colocado láminas de vidrio en las entradas (7) y salidas (9) del fluido (4) para orientar/guiar su flujo en forma de película homogénea en la cavidad (3). Los tipos de arquitectura que se muestran aquí no son exhaustivos. De hecho, la forma, el posicionamiento y el ángulo de los conductos, el tamaño y la forma de la cavidad y el portaobjetos, los materiales usados y la forma y el posicionamiento de las aberturas de entrada (7) y salida pueden diferir de los ejemplos que se muestran aquí.

25 La Figura 5 muestra una vista de 3 posibles variantes de la arquitectura del aparato cercanas a las mostradas en la Figura 4. En común, en esta nueva configuración, todos ellos tienen una ranura en la parte superior, cuya altura corresponde a la de la cavidad (3) y cuyo posicionamiento corta la región abierta de la cavidad (3). La ventaja de tal abertura es que permite la observación de la película por medios de visualización (imágenes) colocados perpendicularmente al aparato. Así, es posible seguir la evolución de la película en el tiempo, lo que permite adaptar mejor la energía de los disparos láser al espesor real de la película durante la impresión o, por el contrario, adaptar el espesor de la película a la energía del disparo láser. Aquí nuevamente, las arquitecturas ilustradas aquí no son exhaustivas. De nuevo, la forma, la posición y el ángulo de los conductos, el tamaño y la forma de la cavidad y el portaobjetos, los materiales usados, la forma y la posición de las aberturas de entrada (7) y salida, y la forma, el tamaño y la posición de las ranuras pueden diferir de los ejemplos que se muestran aquí.

35 La Figura 6 muestra los resultados obtenidos en una de las modalidades alternativas del aparato de acuerdo con la invención, inicialmente mostrada en la Figura 5.e. En la Figura 6.h, una vista a través de la transparencia permite resaltar la arquitectura interna del aparato en esta configuración. Los conductos de suministro y descarga se extienden en ángulo con respecto a la cavidad (3) y el portaobjetos (2). La conexión entre los conductos y la región de la cavidad se realiza mediante tuberías de pequeño diámetro para que sean compatibles con los espesores de película deseados inferiores a 500 µm. Sin embargo, la sección transversal de estos conductos no debe ser demasiado pequeña para evitar cualquier fenómeno comparable a los observados en los sistemas de boquillas (aberturas) que se obstruyen fácilmente y provocan un esfuerzo mecánico importante en las células, lo que afecta su viabilidad en el tiempo. Es por ello que los conductos tienen preferentemente un diámetro superior a 200 µm, que es al menos 10 veces el tamaño medio de las células o partículas que se pueden imprimir mediante este aparato. Se debe señalar que el aparato está perforado en su centro por un orificio (cilindro) que permite enfocar el láser en la cavidad al atravesar el portaobjetos
40 (2) que es transparente a su longitud de onda. En la Figura 6.i, una vista ampliada de la cavidad (3) ubicada sobre el portaobjetos (2) por la que se envía el fluido (4) muestra que las aberturas de entrada (7) y salida (7 y 9) están formadas cada una en parte por los conductos de impulsión y descarga respectivamente (8 y 10) y por las láminas de vidrio colocadas en la parte superior del aparato. La combinación de conductos y láminas permite que el fluido (4) se dirija limpiamente sobre el portaobjetos (2). Las imágenes que prueban que es posible obtener películas delgadas se muestran en las fotografías 6.j, 6.k y 6.l obtenidas por formación de imágenes (cámara y objetivo de recuperación de imagen) transversalmente al aparato. En dependencia de los parámetros de presión del fluido (4) en la entrada (7) y de la succión del fluido (4) en la salida, es posible modular el espesor central de la película. A manera de ejemplo, se han obtenido experimentalmente espesores de 136 µm, 100 µm y 56 µm y se muestran en las Figuras 6. j, 6.k y 6.l.

55 El seguimiento de estos espesores correlacionados con la adaptación de los parámetros de excitación del láser (energía, foco, etc.) permite un ajuste fino de los chorros generados por la absorción del láser. La forma superior de la película no es necesariamente plana como se puede ver en las fotografías. Esto depende de los parámetros del fluido (4) (viscosidad, densidad, caudal, etc.) y de los parámetros de presión/succión de dicho fluido. La región de los disparos de láser se puede adaptar espacialmente a una parte de la película donde el espesor es constante. Dicha región también puede corresponder a la totalidad de la cavidad, pero en este caso, los parámetros del láser se adaptarán a las variaciones de espesor de la película en el campo objetivo.

65 La caracterización de la película también podría llevarse a cabo por medios distintos a la formación de imágenes citada aquí, por ejemplo, son concebibles medios de análisis espectroscópico, medición de distancia, sombrascopía de líneas, etc.

La Figura 7 muestra una versión 3D de la solución que se muestra en la Figura 3. Esta modalidad, que se muestra en 3D en la Figura 7.m, comprende 3 cavidades, cada una alimentada por conductos de suministro y descarga dedicados. Se proporciona una ranura en la parte superior para permitir la observación de películas de tinta, al menos aquellas colocadas en los extremos del aparato. Además, en la Figura 7.n se propone una vista a través de la transparencia. Permite ver los tres orificios que permiten el paso del láser a través de la pieza hasta cada cavidad (3) equipada con un portaobjetos (2). Es obvio que este ejemplo es puramente ilustrativo de las amplias posibilidades de diseños que son posibles para este aparato. De hecho, podría concebirse al tener:

- 2 cavidades o más de 3 cavidades;
- un único conducto de alimentación y/o un único conducto de descarga común a todas las cavidades;
- una forma de cavidad diferente (cuadrada, acanalada, ovalada, rombo, etc.)
- conductos que se extienden en paralelo o perpendicularmente a la superficie de los portaobjetos.

Los ejemplos citados aquí no son, por lo tanto, limitativos de los tipos de arquitectura que podría tener el aparato de acuerdo con la invención.

Descripción detallada del método para imprimir con una capa de sacrificio de acuerdo con la invención

La Figura 8 describe las etapas principales de la interacción entre el láser y el material en el contexto de la impresión de líquidos que son homogéneos o contienen heterogeneidades.

- La primera etapa consiste en enfocar el láser sobre el material, aquí la tinta dispuesta en forma de película (4) en la cavidad (3). La forma en que se enfoca el láser impacta directamente en el volumen que absorberá la energía depositada. En este caso, se entiende como fluencia láser (energía relacionada con la superficie o incluso con el volumen). Dado que el proceso no usa una capa de sacrificio, es la tinta y la mayor parte de su medio líquido lo que absorbe la energía del láser. De hecho, la elección de la longitud de onda y la energía del láser afecta directamente a la capacidad de absorción de la película (4). En el caso de la bioimpresión, el medio consiste sustancialmente en agua que tiene picos de absorción que se conocen bien a nivel espectral. El objetivo es, por tanto, maximizar esta absorción al elegir fuentes láser correspondientes a estos máximos (líneas de absorción de agua en el infrarrojo, por ejemplo). También es posible maximizar la absorción mediante el uso de absorbentes colocados en la tinta (moléculas, colorantes, partículas). En los ejemplos mostrados en la presente invención, el láser usado trabaja a una longitud de onda de 1030 nm (iterbio) para una duración de pulso que cubre un intervalo de 10 picosegundos a 400 femtosegundos y energías entre 1 y 40 μ Julios. Preferentemente, se usa el láser que tiene una duración de pulso de 10 picosegundos para una energía por pulso de 10 a 14 μ Julios.
- La segunda etapa corresponde a la creación del plasma (81) que es el resultado de la disociación del material tras la absorción del láser por el fluido de la película (4). Este plasma está formado por una mezcla de átomos, iones, electrones y residuos moleculares, etc.

El plasma se crea en tiempos extremadamente cortos, típicamente unos pocos picosegundos después de la absorción del láser, y también tiene una "vida útil" de microsegundos muy corta. El tamaño del plasma (81), su dinámica espacio-temporal, su "temperatura" y sus constituyentes están fuertemente ligados a la duración del pulso láser usado. Si se trata de un régimen llamado "corto" de un microsegundo a un nanosegundo, los efectos principales en el origen del plasma son efectos de absorción lineal que tienen aumentos de temperatura locales de aproximadamente uno a unos pocos grados. Este proceso se califica como térmico. Se considera "más rudo" por la calidad del confinamiento del plasma en un espacio reducido y bien controlado. Si la duración de los pulsos se encuentra en un régimen denominado "ultracorto", es decir, correspondiente a duraciones de pulso de aproximadamente unas pocas decenas de picosegundos por femtosegundo, entonces los efectos en el origen del plasma serán una combinación de efectos lineales y efectos no lineales. Además, cuanto más corta sea la duración del pulso, más se favorecerán los efectos no lineales. La ventaja de usar estos regímenes radica en el acceso a los llamados procesos "atéricos" que hacen posible el confinamiento del plasma en un espacio muy bien acotado de muy pequeño tamaño sin posibilidad de aumento de temperatura. Este régimen es por tanto más favorable a la viabilidad celular a priori, así como también a la alta resolución. En el caso de la presente invención, los principales resultados se obtuvieron entre 5 y 10 picosegundos, régimen que mezcla efectos tanto lineales como no lineales. Han demostrado la capacidad de imprimir tanto medios homogéneos como medios coloidales sin una capa de sacrificio.

- La tercera etapa corresponde a la creación de la burbuja de cavitación (82) en el medio. Esta burbuja es el resultado de la recombinación de los constituyentes del plasma en un gas presurizado. La recombinación se basa en una serie de procesos físicos complejos, tal como los efectos de campo, las recombinaciones radiativas y no radiativas, los efectos de túnel, etc. La cavitación depende en gran medida del tamaño y la calidad del plasma inicial (81). La cavitación (82) aparece aproximadamente un microsegundo después de la absorción por el láser y la creación de plasma. Puede tener una forma esférica pero también puede tener una forma alargada o anular. Todo depende del plasma inicial y de su forma. La polarización del láser y la distribución geométrica de su energía en el plano focal influyen directamente en la forma del plasma y por tanto en la forma

de la burbuja de cavitación. Por lo tanto, para obtener resultados más reproducibles, se prefieren las formas isotrópicas, tal como la polarización láser circular.

- Finalmente, la cuarta etapa corresponde a la llamada fase hidrodinámica en la que la burbuja de cavitación (82) crece, se deforma y provoca movimientos del líquido, etc. Las diferentes fases de estos fenómenos hidrodinámicos son en parte ya conocidas a partir de ciertas teorías tal como las de Pearson o Worthington, etc. El resultado final es la creación de un chorro de materia (83) en la superficie libre del líquido. La tensión superficial del líquido, la distancia de la burbuja a la superficie libre y la viscosidad del líquido se encuentran entre los parámetros que más influyen en la forma y la dinámica de este chorro (83).

Por lo tanto, la impresión sin una capa de sacrificio depende de una gran cantidad de parámetros relacionados tanto con el láser como con la tinta usada. El control de la película de tinta por medio del aparato descrito de acuerdo con la invención es un medio para regular algunas de las posibles disparidades (sedimentación, secado, espesor variable e incontrolado, etc.) durante la impresión. Además, las posibilidades de modular el caudal y el espesor de dicha película por medio de presión y succión, podrían permitir modular el tamaño, forma y dinámica de los chorros. Así, por medio de tal invención, se hace concebible reducir el intervalo de parámetros del láser necesarios para modular los chorros. El impacto directo de tal elección sería usar un láser mucho más simple en su definición, más estable y sobre todo mucho menos costoso porque es menos versátil.

La Figura 9 muestra chorros de material real, generados por un láser sin una capa de sacrificio. Las 4 fotografías en esta figura, cada una corresponde a un tiempo específico después del enfoque del disparo láser en la película de tinta (4). La primera foto se tomó 5 μ s después del disparo, la segunda 50 μ s después y así sucesivamente. Esta técnica de imagen ombroscópica se conoce comúnmente como imagen resuelta en el tiempo. Permite desglosar eventos hiperrápidos al tomar fotos con tiempos de luz muy cortos. Esta serie de fotografías ilustra el principio de generación de chorro láser como se explica en la Figura 8 anterior. En tiempos cortos, se puede ver la creación de una cúpula piramidal coronada por un primer chorro muy fino, luego en tiempos largos, se puede ver el ascenso de un chorro mucho más grande del que se desprenden una o más gotas. En dependencia de la distancia entre la superficie libre de la película (4) y el sustrato receptor sobre el que se pretende imprimir, será una o varias de estas gotas las que se depositen. A veces, la distancia entre la tinta y el sustrato de impresión puede ser lo suficientemente pequeña, generalmente menos de 500 μ m, como para que el chorro intercepte directamente la superficie del sustrato receptor. A esto se le llama régimen de transferencia. En todos los casos, ya sea que el mecanismo sea deposición o transferencia de gotas, se hace referencia a la impresión directa por láser.

Las siguientes Figuras 10, 11, 12, 13 y 14 muestran los resultados obtenidos en la impresión sin una capa de sacrificio. Estos resultados demuestran que los conjuntos de parámetros usados en el contexto de esta invención:

- láser (régimen de picosegundos, alrededor de diez microjulios, longitud de onda del infrarrojo cercano, polarización, etc.)
- tinta (viscosidad, tensión superficial, densidad, espesor, etc.)
- sistema (velocidad de escaneo, patrón usado, enfoque, etc.)

permitir la impresión de objetos homogéneos y heterogéneos, lo que nunca antes se había demostrado.

Así, la Figura 10 demuestra un resultado de impresión láser muy reproducible sin una capa de sacrificio de una tinta homogénea que consiste principalmente en agua. Cada gota impresa aparece como un pequeño círculo en la imagen. El círculo grande (que separa la región gris de la región negra) simplemente corresponde al campo reflejado por el microscopio usado para tomar esta imagen. Las gotas impresas típicamente tienen un diámetro de 100 μ m y una separación de 500 μ m entre sí. Este resultado se obtuvo dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua).

La Figura 11 muestra un resultado de impresión láser homogéneo sin una capa de sacrificio de una tinta coloidal hecha de agua, tensioactivo y microperlas de 5 μ m de diámetro cada una. El resultado de la impresión muestra la capacidad de esta invención para depositar gotas que encierran un pequeño número de microperlas, en promedio de 2 a 3 por gota. Esta es una prueba de que la impresión sin una capa de sacrificio puede lograr un rendimiento de muy alta resolución en medios coloidales (lo que nunca antes se había demostrado). Este resultado se obtuvo dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua).

La Figura 12 muestra un resultado de impresión láser relativamente homogéneo sin una capa de sacrificio de tinta celular. Esta impresión es la primera en cuanto a las microperlas. Es muy convincente y abre campos de aplicación muy amplios para esta invención. Las disparidades en la impresión visibles en la imagen están sustancialmente relacionadas con las disparidades en la tinta usada y depositada en el portaobjetos (3) que se ha sedimentado y agregado en paquetes. En efecto, este resultado se obtuvo en modo estático, es decir, sin hacer funcionar el aparato de acuerdo con la invención en un modo dinámico de recarga continua. El objetivo de este resultado era sobre todo probar la capacidad de la impresión sin oro para imprimir células vivas. De nuevo, este resultado se obtuvo dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua).

La Figura 13 muestra un resultado de impresión relativamente homogéneo de impresión láser sin una capa de sacrificio de una tinta homogénea obtenida mediante el uso del aparato de acuerdo con la invención mientras trabaja en modo dinámico, es decir, con el sistema fluido que trabaja para recarga continua.

Finalmente, la Figura 14 es otra ilustración de la capacidad de la tecnología para imprimir sin una capa de sacrificio para poder optimizarse según sea necesario. De hecho, en esta imagen se aprecia un campo de gotas impresas en las mismas condiciones que las descritas hasta ahora, con una única diferencia: la presencia de un agente absorbente incorporado a la tinta. En este ejemplo, se trataba de melanina, un compuesto biológico natural que tiene una absorción muy alta en la longitud de onda del láser usado para estos experimentos, específicamente, 1030 nm. Por lo tanto, la adición de este compuesto hizo posible trabajar a energías láser más bajas para permitir la absorción del láser, luego la creación de plasma y finalmente la hidrodinámica de la burbuja de cavitación. Este resultado se obtuvo dentro del aparato de acuerdo con la invención en modo estático (sin recarga continua).

Descripción de otra modalidad alternativa

Las Figuras de la 15 a la 17 muestran vistas parciales, en perspectiva y desde arriba, respectivamente, de otro ejemplo de un portaobjetos (2) que tiene una primera elevación extra opcional (105) y una placa en forma de mesa (100), cuya superficie superior es plana. Esta superficie plana define la región de interacción (100) entre el fluido y un haz de excitación y/o de observación, por ejemplo, un haz láser.

El portaobjetos tiene, a uno y otro lado de esta placa (100), una ranura transversal (110, 120).

Cada una de las ranuras (110, 120) comunica a través de un orificio (111, 121) con un conducto particular (112, 122) que atraviesa verticalmente el portaobjetos (2) y desemboca en la correspondiente ranura (110, 120).

El flujo del fluido se produce en la dirección que muestra la flecha (105) correspondiente a la dirección longitudinal, entre una primera ranura transversal (110) y una segunda ranura transversal (120).

La primera ranura (110) se usa normalmente para el suministro de fluido que pasa a través de la placa (100) antes de fluir hacia la segunda ranura (120) donde luego se succiona el fluido. Sin embargo, también es posible cambiar la dirección del flujo de manera transitoria, para asegurar el flujo en direcciones alternas en la superficie (100) de la placa.

Cada uno de los tubos (113, 123) están conectados a conductos (111, 121) para el suministro y/o succión de fluido que transporta las partículas transferibles. Uno de los conductos se puede conectar mediante una válvula multivía a una pluralidad de entradas de fluido diferentes (114 a 116). Cada uno de estos canales puede funcionar tanto en caudal (del tipo bomba de jeringa) como en presión.

Los otros dos bordes de la placa (100) que no son adyacentes a las ranuras (110, 120) están opcionalmente bordeados por un reborde (130, 140), para formar un área delimitada para la circulación del fluido. Igualmente, los bordes laterales exteriores del portaobjetos están delimitados por unos rebordes (150, 160).

El control del caudal de alimentación y/o succión permite controlar el flujo para asegurar una distribución homogénea del líquido en la parte abierta del cabezal de impresión.

Una primera solución es la de proporcionar una boca de entrada y una salida rectangular, las bocas de entrada y salida que están definidas por la superficie superior de las ranuras transversales (110, 120) como se muestra en las Figuras de la 15 a la 17.

Los rebordes laterales (130, 140) aseguran que se pueda controlar la forma del menisco líquido en el plano que contiene el eje (105). Pueden ser físicos o químicos.

De acuerdo con una modalidad particular de la invención, la película de líquido tiene un espesor perfectamente plano o más fino en los bordes, de manera que el flujo tiene una mayor resistencia hidrodinámica en los bordes.

Esta solución también puede incluir:

- varios elementos para poder controlar el espesor del líquido;
- paredes aguas arriba y aguas abajo (150, 160) sobre las que se facilita el anclaje de la línea de contacto; y
- una plataforma de elevación central (100) para reducir el espesor de la película en la región de interacción.

Otra solución para alternar la naturaleza del fluido consiste en alternar un fluido que contiene partículas transferibles con un líquido inerte.

Otra solución implica una tubería de descarga de líquido que tenga al menos dos trayectos.

El funcionamiento es entonces el siguiente:

Etapa de inicialización 1: para crear un puente de líquido en el cabezal de impresión que une el punto de inyección y el punto de descarga, se implementa un proceso de control.

- 5 Una primera solución consiste en inyectar líquido de los cartuchos hacia el cabezal desde el punto de inyección y descarga.

Otra solución es inyectar líquido desde el cartucho hasta el cabezal solo desde el punto de inyección.

- 10 Otra solución es la de usar una textura que permita humedecer completamente la parte abierta del cabezal de impresión.

Etapa de automatización 2: una vez que se crea el puente de líquido, el espesor de la película se controla al retirar el líquido del punto de inyección o del punto de descarga.

- 15 Una primera modalidad establece un flujo continuo y controla el espesor de la película por lo que impone un caudal entre el punto de inyección y el punto de descarga.

- 20 Otra modalidad establece un flujo continuo y controla el espesor de la película por lo que impone una diferencia de presión entre el punto de inyección y el punto de descarga.

Otra modalidad opera en un modo no continuo:

- 25
 - inyección de un volumen impuesto desde el punto de inyección
 - luego ajuste del espesor deseado al retirar líquido del punto de inyección o del punto de descarga.

Esta operación se repite cíclicamente.

Para controlar mejor la película líquida en el cabezal de impresión, se pueden integrar sensores.

- 30 Una modalidad usa un sistema confocal para medir el espesor de la película. Otra modalidad usa un sistema de detección óptica en los tubos de inyección y descarga. Un perfeccionamiento ventajoso permite detectar el paso de burbujas, particularmente en el trayecto de descarga. Un perfeccionamiento ventajoso permite detectar concentraciones, particularmente en el trayecto de inyección.

35

REIVINDICACIONES

1. Aparato de impresión aditiva que comprende un medio de excitación energética direccionable para producir una interacción puntual con un fluido que cubre un portaobjetos (2), para provocar un chorro dirigido hacia un objetivo (11) (11), dicho fluido que consiste en un vector líquido que contiene heterogeneidades transferibles, **caracterizado porque**
 - dicho fluido forma una película líquida (4) que tiene un espesor de menos de 500 μm ,
 - en un portaobjetos (2) que tiene al menos una región (3) de interacción con el láser, región a la que conduce al menos una entrada (7), dicha región de interacción (3) que se conduce en al menos una salida (9),
 - el aparato que comprende además medios para hacer circular el fluido entre dicha entrada (7) y dicha salida (9).
2. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el espesor de dicha película (4) está entre 20 y 100 μm .
3. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el espesor de dicha película (4) está entre 3 y 10 veces el tamaño nominal de dichas partículas transferibles.
4. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la superficie de dicha región de interacción (3) es superior a 0,05 mm^2 .
5. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicha entrada (7) conduce a una parte lateral de dicha región de interacción (3).
6. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicha región de interacción (3) tiene una parte periférica que conduce lateralmente a dicha salida (9).
7. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicha entrada (7) y dicha salida (9) consisten en canales tubulares conectados a la región de conexión (3).
8. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios para hacer circular el fluido entre dicha entrada (7) y dicha salida (9) comprenden medios para controlar el caudal de inyección (o la presión positiva ejercida sobre el fluido) y el caudal de succión (o presión negativa ejercida sobre el fluido) para controlar el caudal del fluido en la región de interacción.
9. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque dichos medios para controlar el caudal de inyección y el caudal de succión dependen de la medida del espesor de la película (4), para controlar el espesor de la película (4) en la región de interacción (3).
10. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho aparato comprende una pluralidad de regiones de interacción, cada una de las cuales que comprende una entrada (7) y una salida (9).
11. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho medio de excitación energética consiste en un láser.
12. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque la región de interacción es transparente en la banda de longitud de onda del láser y en la banda de longitud de onda de formación de imágenes y no tiene una capa de sacrificio.
13. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque dicho fluido está cargado con un pigmento que es absorbente en la longitud de onda de emisión del láser.
14. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque dicho aparato comprende medios para formar imágenes de la región de interacción para controlar el láser de acuerdo con la densidad de las heterogeneidades.
15. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dichos medios de excitación energética consisten en un generador de ondas acústicas.
16. Aparato de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho portaobjetos (2) tiene una placa en forma de mesa (100), cuya superficie superior define la región (100) de interacción entre el fluido y un haz de excitación y/u observación, dicho portaobjetos (2) que tiene a cada lado de esta placa (100), una ranura transversal (110, 120), que comunica cada una de dichas ranuras (110, 120), por un orificio (111, 121), con un conducto particular (112, 122), que atraviesa verticalmente el portaobjetos (2) y conduce a la ranura correspondiente (110, 120).

- 5 17. Método de impresión aditiva que usa un aparato que comprende un medio de excitación energética direccionable para producir una interacción puntual con un fluido que cubre un portaobjetos (2), para provocar un chorro dirigido hacia un objetivo (11), dicho fluido que consiste en un vector líquido que contiene heterogeneidades transferibles, caracterizado por que dicho fluido forma una película líquida (4) que tiene un espesor inferior a 500 μm y que circula entre un conducto de entrada (7) y un conducto de salida (9) de un portaobjetos (2) que posee al menos una región de interacción con el láser, y al que conduce al menos una entrada (7).
- 10 18. Método de impresión aditiva de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque el nivel de energía por pulso es controlado por un ordenador de acuerdo con el resultado de la medición de las características del fluido presente en la región de interacción, dichas mediciones que incluyen la densidad de partículas, y/o la viscosidad, y/o el espesor de la película (4).

Figura 1

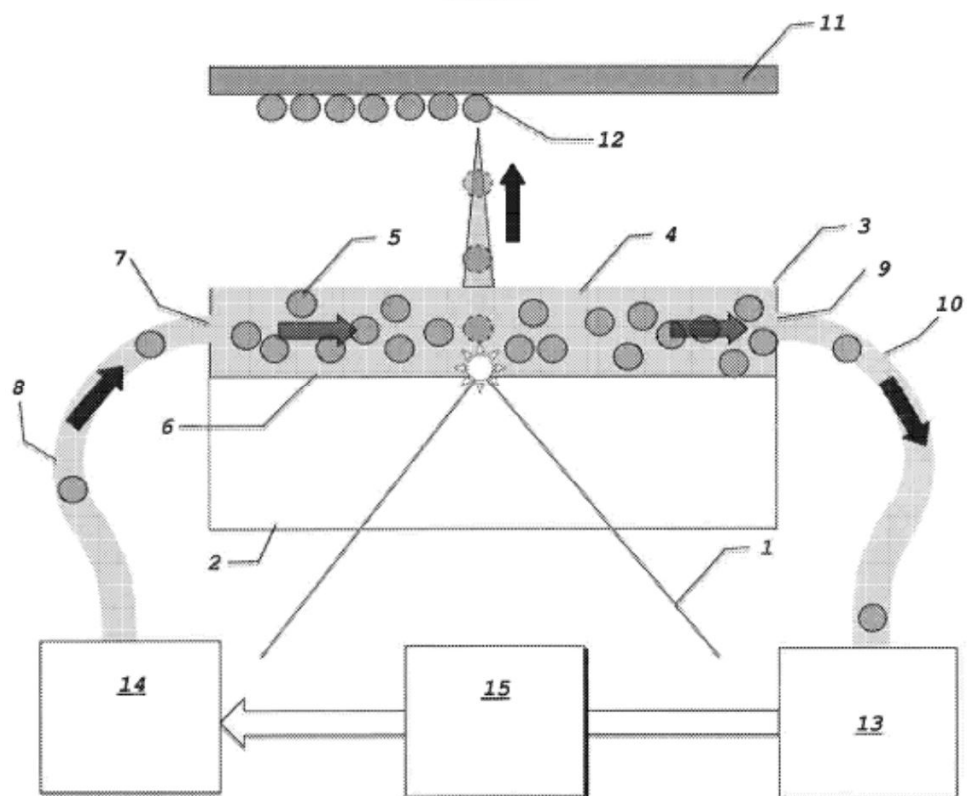


Figura 2

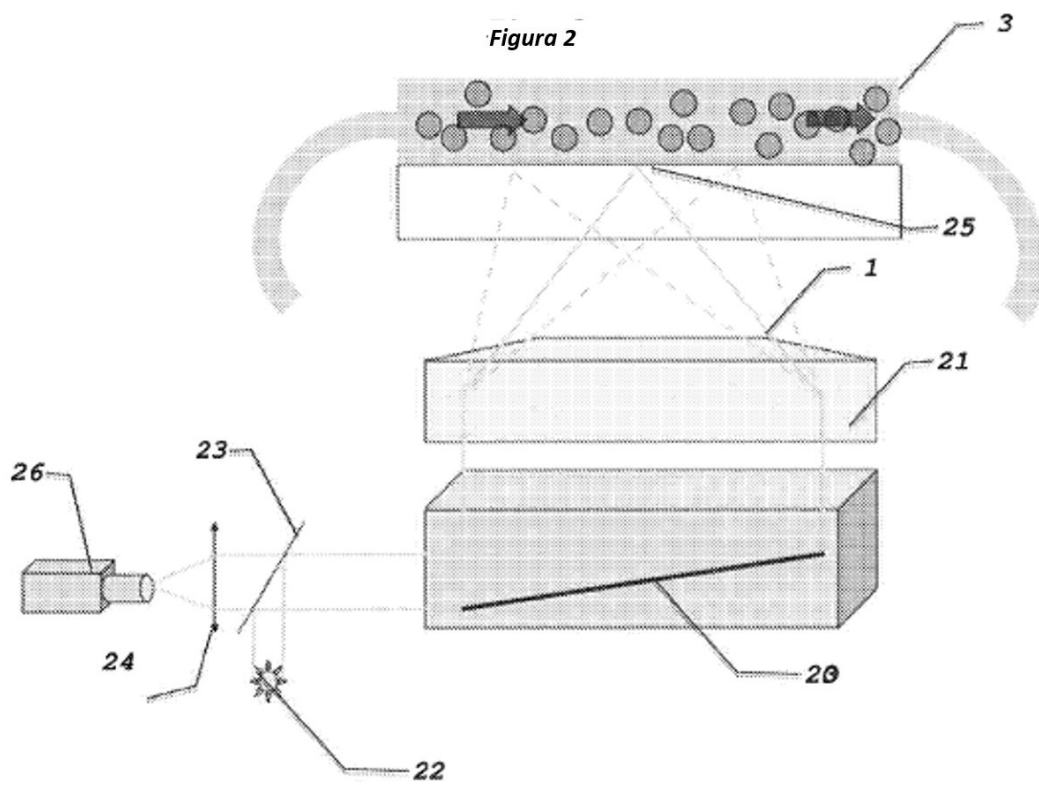


Figura 3

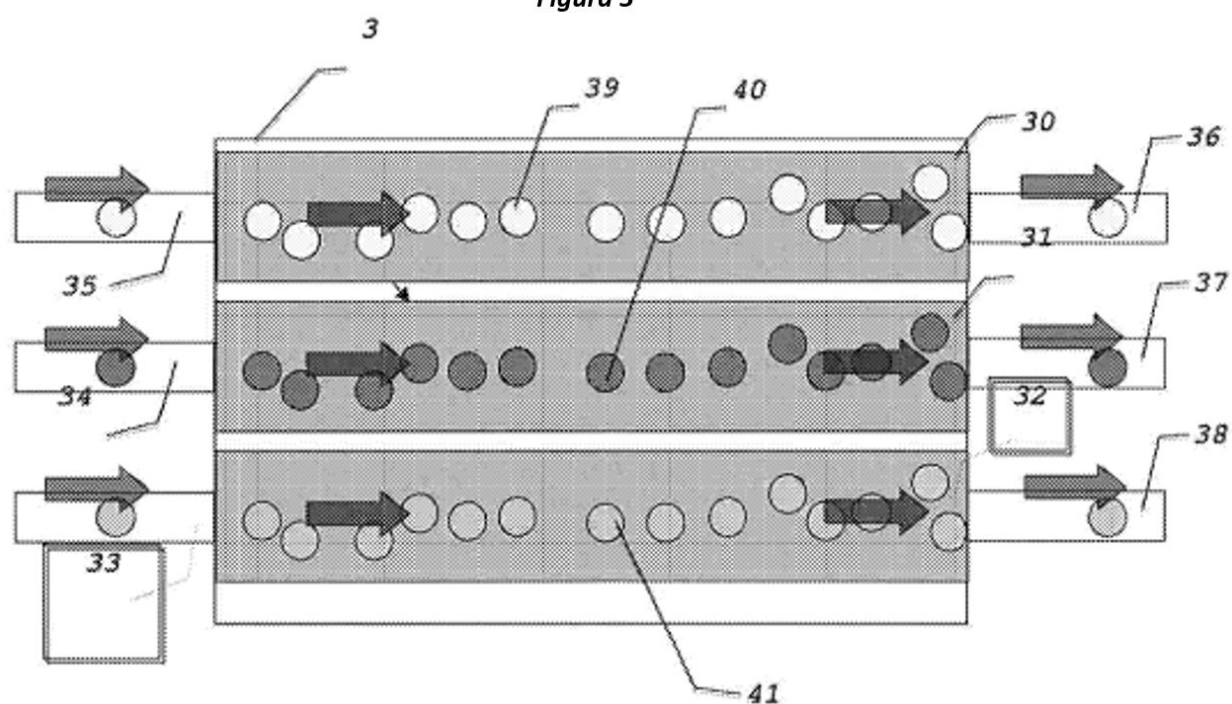
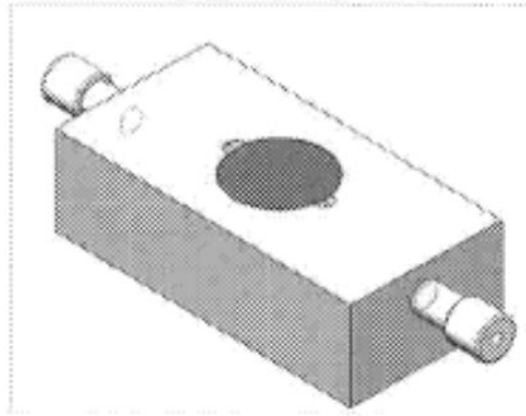
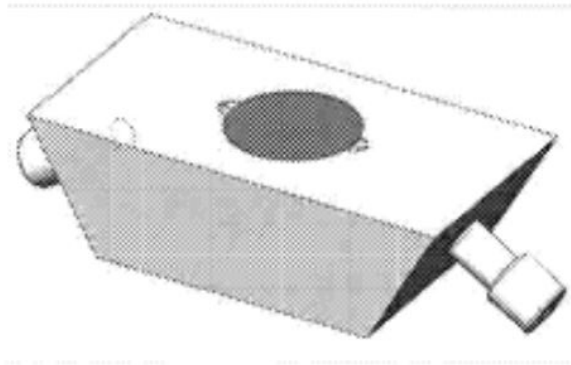


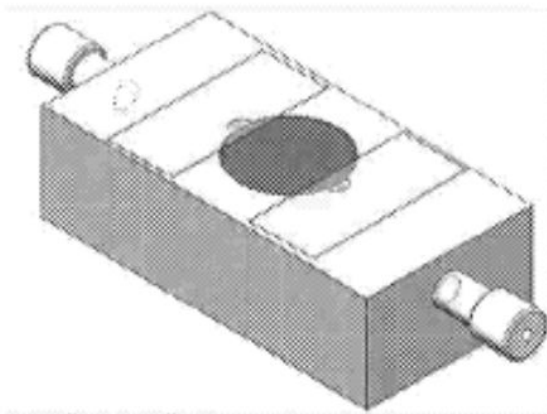
Figura 4



a

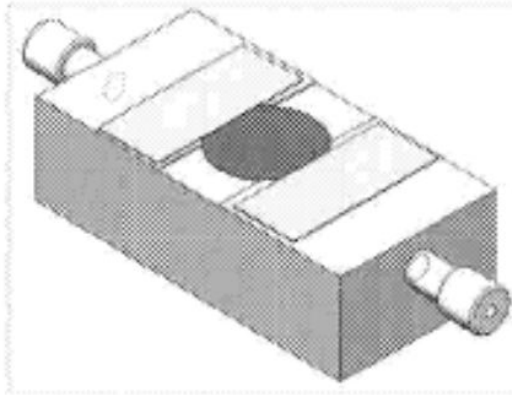


b

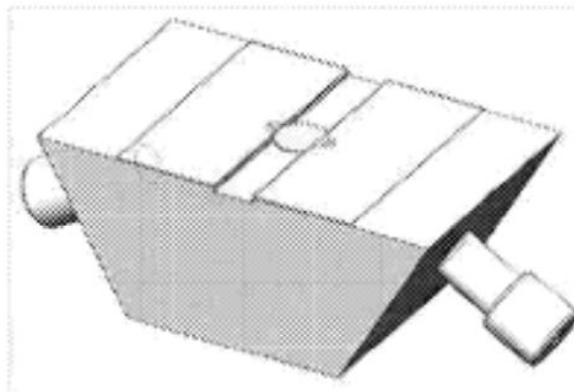


c

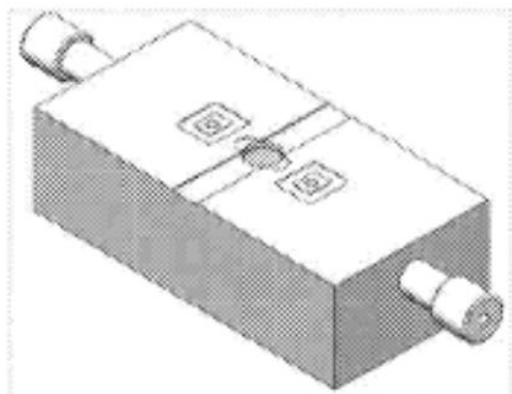
Figura 5



d



e



f

Figura 6

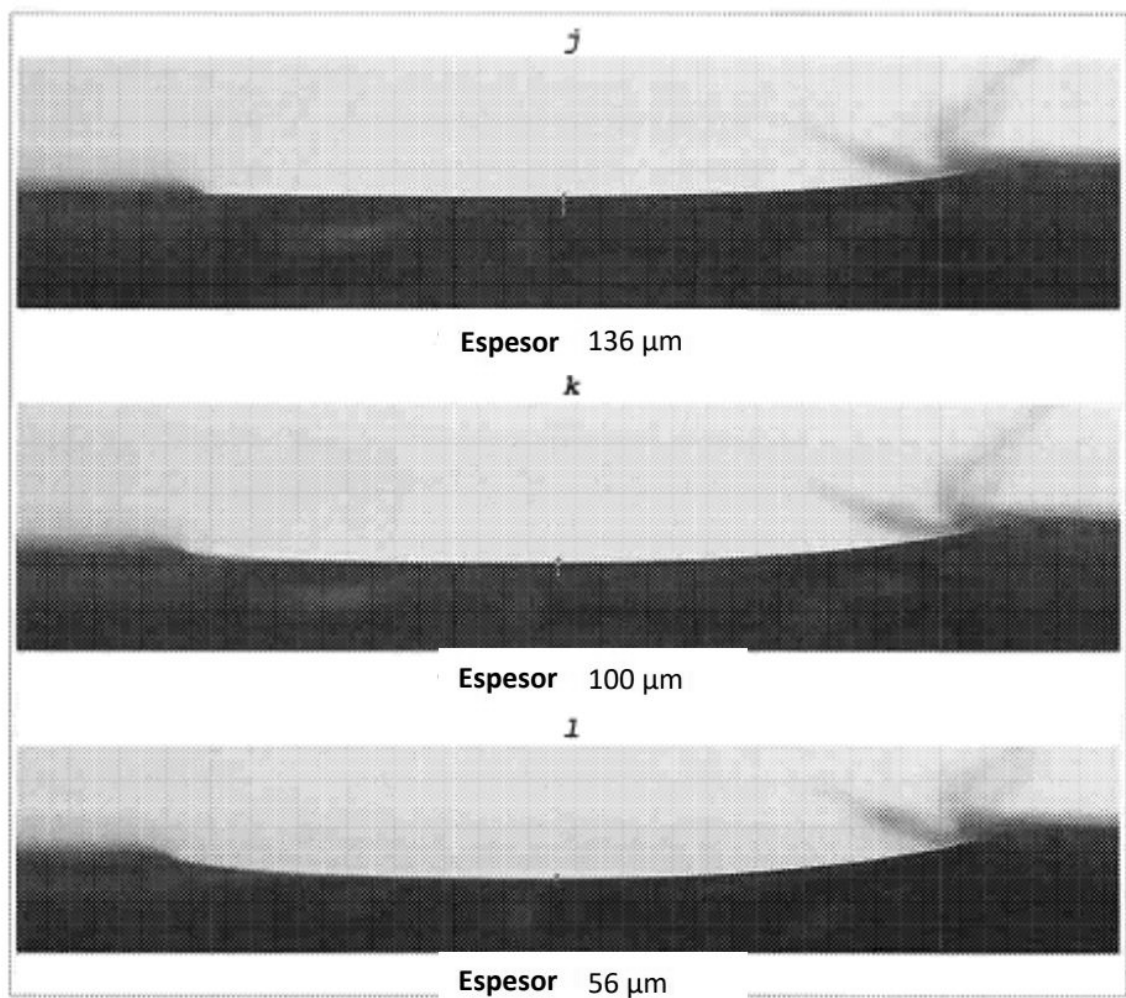
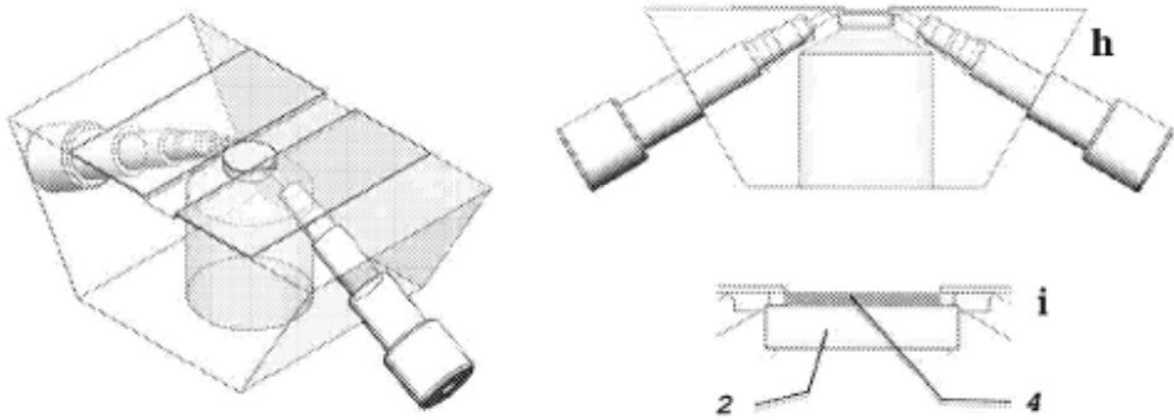
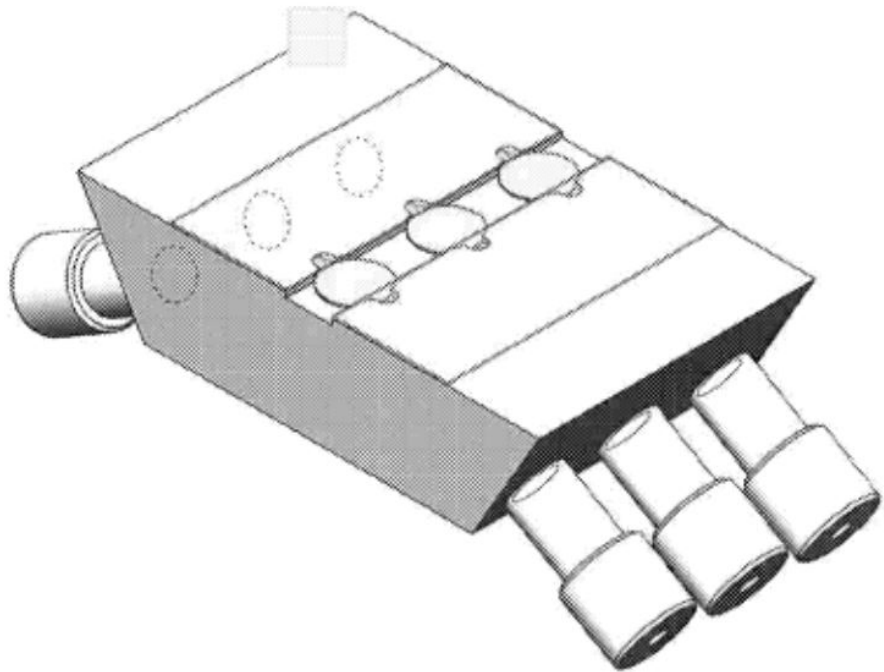


Figura 7

m



n

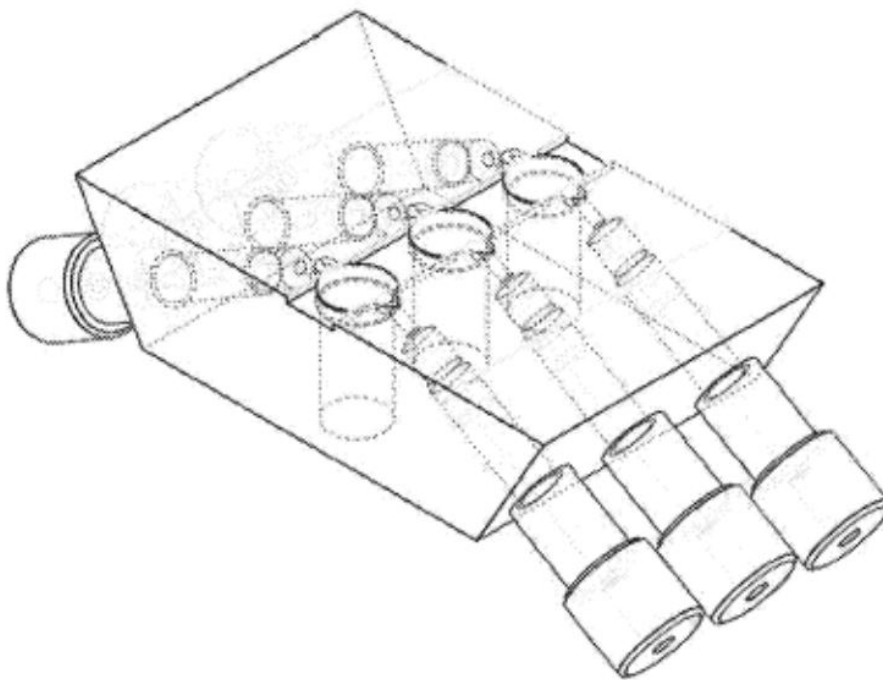


Figura 8

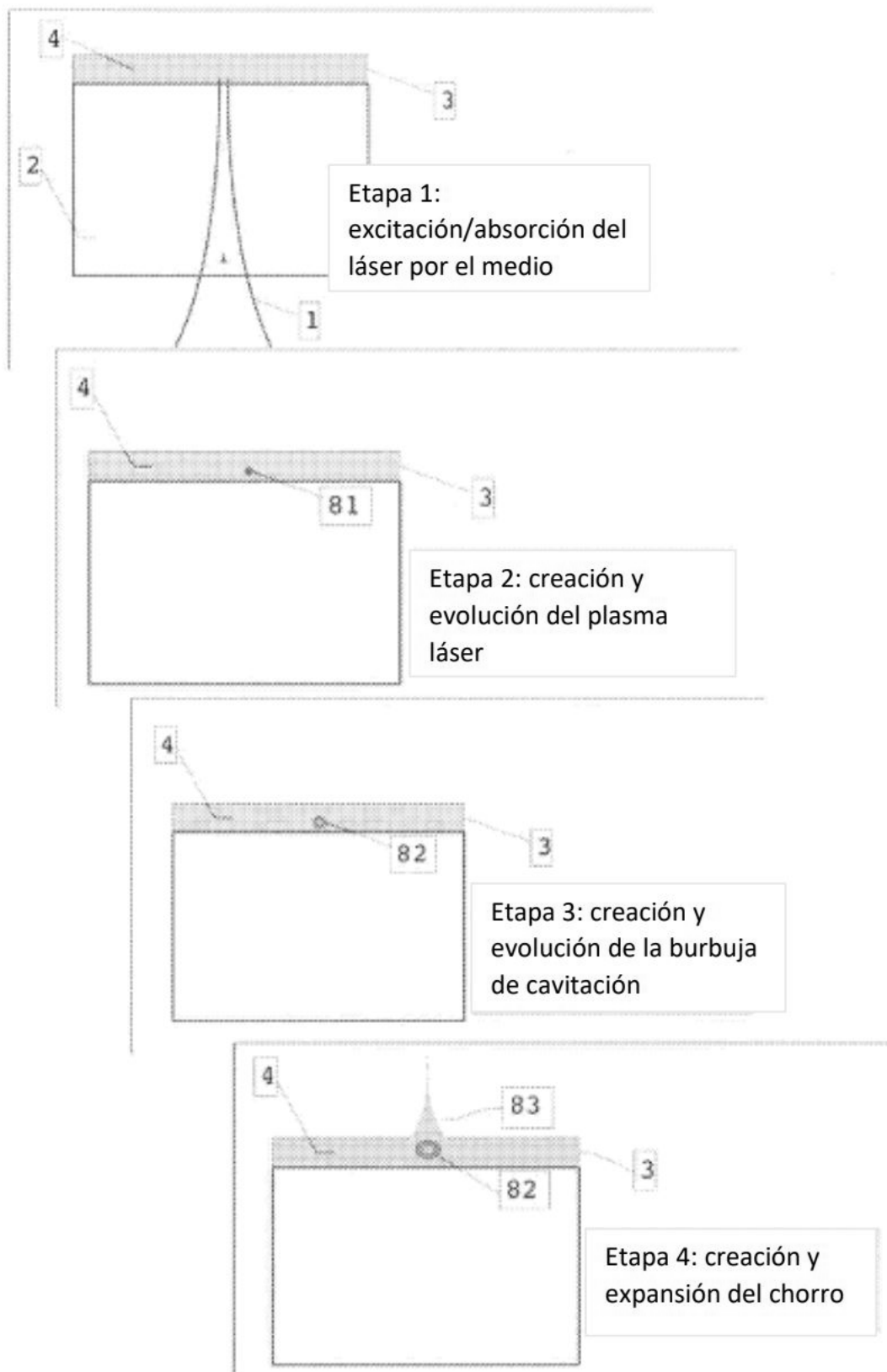


Figura 9

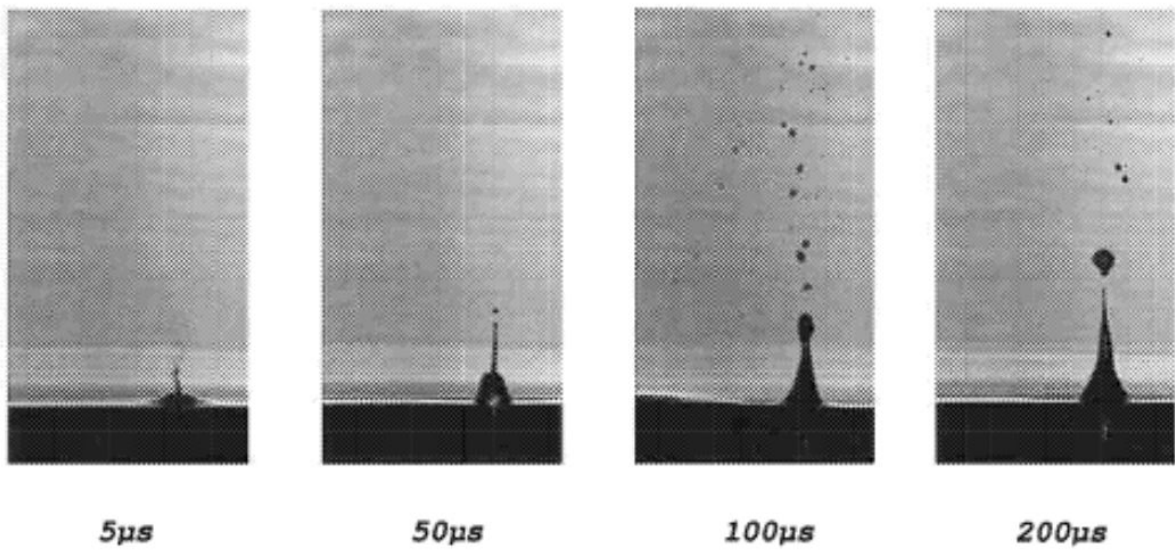


Figura 10

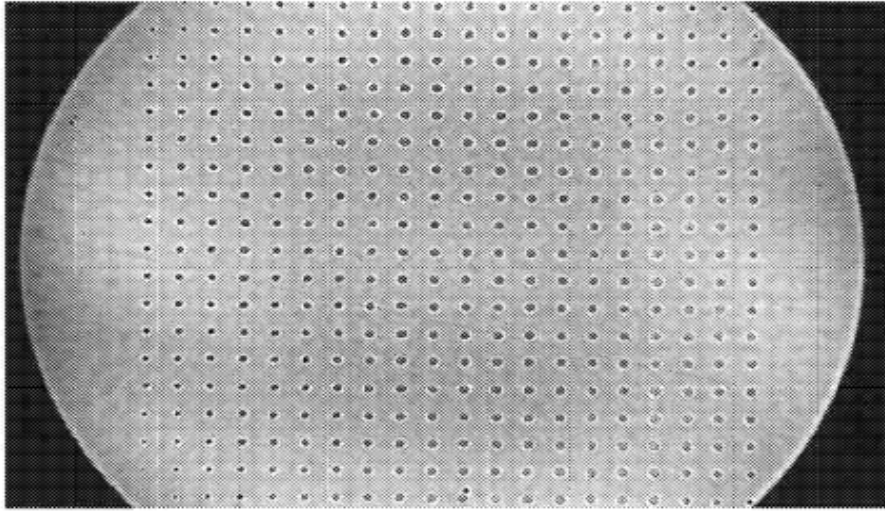


Figura 11

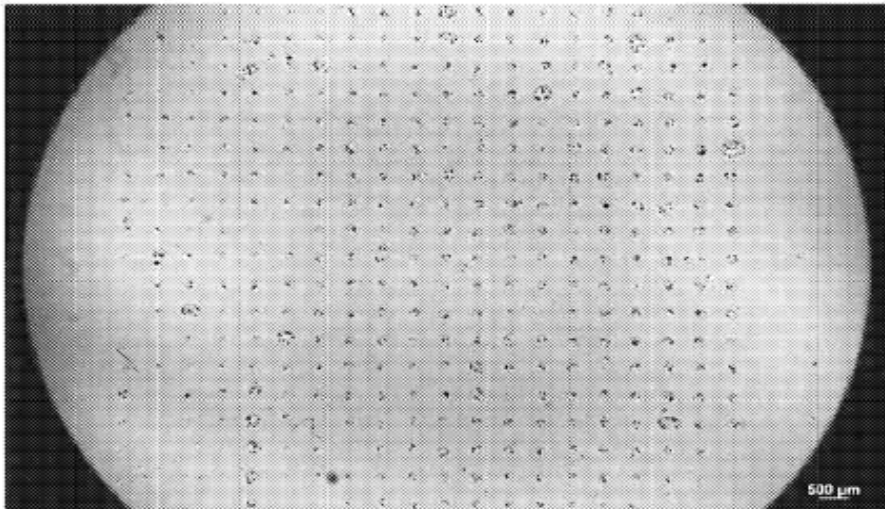


Figura 12

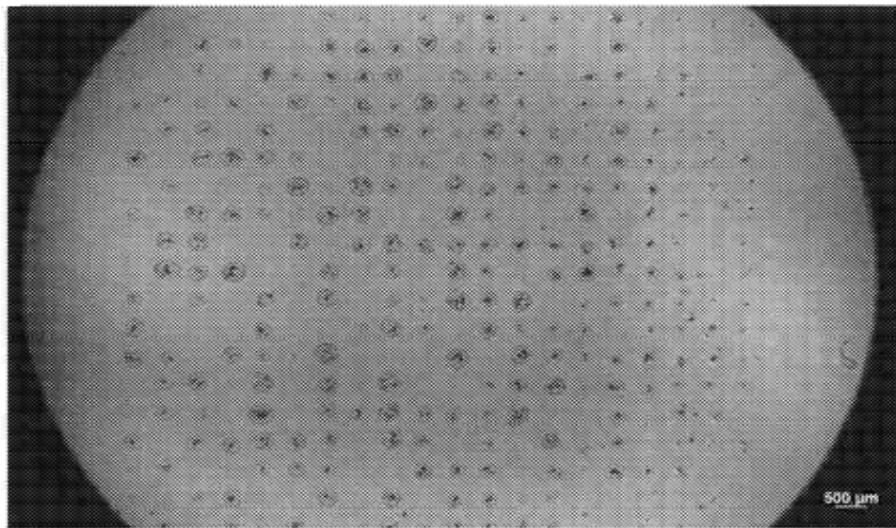


Figura 13

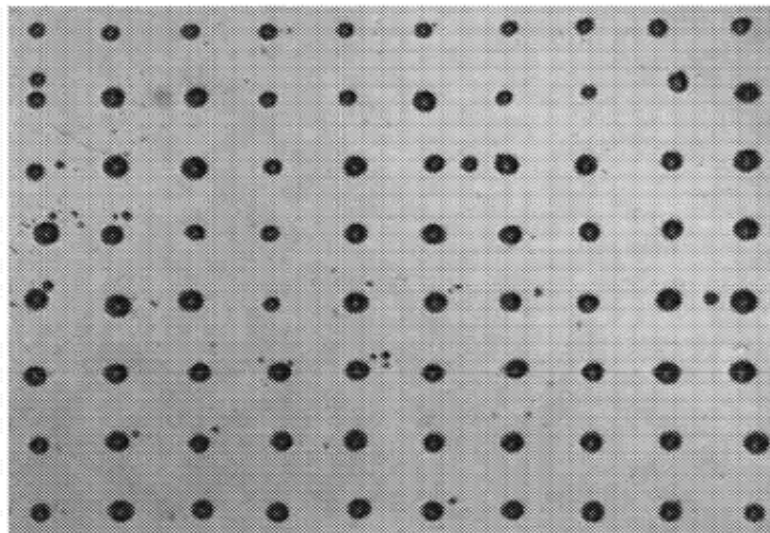


Figura 14

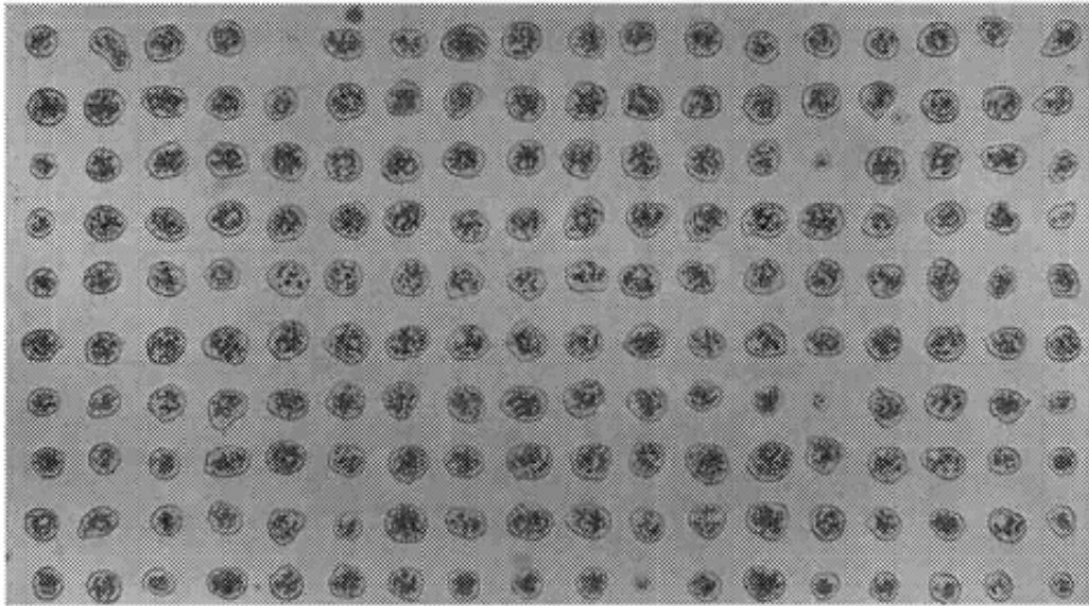


Figura 15

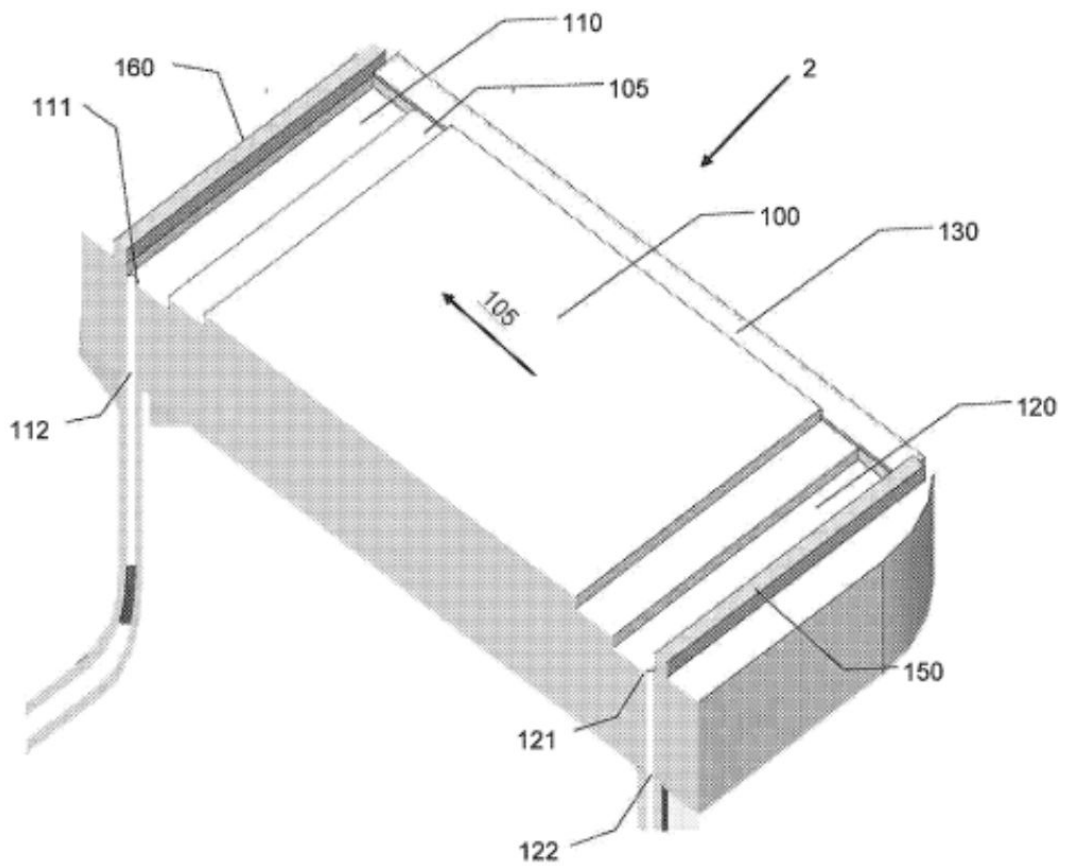


Figura 16

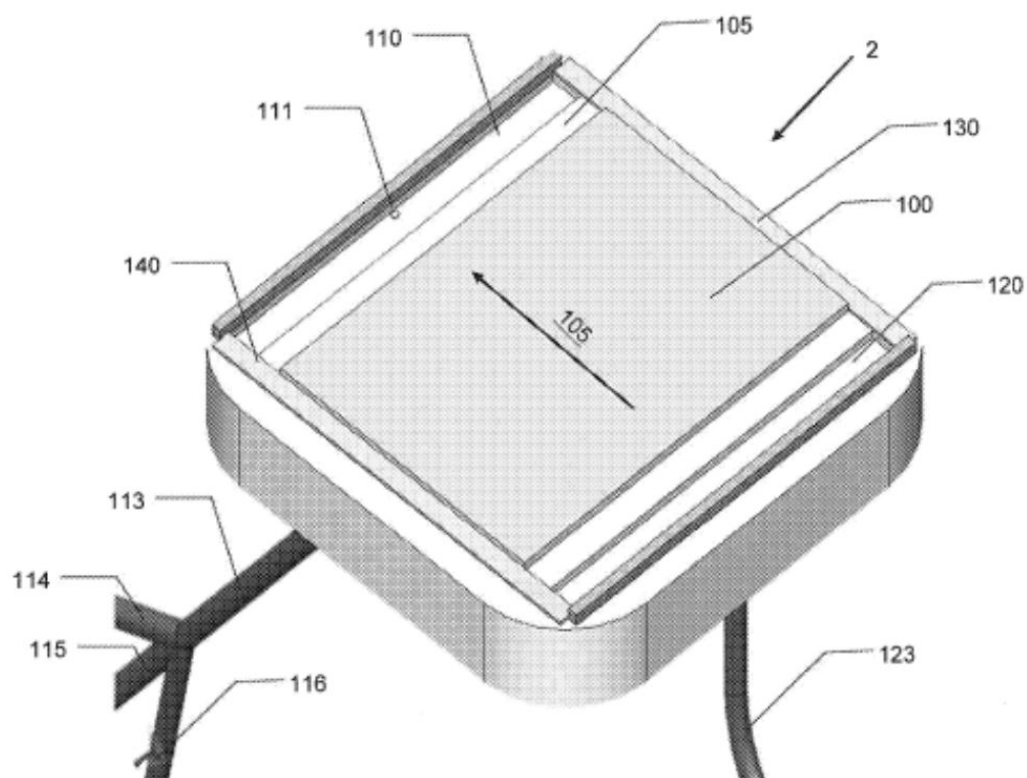


Figura 17

