



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 317 159**

51 Int. Cl.:

**G03F 7/00** (2006.01)

**B29C 39/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05110290 .3**

96 Fecha de presentación : **03.11.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1731962**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.12.2006**

54 Título: **Replicación de modelo con sello intermedio.**

30 Prioridad: **10.06.2005 EP 05105100**  
**10.06.2005 US 595154 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.04.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.04.2009**

73 Titular/es: **Obducat AB.**  
**P.O. Box 580**  
**20125 Malmö, SE**

72 Inventor/es: **Heidari, Babak;**  
**Löfstrand, Anette;**  
**Bolmsjö, Erik;**  
**Theander, Erik y**  
**Beck, Marc**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 317 159 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

Replicación de modelo con sello intermedio.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un proceso de transferencia de modelos para litografía de impresión, que involucra un proceso para transferir un modelo desde una plantilla que tiene una superficie estructurada, a una superficie objetivo de un sustrato. Más en concreto, la invención se refiere a un proceso en dos etapas en el que, mediante impresión, se forma una réplica del modelo de la plantilla, en o sobre una lámina de polímero flexible, para obtener un sello de polímero intermedio, donde a continuación se utiliza el sello de polímero en una etapa secundaria, para imprimir el modelo en una capa moldeable aplicada a la superficie objetivo del sustrato. En la etapa secundaria, el proceso de impresión hace uso de radiación para solidificar la capa moldeable, bajo presión y a una temperatura constante controlada.

15 **Antecedentes**

Una de las técnicas más potentes para reproducir nanoestructuras - es decir, estructuras del orden de 100 nm o menores - es la litografía por nanoimpresión (NIL, Nanoimprint lithography). En la litografía por nanoimpresión, se transfiere una copia invertida del modelo superficial de una plantilla - a menudo denominada sello - a un objeto que comprende un sustrato, y se aplica a este una película de una capa moldeable a menudo denominada capa protectora, por ejemplo de material polimérico. Después de calentar el objeto hasta una temperatura apropiada por encima de la temperatura de transición vítrea de la película de polímero, el sello es presionado hacia la película y a continuación es enfriado y liberado - lo que a menudo se denomina desmoldeo -, una vez que se ha transferido a la película la profundidad deseada del modelo. Alternativamente, el sustrato se cubre por medio de un material fotoprotector, es decir un polímero que es sensible a la radiación de modo que se reticula tras su exposición a radiación ultravioleta (UV), o un pre-polímero que es endurecido transformándose en un polímero tras su exposición a la radiación. Esto requiere que bien el sustrato o el sello, sean transparentes a la radiación aplicada. En un proceso llevado a cabo posteriormente tras la impresión conseguida, el objeto - que comprende el sustrato y la película de polímero modelada - puede ser post-procesado, por ejemplo mediante el grabado del sustrato dentro de las regiones impresas, para transferir el modelo a la superficie objetivo del sustrato.

El proceso de impresión descrito arriba presenta algunas dificultades, que es necesario tener en cuenta para conseguir una transferencia de modelo perfecta, de la plantilla a la capa moldeable que cubre el sustrato.

Si la plantilla y el sustrato no están fabricados del mismo material, y generalmente no lo están, típicamente tienen diferentes coeficientes de expansión térmica. Esto supone que durante el calentamiento y enfriamiento de la plantilla y el sustrato, la extensión de la expansión y la contracción será diferente. Incluso aunque el cambio dimensional sea pequeño, puede ser devastador en un proceso de impresión, puesto que las características del modelo a ser transferido son del orden de micras o incluso de nanómetros. Por lo tanto, el resultado puede ser una reducción de la fidelidad de replicación.

Muy frecuentemente se utiliza un material inflexible para el sustrato o el sello, y esto puede conducir a la inclusión de aire entre el sello y la capa moldeable, cuando el sello es presionado hacia el sustrato, lo que también degrada la fidelidad de la replicación. Además, la inclusión de partículas entre el sello y la capa moldeable durante un proceso de impresión, puede conducir a daños pronunciados ya sea del sello o del sustrato, especialmente cuando ni el sello ni el sustrato se componen de un material flexible. Los daños físicos sobre el sello, el sustrato o ambos, pueden también provocarse tras el desmoldeo de un sello inflexible desde un sustrato inflexible, y es difícil desmoldear un sustrato y una plantilla que incluye modelos con una elevada relación de aspecto, tras un proceso de impresión. Usualmente, una vez que un sello está dañado no es reciclable.

El documento JP 2002 086 463 revela un método para producir una lámina de lentes, que comprende la aplicación de una resina termorresistente a una matriz intermedia, sometida a la formación de plantillas desde una matriz.

El documento US 2003/0 071 016 revela moldes permanentes, métodos para fabricar tales moldes, y métodos para utilizar estos moldes en la transferencia de modelos estructurales sobre otras superficies.

El documento GB 637 105 revela un método de fabricación de bloques de impresión de copias a partir de un bloque de impresión original, en el una matriz es fabricada a partir de este bloque de impresión original, y a partir de esta matriz se produce múltiples bloques de impresión de copia.

El documento EP 0 813 255 revela elementos piezoeléctricos compuestos que tienen una estructura prevista, que se fabrican en función del proceso LIGA que incluye la exposición a rayos X de radiación sincrotrón, el desarrollo y la litografía. Con la intención de reducir los costes, la máscara de exposición a rayos X se compone de una tela metálica de alambre que tiene un modelo regular, y está fabricada por electro-moldeo.

El documento EP 1 465 175 revela una matriz utilizada durante la fabricación de un medio de información, tal como un disco óptico, que comprende un modelo desigual tal como ranuras y marcas, un método de fabricación de

## ES 2 317 159 T3

la matriz, una matriz intermedia con un modelo unido y formado durante la fabricación, y un medio de información fabricado por la matriz.

El documento EP 1 533 657 revela un método para proporcionar un modelo a nanoescala, sobre un sustrato.

El documento WO01/42 858 revela un dispositivo, relacionado con la litografía de estructuras a la escala de nanómetros.

### Resumen de la invención

Es un objetivo de la invención, proporcionar una solución para un proceso de impresión mejorado, con una alta fidelidad de replicación, y que sea de uso industrial sencillo y apropiado.

La invención, concebida para conseguir el objetivo indicado, se refiere a un método para transferir un modelo desde una plantilla que tiene una superficie estructurada, a una superficie objetivo de un sustrato, y comprende:

una etapa de impresión principal, que incluye

- crear un sello de polímero que tiene una superficie modelada, lo que comprende la etapa de presionar la superficie de plantilla estructurada, en una capa superficial de una primera lámina de polímero, para imprimir el inverso de un modelo en la capa superficial; y

una segunda etapa de impresión, que incluye

- disponer paralelos entre sí el sello de polímero y un sustrato, con la superficie modelada enfrentada a sustrato de la superficie objetivo, y con una capa intermedia de un material concebido para solidificar tras la exposición a radiación;
- calentar el sello de polímero y el sustrato hasta una temperatura  $T_p$ ; y

mientras se mantiene la mencionada temperatura  $T_p$ , llevar a cabo las etapas de:

- presionar el sello de polímero hacia el sustrato, para imprimir el modelo de la superficie modelada en la mencionada capa intermedia; y
- exponer la mencionada capa a radiación, para solidificar la capa intermedia, donde el mencionado material es amplificado de forma fotoquímica
- disponer la lámina de polímero y el sustrato, emparedados entre el elemento de tope y un primer lado de una membrana flexible, y donde
- la presión de la lámina de polímero hacia el sustrato, implica la aplicación de una sobrepresión a un medio presente sobre un segundo lado de la membrana.

En una realización, el método comprende además las etapas de:

- cocción posterior de la capa intermedia, manteniéndose la mencionada temperatura  $T_p$ .

En la realización, el método comprende además la etapa de:

- liberar el sustrato respecto del sello de polímero, mientras se mantiene la mencionada temperatura  $T_p$ .

En una realización, la etapa de liberar el sustrato respecto del sello de polímero, incluye la etapa de disolver el sello de polímero mientras permanece en contacto con la capa intermedia impresa sobre el sustrato.

En una realización, el mencionado material es un polímero termoplástico reticulable, que tiene una temperatura vítrea inicial  $T_g$ , y donde  $T_p$  excede a  $T_g$ .

En una realización, el mencionado material es un polímero termoplástico reticulable por UV, que tiene una temperatura vítrea  $T_g$ , donde la temperatura  $T_p$  excede la temperatura  $T_g$ , y donde la mencionada radiación es radiación UV.

En una realización, el método comprende:

- aplicar la mencionada capa intermedia sobre un sustrato, mediante el recubrimiento por rotación del mencionado material, antes de la etapa de disponer la mencionada lámina de polímero y el sustrato paralelos entre sí.

## ES 2 317 159 T3

En una realización, el mencionado material es un pre-polímero endurecible por UV, y en el que la mencionada radiación es radiación UV.

5 En una realización, el mencionado medio comprende un gas.

En una realización, el mencionado medio comprende aire.

En una realización, el mencionado medio comprende un líquido.

10 En una realización, el mencionado medio comprende un gel.

En una realización, el método comprende:

- 15
- emitir radiación a la mencionada capa intermedia a través de la lámina de polímero, lámina de polímero que es transparente a un rango de longitudes de onda de una radiación utilizable para solidificar el mencionado material; y
  - calentar el mencionado sustrato por contacto directo con el mencionado dispositivo calentador.

20 En una realización, el método comprende:

- emitir radiación a la mencionada capa intermedia a través de la mencionada membrana, membrana que es transparente a un rango de longitudes de onda de una radiación que puede utilizarse para solidificar el mencionado material.

25 En una realización, el método comprende:

- 30
- emitir radiación a la mencionada capa a través de la mencionada membrana, y a través de la pared transparente opuesta a la mencionada membrana, definiendo una pared posterior para una cavidad para el mencionado medio, pared posterior y membrana que son transparentes a un rango de longitudes de onda de una radiación utilizable para solidificar el mencionado material.

En una realización, la etapa de exponer la mencionada capa comprende:

- 35
- emitir radiación desde una fuente de radiación, dentro de un rango de longitudes de onda de 100-500 nm.

En una realización, el método comprende:

- 40
- emitir radiación pulsátil, con una duración de impulsos en el rango de 0,5-10  $\mu$ s y una frecuencia de impulsos en el rango de 1-10 impulsos por segundo.

En una realización, el método comprende:

- 45
- aplicar un vacío entre la mencionada plantilla y el mencionado sustrato, para extraer inclusiones de aire desde la mencionada capa superficial, antes de exponer la mencionada capa a radiación.

En una realización, la temperatura  $T_p$  está en el rango entre 20-250°C.

En una realización, la etapa de impresión principal comprende además

- 50
- solidificar la capa superficial de la primera lámina de polímero, donde la primera lámina de polímero es el sello de polímero y la capa superficial define la superficie modelada del sello de polímero.

En una realización, la etapa de impresión principal incluye además

- 55
- solidificar la capa superficial de la primera lámina de polímero;
  - presionar el modelo inverso de la primera capa de polímero en una capa superficial de una segunda capa de polímero, para imprimir una réplica del modelo de la superficie de plantilla, en la capa superficial de la segunda lámina de polímero; y
  - solidificar la capa superficial de la segunda lámina de polímero, donde la segunda lámina de polímero es el sello de polímero, y su capa superficial define la superficie modelada del sello de polímero.
- 60

65 En una realización, la primera lámina de polímero está fabricada de un material de copolímero o polímero termoplástico.

## ES 2 317 159 T3

En una realización, la segunda lámina de polímero está fabricada de un material de copolímero o polímero termo-plástico.

En una realización, la plantilla está fabricada de metal, cuarzo, polímero o silicio.

En una realización, mientras se mantiene la temperatura  $T_p$  el método comprende:

- liberar la presión; y

- liberar el sustrato que lleva la capa intermedia sobre la superficie objetivo, respecto del sello de polímero.

En una realización, en la que el modelo de la plantilla es transferido a una pluralidad de sustratos, el método comprende además:

- disponer el sello polímero después de la etapa de impresión secundaria;

- crear un nuevo sello de polímero, en una repetición de la primera etapa de impresión, utilizando mencionada plantilla; e

- imprimir una nueva superficie objetivo de sustrato, en una repetición de la segunda etapa de impresión, utilizando el nuevo sello de polímero.

En una realización, la primera lámina de polímero está fabricada de policarbonato, COC o PMMA.

En una realización, la etapa de impresión principal es un proceso de impresión térmica que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero masiva;

- calentar la lámina de polímero hasta una temperatura por encima de su temperatura de transición vítrea;

- presionar la superficie de plantilla estructurada, en una superficie de la lámina de polímero;

- enfriar la lámina de polímero; y

- separar la lámina de polímero modelada respecto de la plantilla.

En una realización, la etapa de impresión principal es un proceso de impresión asistido por radiación, que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero;

- proporcionar una capa superficial de pre-polímero sensible a la radiación, sobre una superficie de la lámina de polímero;

- presionar la superficie de plantilla estructurada, en la capa superficial,

- exponer la capa superficial a radiación a través de la lámina de polímero, para endurecer el pre-polímero; y

- separar la lámina de polímero modelada, respecto de la plantilla.

En una realización, la etapa de impresión principal incluye además

- proporcionar calor para la cocción posterior de la capa superficial, antes de separar la lámina de polímero modelada respecto de la plantilla.

En una realización, la etapa de impresión principal es un proceso de impresión asistido por radiación, que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero;

- proporcionar una capa superficial de polímero reticulable, sensible a la radiación, sobre una superficie de la lámina de polímero;

- calentar la lámina de polímero hasta una temperatura por encima de una temperatura de transición vítrea del polímero reticulable y, mientras se mantiene la mencionada temperatura, llevar a cabo las etapas de:

- presionar la plantilla hacia la capa superficial; y

- exponer la capa superficial a radiación, para el reticulado de la capa superficial.

## ES 2 317 159 T3

En una realización, la etapa de impresión principal incluye además:

- la cocción posterior de la capa superficial, mientras se mantiene la mencionada temperatura.

5 En una realización, el método comprende además la etapa de:

- separar la lámina de polímero modelada, respecto a la plantilla.

### Breve descripción de los dibujos

10 A continuación se describirá en mayor detalle realizaciones de la invención, con referencia a los dibujos anexos, en los cuales:

15 la figura 1 ilustra esquemáticamente el proceso en dos etapas, de fabricación de réplicas a partir de una plantilla en una superficie objetivo, de acuerdo con una realización de la invención;

la figura 2 muestra una imagen en modo repiqueteo AFM de un modelo lineal, impreso en SU8 mediante métodos acordes con una realización de la invención;

20 la figura 3 muestra una imagen en modo repiqueteo AFM, de un modelo de disco óptico BluRay, impreso en SU8 de acuerdo con una realización de la invención;

25 la figura 4 muestra imágenes SEM de un modelo de pilar que tiene dimensiones de micrómetros, con relaciones de aspecto elevadas, proporcionado mediante impresión de acuerdo con una realización de la invención;

las figuras 5-7 ilustran etapas de proceso de una realización de la invención;

30 la figura 8 ilustra esquemáticamente una realización de un aparato, para llevar a cabo el proceso que se describe en general en las figuras 1-3 o 5-7;

la figura 9 ilustra esquemáticamente el aparato de la figura 8, cuando está cargado con un sello de polímero y un sustrato, en una etapa inicial del proceso; y

35 la figura 10 ilustrada el aparato de las figuras 8 y 9, en una etapa activa del proceso de transferencia de un modelo desde la plantilla sustrato.

### Descripción detallada de realizaciones preferidas

40 La presente invención se refiere a lo que aquí se alude como un “proceso de impresión en dos etapas”. Este término debe entenderse como un proceso en el que, en una primera etapa, se forman mediante un proceso de impresión una o más réplicas de una plantilla que tiene una superficie modelada de un tamaño de nanómetros y/o micrómetros, en una o más láminas de polímero flexibles. La lámina de polímero impresa puede utilizarse como un sello de polímero en una segunda etapa. Alternativamente, la lámina de polímero impresa se utiliza como un sello para realizar otra impresión sobre otra lámina de polímero, que se utiliza a continuación en la segunda etapa. De esta forma, la primera etapa del proceso puede generar tanto réplicas de polímero negativas donde el modelo está invertido respecto de la plantilla original, como réplicas de polímero positivas, flexibles, en las que el modelo es similar al de la plantilla original. En la segunda etapa, una réplica así reproducida puede utilizarse como un sello de polímero flexible, para reproducir el modelo en una superficie objetivo, a través de un proceso de impresión llevado a cabo continuación, utilizando impresión térmica, impresión UV o ambas.

50 El término “proceso de nanoimpresión” o “proceso de impresión” tal y como aquí se utiliza, se refiere un proceso para la creación de una copia invertida de un modelo superficial con un nano-estructura y/o micro-estructura, de una plantilla o sello, mediante presionar el sello en una capa moldeable tal como un polímero o un pre-polímero, al objeto de formar la capa. La capa puede ser una película recubierta por separado, sobre una base de un sustrato, donde la base y la capa pueden ser de diferentes materiales. Alternativamente, la capa puede ser simplemente una parte de un solo objeto material, donde la capa se define como una porción que se estrecha desde la superficie del objeto, descendiendo a cierta profundidad del volumen del objeto. La capa moldeable puede calentarse por encima de su temperatura de transición vítrea  $T_g$ , a continuación enfriándose por debajo de la mencionada temperatura de transición vítrea durante el proceso de impresión (por ejemplo, estampado en caliente), y/o el polímero puede endurecerse o reticularse con la ayuda de una exposición a luz UV, durante o después del proceso de impresión. La superficie modelada de la plantilla, y de las capas impresas, puede tener estructuras sobre una escala de micrómetros o nanómetros, tanto en términos de profundidad como de anchura.

65 El término “lámina de polímero flexible” se refiere a una lámina flexible y dúctil, en la mayoría de los casos transparente, que comprende un polímero termoplástico, un polímero termo-endurecible y/o un polímero reticulable tras la exposición a radiación. Realizaciones preferidas de la lámina de polímero incluyen policarbonato, metacrilato de polietileno (PMMA, polymethyl methacrylate) y copolímero de cicloolefina (COC, cyclo-olefin copolymer).

## ES 2 317 159 T3

El término “fidelidad de replicación” se refiere a la creación de una copia invertida la estructura del sello, en la que se reproduce completamente la topografía invertida de la superficie del sello.

De acuerdo con la invención, se proporciona un proceso de impresión en dos etapas, donde en una primera etapa de este proceso en dos etapas, se forma réplicas de una plantilla que tiene una superficie modelada, mediante la impresión de láminas de polímero flexibles. En una segunda etapa, las réplicas se utilizan como sellos de polímero flexible para reproducir el modelo en una superficie objetivo, a través de un subsiguiente proceso de impresión. Al menos en la segunda etapa, se lleva a cabo impresión asistida por radiación a una temperatura constante controlada, de tal forma que se minimiza los efectos de expansión térmica.

Así, puede utilizarse de forma ventajosa una plantilla duradera y comparativamente inflexible, fabricada de un material tal como metal, cuarzo, silicio u otro material sustancialmente inflexible, para imprimir su modelo en una lámina de polímero flexible al objeto de crear el sello de polímero, y después el sello de polímero puede utilizarse de ventajosamente para imprimir una capa moldeable sobre la superficie objetivo del sustrato. Mediante la invención, la plantilla relativamente dura e inflexible se utiliza para imprimir en la lámina de polímero relativamente más blanda y más flexible, para crear un sello de polímero intermedio, donde continuación el sello de polímero blando y relativamente flexible se utiliza para imprimir la capa moldeable sobre el sustrato relativamente más duro y menos flexible, que puede ser por ejemplo de silicio. De ese modo, se evita una etapa de impresión entre dos materiales sustancialmente duros e inflexibles, tales como metal y silicio o cuarzo y silicio, con el resultado de que la plantilla sufre menos desgaste y resultan dañados menos sustratos.

Además, mediante el uso de una lámina de polímero como base para el sello intermedio, que es transparente en un rango de longitudes de onda utilizable para el reticulado o para solidificar de otras formas una capa moldeable sensible a la radiación, puede utilizarse selectivamente la impresión asistida por radiación, tanto para crear el sello de polímero como cuando se utiliza el sello de polímero para imprimir sobre el sustrato mientras que, tanto la plantilla como el sustrato, pueden proporcionarse a base de materiales que no son transparentes a la radiación de un rango de longitudes de onda utilizables.

La plantilla es un elemento de fabricación comparativamente caro y, como se ha mencionado, en general no es posible reparar o reciclar una plantilla una vez que esta se ha dañado. Sin embargo, el sello de polímero se fabrica fácilmente a partir de un material comparativamente barato, según el método acorde con la invención, y preferentemente se desecha después de ser utilizado un par de veces o incluso una sola vez. El sello de polímero puede desmoldearse o liberarse del sustrato, y después retirarse, o bien puede disolverse cuando sigue unido a la superficie objeto del sustrato, en un baño con una solución líquida apropiada, seleccionada para disolver el sello de polímero pero no el sustrato ni la capa moldeable solidificada sobre la superficie objetivo del sustrato.

Puesto que el sello de polímero creado se utiliza como una plantilla secundaria para la impresión sobre la superficie objetivo del sustrato, y generalmente el sustrato no es un material de polímero, típicamente los coeficientes de expansión térmica del sello de polímero y el sustrato sean diferentes. Para superar los mencionados inconvenientes resultantes de tal escenario, al menos la etapa de impresión secundaria en la que el sello de polímero es presionado en la capa moldeable sobre el sustrato, se lleva a cabo de acuerdo con un proceso de impresión combinado, asistido por radiación y calor. De acuerdo con este proceso, se utiliza un material sensible a la radiación como capa moldeable sobre el sustrato, y las etapas de presionar entre sí el sello de polímero y el sustrato, bañar la capa moldeable con radiación y cocer posteriormente la capa, y preferentemente también las etapas de liberar la presión y desmoldear el sello de polímero respecto del sustrato, se llevarán a cabo en una temperatura constante elevada, mantenida por medio de un dispositivo de control de temperatura. El dispositivo de control de temperatura, incluye típicamente un dispositivo calentador y un circuito de control para equilibrar el suministro de calor, al objeto de obtener y mantener una temperatura determinada, y posiblemente también un dispositivo de refrigeración.

Ahora se describirá la primera etapa o etapa principal del proceso de dos etapas, con referencia a las figuras 1a a 1f de los dibujos. El proceso de la etapa principal acorde con las dos realizaciones diferentes, se muestra esquemáticamente en la figura 1. El proceso en las figuras 1a a 1f, ilustra la creación de un sello de polímero intermedio utilizando impresión térmica. Sin embargo hay otras posibles técnicas para crear el sello de polímero, tal como se esbozará a continuación.

La figura 1a muestra una plantilla 1, compuesta por ejemplo de silicio, níquel u otro metal tal como aluminio, cuarzo, o incluso un material de polímero. La plantilla 1 tiene una superficie modelada 2 que comprende nervaduras, ranuras, salientes o rebajes, que tienen alturas y anchuras del orden de micrómetros o nanómetros. La plantilla 1 está colocada con la superficie 2 opuesta y en contacto con una superficie 4 de una lámina de polímero flexible 3, fabricada por ejemplo de polímero termoplástico, de polímero termo-endurecible y/o de polímero, que se puede reticular con la ayuda de una exposición a radiación. Ejemplos más concretos de materiales del lámina de polímero apropiados incluyen policarbonato, COC y PMMA. En una realización preferida, la superficie de plantilla 2 y la superficie 4 de la lámina de polímero 5, exhiben propiedades anti-adhesión de una contra la otra, debido a sus composiciones materiales o características de una capa anti-adhesión provista sobre la superficie de plantilla 2 y/o sobre la superficie del lámina de polímero 4.

Con la ayuda de un proceso de impresión apropiado como se ilustra en la figura 1b), se crea una inversión del modelo de la superficie de plantilla 2, en una capa superficial en la superficie 4 de la lámina de polímero flexible 3.

## ES 2 317 159 T3

Después de que la superficie de plantilla 2 se ha puesto en contacto con la superficie 4 de la lámina de polímero 3, la lámina de polímero se calienta hasta una temperatura por encima de la temperatura vítrea  $T_g$  del primero utilizado en la capa superficial de la lámina. La lámina de polímero puede ser masiva, en concreto teniendo más o menos la misma composición a través de toda la lámina de polímero, o puede tener una composición base de la lámina de polímero real, con una capa superficial aplicada en la superficie 4, de otra composición adaptada para impresión. Cuando la capa superficial ha alcanzado su temperatura de transición vítrea, se aplica presión para apretar entre sí la plantilla 1 y la lámina de polímero 3, de forma que el modelo de la superficie 2 es impreso en la capa superficial en la superficie 4 de la lámina de polímero 3. La presión puede conseguirse por medio de una técnica de presión suave, utilizando una presión del fluido o de gas proporcionada por medio de una membrana, tal como se explicará en mayor detalle con referencia a la etapa secundaria del proceso acorde con la invención. Alternativamente, puede utilizarse una técnica de presión dura, más convencional. Puesto que el sello de polímero creado en la etapa principal no es el producto final, el paralelismo no es un elemento crucial de la etapa principal, del modo en que sí lo es para la etapa secundaria.

Como se ha mencionado, la realización ilustrada hace uso de impresión térmica, y por lo tanto la lámina de polímero 3 se calienta antes de la aplicación de presión, para ablandar la capa superficial. A continuación se proporciona ejemplos específicos acordes con la anterior etapa térmica principal. Los métodos alternativos pueden incluir, alternativa o adicionalmente, la exposición a radiación aplicada a partes seleccionadas de la lámina de polímero. Si el material de la lámina de polímero va además a ser reticulado mediante exposición a radiación, bien el material de la plantilla 1 o el material de la lámina de polímero 3 deben ser transparentes a la radiación aplicada. Realizaciones alternativas incluyen una composición de pre-polímero endurecible térmicamente o por UV, en la capa superficial, en la superficie 4 de la lámina de polímero 3. En tal realización, no es necesario el calentamiento por encima de la temperatura de transición vítrea.

En un ejemplo de un proceso UV-NIL, se proporciona un pre-polímero endurecible por UV, en posiciones adecuadas a través de la superficie 2 de la plantilla 1, y a continuación se cubre con una lámina de policarbonato o PMMA, correspondiente a la lámina tres en la figura 1. Después, la lámina funciona como un sustrato transparente a UV en el segundo proceso de impresión. Gracias al hecho de que mediante la lámina se proporciona una base portadora, y que es extremadamente transparente a la radiación UV, el grosor de la capa superficial real provista por la capa de pre-polímero puede mantenerse a un nivel mínimo de solo unos pocos nanómetros. Esto es particularmente útil cuando se utiliza materiales de pre-polímero, que no pierden sus propiedades absorbentes de UV tras el endurecimiento, tal como PAK01 de Toyo Gosei, Japón. Otros pre-polímeros endurecibles por UV, son NIF-1, de Asahi Glass Corporation, Japón, si bien podía funcionar igual o mejor cualquier otro pre-polímero endurecible por UV. Un buen polímero-UV pierde sus propiedades absorbentes de UV tras el endurecimiento, para incrementar la transmisión de UV en la segunda etapa de impresión. Sin embargo, la combinación de pre-polímero y la lámina de polímero debería seleccionarse con cierto cuidado para evitar la disolución química de la lámina por el pre-polímero, pero teniendo una interacción lo suficientemente buena entre estos, para garantizar una buena adhesión mutua. Después de que la lámina de sustrato se coloca sobre la parte superior de las gotas de pre-polímero proporcionadas, con la inclusión de burbujas de aire, se sitúa una lámina de polímero transparente a UV sobre la lámina de polímero. A continuación, esta membrana es presurizada sobre el lado opuesto, con una presión comparativamente baja que oscila entre 1 y 20 barías, proporciona una presión de gas o líquido, y una radiación UV de una dosis adecuada expone y endurece el pre-polímero a través de la lámina de polímero y la membrana de polímero, endureciendo así el pre-polímero y ligándolo a la lámina de polímero. La presión se libera, seguida por la retirada de la membrana de impresión y el desmoldeado del sello de polímero así creado, respecto de la plantilla.

En un proceso de NIL térmico, el original se cubre con una lámina de polímero apropiada tal como Topas, de Ticona, EE.UU., o Zeonor, de Zeon Corp., Japón. Tras la colocación de la membrana de impresión en la parte superior de la lámina de polímero, el sándwich es absorbido por vacío y calentado. Cuando se alcanza la temperatura de impresión, la membrana es presurizada a entre 20 y 80 barías. Tras la transferencia del modelo a la película de polímero, el sándwich es enfriado por debajo de la temperatura de transición vítrea, y a continuación se lleva a cabo la retirada de la membrana de impresión y el desmoldeado del sello IPS respecto del original. Una buena lámina termoplástica necesita tener una ventana de proceso estrecha, en lo que respecta a la temperatura de impresión y la temperatura de liberación, así como una elevada resistencia mecánica de las estructuras de manómetro generadas, que tienen que servir como molde en el proceso subsiguiente. Un alto grado de transparencia a la radiación UV es extremadamente beneficioso.

En un ejemplo de combinación de calor y radiación, es necesario que sea transparente a UV la lámina de polímero, correspondiente al número 3 en la figura 1, a la que va a transferirse el modelo de plantilla. Un polímero reticulado por UV, por ejemplo un fotoprotector negativo tal como SU8 de MicroChem, EE. UU., es recubierto por rotación sobre la lámina de polímero. La plantilla 1 y lámina de polímero recubierta se reúnen y se cubren mediante una membrana de impresión sobre la lámina de polímero. Tras el calentamiento hasta la temperatura de impresión, esta se mantiene constante durante todo el resto del proceso de impresión, para eliminar efectos de expansión térmica. Entonces el sándwich es presurizado, y después de un flujo de tiempo típico, por ejemplo de 30 segundos, el polímero es reticulado por radiación UV, a lo que sigue una exposición a cocción posterior, por ejemplo de 30 segundos. No se requiere enfriamiento, y la presión puede ahora liberarse, y directamente a continuación retirarse de la membrana de impresión y desmoldearse. De nuevo, un buen fotoprotector negativo pierde sus propiedades absorbentes de UV tras la exposición.

## ES 2 317 159 T3

Dependiendo del proceso específico utilizado, es decir térmico, UV, o combinado térmico y UV a temperatura constante, la plantilla 1 y la lámina de polímero impresa 3 pueden separarse, bien tras el enfriamiento o sin enfriamiento de la lámina de polímero tras el proceso de impresión llevado a cabo, dependiendo del material escogido y de sus propiedades. Tras la liberación de la plantilla 1 respecto de la superficie de polímero 4, la lámina de polímero impresa 3 también denominada réplica, que se muestra en la figura 1c) con un modelo en su superficie 4 que está invertido o es negativo respecto del de la plantilla original 1, puede utilizarse como un sello de polímero flexible 5.

De acuerdo con la invención, el sello de polímero 5 se utiliza bien en la etapa secundaria para transferir el modelo de superficie 4 a un sustrato objetivo, o bien en una etapa principal adicional, para producir una segunda réplica invertida 9 en otra lámina de polímero flexible 6, de acuerdo con las figuras 1d) a 1f), en un proceso similar al que se ha descrito arriba. Un objetivo de utilizar otra etapa primaria, es asegurar que el modelo final a ser creado en el sustrato objetivo, es el inverso del modelo superficial de la plantilla. En tal realización, la temperatura de transición y la temperatura de impresión están por debajo de la temperatura del sello de polímero flexible 5. Además, la superficie de acoplamiento 4 y 7 de la lámina de polímero 6 y la estampa de polímero flexible 5, exhiben cada una propiedades anti-adhesión frente a la otra. Las propiedades anti-adhesión podrían estar presentes desde el comienzo debido a la naturaleza química de las láminas de polímero utilizadas, y/o ser implementadas mediante la deposición de capas anti-adhesión que comprenden agentes de liberación apropiados, sobre una o ambas superficies de polímero. Adicionalmente, si la lámina de polímero 6 fuera reticulada tras la exposición a radiación, al menos una de las láminas de polímero 5 y 6 debe ser transparentes a la radiación aplicada, o alternativamente transmitir la suficiente radiación para permitir una reticulación de la capa superficial de la lámina 6, o de toda la lámina 6 si esta es masiva.

La creación de un nuevo sello de polímero 8, que está invertido respecto del primer sello de polímero 5 y por lo tanto es sustancialmente idéntico a la plantilla 1, con respecto al modelo, incluye colocar el sello de polímero 5 con su superficie modelada 4 opuesta, y en contacto con, la superficie 7 de la segunda lámina de polímero 6. Como antes, la segunda lámina de polímero 6 puede ser masiva o tener una lámina portadora, a la que se aplica una capa superficial en la superficie 7. Para que se pueda imprimir el modelo de la superficie 4 en la capa superficial de la lámina 6, la lámina 6 se calienta por encima de la temperatura de transición vítrea de su capa superficial, si se utiliza un proceso de impresión térmica. Como se muestra la figura 1e), a continuación se aplica presión para presionar el primer sello de polímero 5 en la capa superficial de la lámina de polímero 6. Una vez realizada la impresión, el sello de polímero flexible 5 puede retirarse mecánicamente de la lámina de polímero 6, es decir fundamentalmente después del enfriamiento de la lámina de polímero, o alternativamente todo el sello 5 o bien partes de este, puede disolverse químicamente con la ayuda de uno o más disolventes adecuados, en un proceso apropiado. El resultado es un nuevo sello de polímero 8 con una superficie 7 que tiene un modelo correspondiente al de la plantilla original 1.

Las réplicas así producidas 5 u 8, que tienen modelos superficiales respectivamente invertidos o idénticos al del la plantilla original 1, se utilizarán como plantillas de polímero flexible en una etapa de impresión secundaria acorde con la invención, como se ilustra esquemáticamente en las figuras 1a) a 1i), respectivamente sobre el lado y el lado derecho. Aquí, la superficie 4 o 7 de uno de los sellos de polímero flexibles 5 o 8, será puesta en contacto con una superficie 16 de un objeto 12 que comprende un sustrato 13 que tiene una superficie objetivo 17 cubierta por una delgada capa superficial moldeable 14, de un material sensible a la radiación, por ejemplo un pre-polímero o un polímero reticulable con la ayuda de exposición a radiación. La superficie 4 o 7 del sello de polímero flexible 5 o 8, exhibe propiedades anti-adhesión frente a la superficie 16 de la capa moldeable 14, debido a las composiciones materiales de ambas superficies. Con la ayuda de una presión aplicada, que fuerza a unirse a una de las plantillas de polímero flexible 5 o 8 y el objeto 12, y de la exposición a radiación aplicada sobre partes seleccionadas de la película de polímero 14, se forma en la capa moldeable 14 una inversión del modelo de la superficie del sello de polímero, como se muestra la figura 1h). La lámina de polímero flexible 5 u 8 es transparente a la radiación aplicada, o bien muestra una absorción menor al objeto de transmitir una cantidad suficiente de radiación necesaria para el endurecimiento o la reticulación del material de la capa superficial 14 tras la exposición a radiación. Tras realizarse la impresión y la cocción posterior como se muestra en la figura 1h), el sello de polímero flexible 5 u 8 puede retirarse mecánicamente del sustrato 13, o alternativamente todo el sello de polímero 5 u 8 o partes de este, puede o pueden disolverse químicamente con la ayuda de uno o más disolventes adecuados, en un proceso apropiado.

La figura 1i) muestra al objeto impreso 12 resultante, tras liberar el sello de polímero flexible 5 u 8. Para fijar permanentemente al sustrato al modelo transferido, típicamente se utiliza etapas adicionales de procesamiento al objeto de retirar las partes más finas de la película restante 14, para exponer la superficie objetivo 17 del sustrato y a continuación grabar la superficie objetivo o bien metalizarla con otro material. Los detalles concretos de este procesamiento adicional, no son importantes para la comprensión de la invención.

La figura 1 es una representación relativamente simple del proceso acorde con la invención. La etapa principal, descrita sobre una línea a trazos, puede llevarse a cabo utilizando impresión térmica directamente en la lámina de polímero masiva, o impresión asistida por UV utilizando una capa superficial de pre-polímero sobre la lámina de polímero, o radiación UV simultánea a una temperatura elevada controlada, utilizando una capa superficial de polímero reticulable por UV, sobre la lámina de polímero. Si se utiliza impresión térmica en las etapas 1a) a 1c), habrá típicamente una diferencia en la expansión térmica entre la plantilla 1, que por ejemplo puede ser níquel, y la lámina de polímero 3. Sin embargo, la elasticidad y flexibilidad de la lámina polímero 3, que además tiene un grosor que es sustancialmente mayor que la altura de las estructuras del modelo, garantizan que la lámina de polímero se estrecha y se contrae mediante la expansión térmica impuesta sobre la plantilla 1, sin dañar las características de modelo de la superficie 4 de la lámina. El grosor de la lámina de polímero está típicamente en el rango de 50-500  $\mu\text{m}$ , mientras que

## ES 2 317 159 T3

la altura o profundidad de las estructuras del modelo están en el rango de 5 nm a 20  $\mu\text{m}$ , como se muestra mediante los siguientes ejemplos. En todo caso, son posibles otros tamaños.

5 No obstante, la segunda etapa descrita por debajo de la línea a trazos en la figura 1, preferentemente se lleva a cabo utilizando calor y radiación combinados. La razón para esto es que, cuando va a llevarse a cabo la impresión sobre el sustrato, la capa superficial restante o residual sobre la superficie objetivo del sustrato, en general es extremadamente delgada, del orden de unos pocos nanómetros. Por lo tanto, calentar y enfriar un par intercalado de sello y polímero, que tienen diferentes expansiones térmicas, será a menudo demoledor para las estructuras finas, que tienden a ser arrancadas por completo. Sin embargo, gracias al proceso acorde con la invención, donde todas las etapas de presión, radiación y cocción posterior se llevan a cabo a una temperatura constante controlada, se eliminan los efectos de expansión térmica.

15 Las figuras 5-7 presentan esquemáticamente las etapas básicas del proceso, de las etapas reales de transferencia de modelo, o etapas de impresión, en la etapa secundaria de una realización de la invención. Estos dibujos corresponden a las figuras 1g) a 1h), ya sea del ejemplo del lado izquierdo o del ejemplo del lado derecho, pero en mayor detalle.

20 En la figura 5 se ilustra un sello de polímero 10, que por consiguiente puede corresponder a cualquier serie de polímero 5 u 8 en la figura 1. El sello de polímero 10 tiene una superficie estructurada 11, correspondiente a la superficie 4 o 7, con un modelo predeterminado a ser transferido, en el que hay formados salientes y rebajes tridimensionales con un tamaño característico de altura y anchura, dentro de un rango de 1 nm a varios  $\mu\text{m}$ , y potencialmente tanto menor como mayor. El grosor del sello de polímero 10 está típicamente entre 10 y 1000  $\mu\text{m}$ . Un sustrato 12 tiene una superficie objetivo 17 que está en disposición sustancialmente paralela a la superficie del sello de polímero 11, con una separación intermedia entre las superficies en la etapa inicial mostrada en la figura 5. El sustrato 12 comprende una base de sustrato 13, a la que va a ser transferido el modelo de la superficie 11 del sello de polímero. Aunque no se muestra, el sustrato puede también incluir una capa de soporte por debajo de la base de sustrato 13. En un proceso en el que el modelo del sello de polímero 10 va a ser transferido el sustrato 12, directamente a través de una impresión un material de polímero, el mencionado material puede ser aplicado como una capa superficial 14 directamente sobre la superficie objetivo 17 del sustrato. En realizaciones alternativas, indicadas por la línea a trazos, se utiliza también una capa de transferencia 15, por ejemplo de un segundo material de polímero. En el documento US 6 334 960 se describe ejemplos de tales capas de transferencia, y de como estas se utilizan en los procesos subsiguientes de transferir el modelo impreso a la base de sustrato 13. En una realización que incluye una capa de transferencia 15, la superficie objetivo 17 denota la superficie superior o exterior de la capa de transferencia 15, que a su vez está dispuesta sobre la superficie 18 de base del sustrato.

35 El sustrato 12 está posicionado sobre un dispositivo calentador 20. El dispositivo calentador 20 comprende preferentemente un cuerpo calentador 21 de metal, por ejemplo de aluminio. Un elemento calentador 22 está conectado al cuerpo del calentador 21 o incluido en este, para transferir energía térmica al cuerpo del calentador 21. En una realización, el elemento calentador 22 es un calentador de inmersión eléctrica, insertado en un casquillo en el cuerpo calentador 21. En otra realización, se proporciona una bobina de calentamiento eléctrico dentro del cuerpo calentador 21, o bien unida a una superficie inferior del cuerpo calentador 21. En otra realización más, el elemento calentador 22 es un canal formado en el cuerpo calentador 21, para el paso de fluido calentador a través del mencionado canal. El elemento calentador 22 está además provisto con conectores 23, para la conexión a una fuente de energía externa (no mostrada). En el caso de calentamiento eléctrico, los conectores 23 son preferentemente contactos galvánicos para la conexión a una fuente de corriente. Para una realización con canales formados para el paso de fluido calentador, los mencionados conectores 23 son preferentemente conductos para la unión a una fuente de fluido caliente. El fluido calentador puede ser agua o un aceite, por ejemplo. Otra opción más es utilizar un calentador por radiación IR como elemento calentador 22, concebido para emitir radiación infrarroja sobre el cuerpo calentador 21. Además, se incluye un controlador de temperatura en el dispositivo calentador 20 (no mostrado), que comprende medios para calentar el elemento calentador 22 hasta una temperatura seleccionada, y mantener tal temperatura dentro de cierta tolerancia de temperaturas. En la tecnología se conoce diferentes tipos de controladores de temperatura, y por tanto no se discuten en mayor detalle.

55 El cuerpo calentador 21 es preferentemente una pieza de metal decorada, tal como aluminio, acero inoxidable u otro metal. Además, preferentemente se utiliza un cuerpo 21 de cierta masa y grosor, de tal forma que se consigue una distribución homogénea de calor en un lado superior del dispositivo calentador 20, lado superior que está conectado a un sustrato 12 para transferir calor desde el cuerpo 21 a través del sustrato 12, hasta la capa calentadora 14. Para un proceso de impresión utilizado para imprimir sustratos de 2,5", se utiliza un cuerpo calentador 21 de al menos 2,5" de diámetro, y preferentemente de 3" o más, con un grosor de al menos 1 cm y preferentemente de al menos 2 o 3 cm. Para un proceso de impresión utilizado para imprimir sustratos de 6", se utiliza un cuerpo calentador 21 de al menos 6" de diámetro, y preferentemente 7" o más, con un grosor de al menos 2 cm, y preferentemente de al menos 3 o 4 cm. El dispositivo calentador 20 es preferentemente capaz de calentar el cuerpo calentador 21 hasta una temperatura de 200-300°C, aunque para la mayoría de los procesos serán suficientes temperaturas menores.

65 Con el propósito de proporcionar un enfriamiento controlador de la capa 14, el dispositivo calentador 20 puede además estar provisto con un elemento enfriador 24 conectado al cuerpo calentador 21 o incluido en este, para transferir energía térmica desde el cuerpo calentador 21. En una realización preferida, el elemento enfriador 24 comprende uno o varios canales formados en el cuerpo calentador 21, para pasar un fluido enfriador a través del mencionado canal o canales. El elemento enfriador 24 está provisto además con conectores 25, para su conexión a una fuente de

## ES 2 317 159 T3

enfriamiento externa (no mostrada). Preferentemente, los mencionados conectores 25 son conductos para su unión a una fuente de fluido refrigerante. El mencionado fluido refrigerante es preferentemente agua, pero alternativamente puede ser un aceite, por ejemplo un aceite aislante.

5 Una realización preferida de la invención, hace uso de un material en solución de polímero termoplástico reticulable por radiación, para la capa 14, que preferentemente puede recubrirse por rotación. Estas soluciones de polímero pueden además estar amplificadas de forma fotoquímica. Un ejemplo de un material semejante es mr-L6000.1 XP, de Micro Resist Technology, reticulable por UV. Otros ejemplos de tales materiales reticulables por radiación, son materiales fotoprotectores negativos, como Shipley ma-N 1400, SC100, y MicroChem SU-8. Un material que puede recubrirse  
10 por rotación es ventajoso, puesto que permite el recubrimiento completo y preciso de un sustrato entero.

Otra realización hace uso, para la capa 14, de un material pre-polímero líquido o casi líquido que puede ser polimerizado por radiación. Ejemplos de materiales polimerizables, disponibles y utilizables para la capa 14, comprenden NIP-K17, NIP-K22, y NIP-K28 de ZEN Photonics, 104-11 Moonj i-Dong, Yusong-Gu, Daejeon 305-308, Corea del  
15 Sur. NIP-K17 tiene un componente principal de acrilato, y una viscosidad a 25°C de unos 9,63 cps. NIP-K22 también tiene un componente principal de acrilato, y una viscosidad a 25°C de unos 5,85 cps. Estas sustancias están concebidas para endurecer bajo la exposición a radiación ultravioleta, por encima de 12 mW/cm<sup>2</sup> durante 2 minutos. Otro ejemplo de un material polimerizable, disponible y utilizable para la capa 14, es Ormocore, de Micro Resist Technology GmbH, Koepenicker Strasse 325, Haus 211, D-12555 Berlin, Alemania. Esta sustancia tiene una composición  
20 de polímero híbrido inorgánico-orgánico, no saturado, con un iniciador de fotopolimerización al 1-3%. La viscosidad de 3-8 mPas a 25°C es muy elevada, y el fluido puede endurecerse bajo exposición a radiación con 500 mJ/cm<sup>2</sup> a una longitud de onda de 365 nm. En el documento US 6 334 960 se menciona otros materiales utilizables.

Algo común para todos estos materiales y para cualesquiera otros materiales utilizables para la realización de la  
25 invención, es que son moldeables y tienen la capacidad de solidificar cuando se exponen a radiación, en particular a radiación UV, por ejemplo mediante el reticulado de materiales de solución de polímeros, o el endurecimiento de pre-polímeros.

El grosor de la capa 14 cuando se deposita sobre la superficie del sustrato, es típicamente 10 nm - 10 μm, de-  
30 pendiendo del área de aplicación. El material que puede ser endurecido o reticulado, se aplica preferentemente en forma líquida sobre el sustrato 12, preferentemente mediante revestimiento por rotación, u opcionalmente mediante revestimiento por rodillo, revestimiento por inmersión o similar. Una ventaja de la presente invención, en comparación con los métodos "step and flash" (nombre comercial) de la tecnología previa, típicamente cuando utilizan un material polímero reticulable, es que el material polímero puede recubrirse por rotación sobre todo el sustrato, lo que supone  
35 un proceso rápido y ventajoso que ofrece una excelente regularidad de capa. Los materiales reticulables como son los mencionados, son típicamente sólidos a temperatura ambiente normal, y convenientemente puede utilizarse un sustrato que ha sido pre-recubierto a una temperatura elevada. Por otra parte, el método "step and flash" tiene que usar administración repetida sobre partes superficiales repetidas, puesto que tal método es incapaz de manipular superficies grandes en etapas simples. Esto hace que tanto el proceso "step and flash" como la maquinaria para llevar a cabo  
40 semejante proceso completo, consumen mucho tiempo en términos de duración del ciclo, y que sea difícil de controlar.

De acuerdo con la invención, las etapas de proceso consistentes en imprimir, solidificar el material de capa impreso por radiación, y cocer posteriormente material, se llevan a cabo a temperatura constante.

45 Las flechas de la figura 5 ilustran que la superficie 11 serie de polímero es presionada sobre la superficie 16 de la capa 14 de material moldeable. En esta etapa, el dispositivo calentador 20 se utiliza preferentemente para controlar la temperatura de la capa 14, al objeto de obtener una fluidez apropiada en el material de la capa 14. Por lo tanto, para un material de la capa 14 reticulable, el dispositivo calentador 20 está controlado para calentar la capa 14 hasta una temperatura  $T_p$  que excede la temperatura vítrea  $T_g$  del material de la capa 14. En este contexto,  $T_p$  significa tempe-  
50 ratura de proceso o temperatura de impresión, e indica que es un nivel de temperatura común para las etapas de los procesos de impresión, exposición, y cocción posterior. Por supuesto, el nivel de temperatura constante de  $T_p$  depende del tipo de material elegido para la capa 14, puesto que debe exceder la temperatura de transición vítrea  $T_g$  para el caso de un material reticulable, y también debe ser adecuado para la cocción posterior del material de la capa, endurecido por radiación. Para materiales que reticulables por radiación,  $T_p$  varía típicamente dentro de 20-250°C, o incluso  
55 más a menudo dentro de 50-250°C. Para el ejemplo de mr-L6000.1 XP, se ha realizado pruebas satisfactorias con una temperatura constante de 100-120°C a través de toda la impresión, exposición y cocción posterior. Para realizaciones que utilizan pre-polímeros que pueden ser endurecidos por radiación, estos materiales son típicamente líquidos o casi líquidos a temperatura ambiente, y por lo tanto necesitan poco o ningún calentamiento para reblandecerse lo suficiente para la impresión. Sin embargo, también estos materiales deben generalmente pasar a través de cocción posterior para  
60 completar el endurecimiento tras la exposición, antes de la separación respecto del sello de polímero. Por lo tanto, la temperatura de proceso  $T_p$  se ajusta a un nivel de temperatura de cocción posterior apropiado ya en la etapa de impresión que comienza en la etapa de la figura 5.

La figura 6 ilustra como las estructuras de la superficie 11 del sello de polímero, han realizado una impresión en la  
65 capa de material 14, que está en forma fluida o al menos blanda, en la que se ha forzado al fluido a rellenar los huecos en la superficie 11 del sello de polímero. En la realización ilustrada, los salientes más altos en la superficie 11 del sello de polímero, no penetran por completo descendiendo a la superficie del sustrato 17. Esto puede ser beneficioso para proteger frente a daños la superficie del sustrato 17, y en especial la superficie 11 del sello de polímero. Sin

## ES 2 317 159 T3

embargo, en realizaciones alternativas tales como una que incluye una capa de transferencia, la impresión puede realizarse descendiendo del todo a la superficie 17 de la capa de transferencia. En la realización ilustrada en las figuras 5-7, el sello de polímero está fabricado de un material que es transparente a la radiación 19 de una longitud de onda o un rango de longitudes de onda predeterminados, que puede utilizarse para solidificar un material moldeable seleccionado. Tales materiales pueden ser por ejemplo policarbonato, COC o PMMA. Para sellos de polímero creados utilizando radiación, como se ha descrito arriba, la capa restante de la capa superficial sensible a la radiación, en la que se forma el modelo, preferentemente también es transparente a radiación UV, o alternativamente es lo suficientemente delgada para que su absorción UV sea lo suficientemente baja para dejar que la atraviese una cantidad de radiación suficiente. La radiación 19 se aplica típicamente cuando el sello de polímero 10 ha sido presionado en la capa 14, con un alineamiento apropiado entre el sello de polímero 10 y el sustrato 12. Cuando se expone a esta radiación 19, se inicia la solidificación de material moldeable, para solidificar en un cuerpo sólido 14' que adopta la forma determinada por el sello de polímero 10. Durante la etapa de exposición de la capa 14 a radiación, el calentador 20 está controlado por el controlador de temperatura, al objeto de mantener la temperatura de la capa 14 a una temperatura  $T_p$ .

Tras la exposición a radiación, se lleva a cabo la etapa de cocción posterior, para endurecer por completo el material de la capa 14'. En esta etapa, el dispositivo calentador 20 se utiliza para proporcionar calor a la capa 14', al objeto de cocer la capa 14' para producir un cuerpo endurecido antes de la separación del sello de polímero 10 y el sustrato 12. Además, la cocción posterior se lleva a cabo mediante mantener la mencionada temperatura  $T_p$ . De esta forma, el sello de polímero 10 y la capa de material 14, 14' mantendrán la misma temperatura desde el comienzo de la solidificación del material 14 mediante la exposición a radiación, hasta la finalización de la cocción posterior, y opcionalmente también a través de la separación del sello de polímero 10 y el sustrato 12. De esta forma, se eliminan las limitaciones de precisión, debidas a diferencias en la expansión térmica en cualquiera de los materiales utilizados para el sustrato y el sello de polímero.

Por ejemplo, el sello de polímero 10 se retira mediante un proceso de exfoliación y tracción, como se ilustra en la figura 7. La capa de polímero 14' formada y solidificada, permanece sobre el sustrato 12. Las diversas formas diferentes de seguir procesando el sustrato y su capa 14', no se tratarán aquí en ningún detalle puesto que la invención como tal no está relacionada con tal procesamiento adicional, ni depende de como se consiga tal procesamiento adicional. En términos generales, el procesamiento adicional para transferir el modelo del sello de polímero 10 a la base de sustrato 13, puede incluir por ejemplo grabado o metalización, seguidos por una etapa de despegue.

La figura 8 ilustra esquemáticamente una realización preferida de un aparato acorde con la presente invención, también utilizable para llevar a cabo una realización de un método acorde con la presente invención. Debe observarse que este dibujo es puramente esquemático, con el objetivo de clarificar sus diferentes características. En concreto, las dimensiones de las diferentes características no están a una escala común. El aparato es particularmente útil para llevar a cabo la etapa secundaria de la presente invención, pero puede igualmente utilizarse para llevar a cabo la etapa principal.

El aparato 100 comprende una primera parte principal 101 y una segunda parte principal 102. En la realización preferida ilustrada, estas partes principales están dispuestas con la primera parte principal 101 sobre la segunda parte principal, con una separación ajustable 103 entre las mencionadas partes principales. Cuando se está llevando a cabo una impresión de superficie mediante un proceso como el ilustrado en las figuras 5-7, puede ser de gran importancia que la plantilla y el sustrato estén adecuadamente alineados en la dirección lateral, lo que típicamente se denomina el plano X-Y. Esto es especialmente importante si la impresión va a realizarse sobre, o junto a, un modelo previamente existente en el sustrato. No obstante, no se trata aquí los problemas específicos de alineación ni las diferentes formas de superarlos, pero por supuesto pueden combinarse con la presente invención cuando se requiera.

La primera parte principal 101, superior, tiene una superficie orientada hacia abajo 104, y la segunda parte principal 102, inferior, tiene una superficie orientada hacia arriba 105. La superficie orientada hacia arriba 105, o una parte de esta, es sustancialmente plana y está colocada en, o forma parte de, una placa 106 que actúa como estructura de soporte para una plantilla o un sustrato, a ser utilizados en un proceso de impresión, como se describirá de forma más minuciosa en relación con las figuras 9 y 10. Hay un cuerpo calentador 21 dispuesto en contacto con la placa 106, o que forma parte de la placa 106. El cuerpo calentador 21 forma parte de un dispositivo calentador 20, e incluye un elemento calentador 22 y preferentemente también un elemento enfriador 24, como se muestra en las figuras 5-7. El elemento calentador 22 está conectado a través de conectores 23 a una fuente de energía 26, por ejemplo una fuente de energía eléctrica con medios de control de corriente. Además, el elemento enfriador 24 está conectado a través de conectores 25 a una fuente de refrigeración 27, por ejemplo un depósito de fluido refrigerante y una bomba, con medios de control para controlar el flujo y la temperatura del fluido refrigerante.

En la realización ilustrada se proporciona medios para ajustar la separación 103, mediante un elemento de pistón 107 unido en su extremo exterior a la placa 106. El elemento de pistón 107 está conectado de forma desplazable a un elemento del cilindro 108, que preferentemente se mantiene en relación fija con la primera parte principal 101. Como se indica mediante la flecha en el dibujo, los medios para ajustar la separación 103 están concebidos para desplazar la segunda parte principal 102 acercándola o alejándola respecto de la primera parte principal 101, mediante un movimiento sustancialmente perpendicular a la superficie 105 sustancialmente plana, es decir en la dirección Z. El desplazamiento puede conseguirse manualmente, pero preferentemente está asistido por el uso de una disposición bien hidráulica o neumática. La realización ilustrada puede variarse de distintas formas a este respecto, por ejemplo mediante sujetar la placa 106 a un elemento de cilindro en torno a un elemento de pistón fijo. Debe observarse además

## ES 2 317 159 T3

que el desplazamiento de la segunda parte principal 102 se utiliza principalmente para cargar y descargar el aparato 100 con una plantilla y un sustrato, y para disponer el aparato en una posición de funcionamiento inicial. Sin embargo, preferentemente el movimiento de la segunda parte principal 102 no está incluido en el verdadero proceso de impresión como en la realización ilustrada, según se describirá.

5

La primera parte principal 101 comprende un elemento de sellado periférico 108 que rodea la superficie 104. Preferentemente, el elemento de sellado 108 es un sello sin fin tal como una junta tórica, pero alternativamente puede componerse de varios elementos de sellado interconectados, que forman juntos un sellado continuo 108. El elemento de sellado 108 se dispone en un rebaje 109 hacia fuera de la superficie 104, y preferentemente es separable respecto del mencionado rebaje. El aparato comprende además una fuente de radiación 110, que en la realización ilustrada se dispone en la primera parte principal 101, por detrás de la superficie 104. La fuente de radiación 110 es conectable a un controlador 111 de la fuente de radiación, que preferentemente comprende una fuente de potencia (no mostrada) o está conectado a esta. El controlador 111 de la fuente de radiación puede estar incluido en el aparato 100, o puede ser un elemento conectable externo. Hay una parte superficial 112 de la superficie 104, dispuesta junto a la fuente de radiación 110, fabricada de un material transparente a la radiación de cierta longitud de onda o de cierto rango de longitudes de onda, de la fuente de radiación 110. De esta forma, la radiación emitida desde la fuente de radiación 110 es transmitida hacia la separación 103, entre la primera parte principal 101 y la segunda parte principal 102, a través de la mencionada parte superficial 112. La parte superficial 112, que actúa como una ventana, puede estar fabricada de sílice, cuarzo o zafiro fundidos, disponibles.

20

Una realización del aparato 100 acorde con la invención, comprende además medios de agarre mecánico, para sujetar conjuntamente un sustrato y un sello (no mostrados). Esto es particularmente preferido en una realización con un sistema de alineamiento externo, para alinear el sustrato y el sello antes de la transferencia del modelo, donde la pila alineada que comprende el sello y el sustrato, tiene ser transferida al aparato de impresión.

25

En funcionamiento, el aparato 100 está además provisto con una membrana flexible 113, que es sustancialmente plana y acopla el elemento de sellado 108. En una realización preferida, el elemento de sellado 113 es un elemento separado respecto del elemento de sellado 108, y está solo acoplado con el elemento de sellado 108 mediante la aplicación de una presión contraria desde la superficie 105 de la placa 106, tal como se explicará. Sin embargo, en una realización alternativa la membrana 113 está unida al elemento de sellado 108, por ejemplo por medio de un cemento, o mediante ser una parte integral del elemento de sellado 108. Además en tal realización alternativa, la membrana 113 puede estar firmemente unida a la parte principal 101, mientras que el sellado 108 está dispuesto hacia fuera de la membrana 113. Para una realización como la ilustrada, también la membrana 113 está formada del material que es transparente a la radiación de cierta longitud de onda o rango de longitudes de onda, de la fuente de radiación 110. De este modo, la radiación emitida desde la fuente de radiación 110 es transmitida a la separación 103 a través de la mencionada cavidad 115 y sus paredes de contorno 104 y 113. Ejemplos de materiales utilizables para la membrana 113, para la realización de las figuras 7-9, incluyen policarbonato, polipropileno, polietileno, PDMS y PEEK. El grosor de la membrana 113 puede ser típicamente de 10-500  $\mu\text{m}$ .

40

Preferentemente, el aparato 100 comprende medios para aplicar un vacío entre el sello y el sustrato, al objeto de extraer inclusiones de aire desde la capa moldeable del sándwich apilado, antes del endurecimiento de la capa a través de radiación UV. Esto está ejemplificado en la figura 8 mediante una bomba de vacío 117, conectada en comunicación con el espacio entre la superficie 105 y la membrana 113, mediante un conducto 118.

45

En la primera parte principal 101 hay formado un conducto 114 para permitir el paso de un medio fluido, sea un gas, un líquido o un gel, a un espacio definido por la superficie 104, el elemento de sellado 108 y la membrana 113, espacio que actúa como una cavidad 115 para el mencionado medio fluido. El conducto 114 es conectable a una fuente de presión 116, tal como una bomba, que puede ser una parte externa o una parte incorporada del aparato 100. La fuente de presión 116 está concebida para aplicar una presión ajustable, en concreto una sobrepresión, a un medio fluido contenido en la mencionada cavidad 115. Una realización tal como la ilustrada, es adecuada para ser utilizada con un medio de presión gaseoso. Preferentemente, el mencionado medio está seleccionado entre el grupo que contiene aire, nitrógeno y argón. En cambio si se utiliza un medio líquido, es preferible tener la membrana unida al elemento de sellado 108. Tal medio líquido puede ser un aceite hidráulico. Otra posibilidad es utilizar un gel para el mencionado medio.

55

La figura 9 ilustra el aparato realizado en la figura 8, cuando está siendo cargado con un sustrato 12 y un sello de polímero 10, para un proceso litográfico. Para comprender mejor este dibujo, se hace también referencia a las figuras 5-7. La segunda parte principal 102 ha sido desplazada hacia abajo desde la primera parte principal 101, para abrir la separación 103. La realización ilustrada de la figura 8 muestra un aparato cargado con un sello de polímero transparente 10, sobre un sustrato 12. El sustrato 12 está colocado con una parte posterior sobre la superficie 105 del cuerpo calentador 21, colocado encima o en la segunda parte principal 102. De ese modo, el sustrato 12 tiene su superficie objetivo 17 con la capa 14 de un material polimerizable, por ejemplo una solución de polímero que puede reticularse por UV, orientada hacia arriba. Por simplicidad, todas las características del dispositivo 20 que se han visto en las figuras 5-7, no se muestra en la figura 9. El sello de polímero 10 está situado sobre el sustrato 12 o junto a este, con su superficie estructurada 11 opuesta al sustrato 12. Puede proporcionarse medios para alinear el sello de polímero 10 con el sustrato 12, pero no se ilustran en este dibujo esquemático. A continuación se coloca la membrana 113 sobre el sello de polímero 12. Para una realización donde la membrana 113 está unida a la primera parte principal, por supuesto se dispone la etapa de colocar realmente la membrana 113 sobre el sello de polímero. En la figura 9,

65

## ES 2 317 159 T3

el sello de polímero 10, el sustrato 12 y la membrana 113 se muestran completamente separados, solo por claridad, mientras que en una situación real estarían apilados sobre la superficie 105.

La figura 10 ilustra una posición operativa del aparato 100. La segunda parte principal 102 ha sido elevada hasta una posición en la que la membrana 113 está sujeta entre el elemento de sellado 108 y la superficie 105. En realidad, tanto el sello de polímero 10 como el sustrato 12 son muy delgados, típicamente de solo de partes de milímetro, y la curvatura real de la membrana 113 que se ilustra, es mínima, es mínima, opcionalmente la superficie 105 puede concebirse con una parte periférica elevada en el punto en el que contacta con el elemento de sellado 108 a través de la membrana 113, para compensar el grosor combinado del sello de polímero 10 y el sustrato 12.

Una vez que las partes principales 101 y 102 están acopladas para sujetar la membrana 113, la cavidad 115 es sellada. Se aplica vacío por succión desde la bomba de vacío 117, para extraer inclusiones de aire desde la capa superficial del sustrato 12. Así, la fuente de presión 116 está concebida para aplicar una sobrepresión a un medio fluido en la cavidad 115, que puede ser un gas, un líquido o un gel. La presión en la cavidad 115 es transferida por la membrana 113 al sello de polímero 10, que es presionado hacia el sustrato 12 para imprimir el modelo del sello de polímero en la capa 14, véase la figura 6. Las soluciones de polímero reticulable, requieren típicamente un precalentamiento para superar su temperatura de transición vítrea  $T_g$ , que puede ser de unos  $60^\circ\text{C}$ . Un ejemplo de tal polímero es el mencionado mr-L6000.1 XP. Cuando se utiliza tales polímeros, es particularmente útil el aparato 100, que tiene capacidades combinadas de radiación y calentamiento. Sin embargo, para estos tipos de materiales se necesita generalmente una etapa de cocción posterior, al objeto de endurecer la capa solidificada por radiación 14'. Como se ha mencionado previamente, un aspecto de la invención es por lo tanto aplicar una temperatura elevada  $T_p$  al material de la capa 14, que es mayor que  $T_g$  para el caso de un material reticulable, y también es apropiada para la cocción posterior del material expuesto a radiación. El dispositivo calentador 20 es activado para calentar la capa 14 a través del sustrato 12, por medio del cuerpo calentador 21, hasta que se alcanza  $T_p$ . Naturalmente, el valor real de  $T_p$  depende del material elegido para la capa 14. Para el ejemplo de mr-L6000.1 XP, puede utilizarse una temperatura de  $T_p$  dentro del rango del  $50\text{-}150^\circ\text{C}$ , dependiendo de la distribución del peso molecular en el material. La presión del medio en la cavidad 115, se incrementa después hasta  $5\text{-}500$  barías, ventajosamente hasta  $5\text{-}200$  barías, y preferentemente hasta  $20\text{-}100$  barías. De este modo, el sello de polímero 10 y el sustrato 20 están presionados entre sí, con una presión correspondiente. Gracias a la membrana flexible 113 se obtiene una distribución de fuerzas absolutamente homogénea, sobre toda la superficie de contacto entre el sustrato y el sello de polímero. De este modo, se hace que el sello del perímetro y el sustrato se dispongan por sí mismos de forma absolutamente paralela entre sí, y que pueda eliminarse la influencia de cualesquiera irregularidades en la superficie del sustrato del sello de polímero.

Cuando se ha traído en contacto el sello de polímero 10 y el sustrato, mediante la presión aplicada del medio fluido, se dispara la fuente de radiación para que emita radiación 19. La radiación se transmite a través de la porción superficial 112 que actúa como una ventana, a través de la cavidad 115, la membrana 113 y el sello de polímero 10. La radiación es absorbida parcial o completamente en la capa 14, cuyo material se solidifica así mediante reticulado o endurecimiento, en la disposición perfectamente paralela entre el sello de polímero 10 y el sustrato 12, proporcionada por la presión y la compresión asistida por la membrana. El tiempo de exposición a la radiación depende del tipo y la cantidad de material en la capa 14, de la longitud de onda de la radiación combinada con el tipo de material, y la potencia de la radiación. La característica de solidificación de semejante material polimerizable es bien conocida, e igualmente son conocidas las combinaciones relevantes de los parámetros mencionados, para las personas cualificadas. Una vez que el fluido ha solidificado para formar una capa 14', la exposición adicional no tiene efectos importantes. Sin embargo, tras la exposición se permite la cocción posterior o cocción fuerte de la capa 14', a temperatura constante predeterminada  $T_p$ , durante cierto período de tiempo por ejemplo de  $1\text{-}10$  minutos, si es que la cocción posterior es necesaria para solidificar la capa. Para el ejemplo de mr-L6000.1 XP, la cocción posterior se lleva a cabo típicamente durante  $1\text{-}10$  minutos, preferentemente durante unos  $3$  minutos, a la temperatura de proceso común  $T_p$  de  $100\text{-}120^\circ\text{C}$ . Para SU8, el tiempo de exposición a radiación está entre  $1$  y  $10$  segundos, donde el rango de  $3\text{-}5$  ha sido verificado satisfactoriamente, y a continuación se lleva a cabo cocción posterior a una  $T_p$  de unos  $70^\circ\text{C}$ , durante  $30\text{-}60$  segundos.

Con el aparato 100 acorde con la presente invención, la cocción posterior se lleva a cabo en la máquina de impresión 100, lo que supone que no es necesario sacar el sustrato del aparato y ponerlo en un horno separado. Esto ahorra una etapa de proceso, lo que posibilita ahorros tanto de tiempo como de costes en el proceso de impresión. Mediante llevar a cabo la etapa de cocción posterior mientras que el sello de polímero 10 se sigue manteniendo a una temperatura constante de  $T_p$ , y potencialmente también con la presión seleccionada hacia el sustrato 10, se consigue también mayor precisión en el modelo de estructura resultante en la capa 14, lo que hace posible producir estructuras más finas. Tras la compresión, la exposición y la cocción posterior, la presión en la cavidad 115 se reduce y las dos partes principales 101 y 102 se separan entre sí. Tras esto, se separa el sustrato respecto del sello de polímero, y es sometido a un tratamiento posterior de acuerdo con lo que se conoce previamente como litografía de impresión.

Un primer modo de la invención implica un sustrato 12 de silicio cubierto por una capa 14 de NIP-K17 con un grosor de  $1\ \mu\text{m}$ . Tras la compresión por medio de la membrana 113 con una presión de  $5\text{-}100$  barías durante unos  $30$  segundos, se activa la fuente de radiación 110. La fuente de radiación 110 está concebida típicamente para emitir al menos en la región ultravioleta, por debajo de  $400\ \text{nm}$ . En una realización preferida, se utiliza como fuente de radiación 110 una lámpara de xenón enfriada por aire, con un espectro de emisión que oscila en el rango de  $200\text{-}1000\ \text{nm}$ . La fuente de radiación de tipo xenón 110 preferida, proporciona una radiación de  $1\text{-}10\ \text{W/cm}^2$ , y está concebida para centellear con impulsos de  $1\text{-}5\ \mu\text{s}$  con una frecuencia de impulsos de  $1\text{-}5$  impulsos por segundo. Hay una ventana 112 de cuarzo formada en la superficie 104, para el paso de radiación a su través. El tiempo de exposición

## ES 2 317 159 T3

está preferentemente en el rango de 1-30 segundos, para polimerizar la capa de fluido 14 en una capa sólida 14', pero puede ser de hasta 2 minutos.

Se ha llevado a cabo pruebas con mr-L6000.1 XP, con aproximadamente 1.8 W/cm<sup>2</sup> integrados en el rango de 200-1000 nm, con un tiempo de exposición de 1 minuto. En este contexto, debe observarse que no es necesario restringir la radiación utilizada a un rango de longitudes de onda dentro del cual solidifique el polímero aplicado a la capa 14, sino que por supuesto pueden emitirse también radiación fuera de tal rango desde la fuente de radiación utilizada. Tras la exposición satisfactoria y la subsiguiente cocción posterior a una temperatura de proceso constante, la segunda parte principal 102 es descendida hasta una posición similar a la de la figura 9, tras lo cual la plantilla 10 y el sustrato 12 son retirados del aparato, para la separación y el posterior procesamiento del sustrato.

El término temperatura constante, se refiere a una temperatura sustancialmente constante, lo que significa que aunque se acople un controlador de temperatura para mantener cierta temperatura, la temperatura real obtenida fluctuará inevitablemente en alguna medida. La estabilidad de la temperatura constante depende principalmente de la precisión del controlador de temperatura, y de la inercia de toda la instalación. Además, se entiende que incluso aunque el método acorde con la invención es utilizable para la impresión de estructuras extremadamente finas incluso en la escala de nanómetros, una ligera variación en la temperatura no tendrá un efecto siempre que la temperatura no sea demasiado grande. Asumiendo que las estructuras en la periferia de la plantilla tienen una anchura  $x$ , y una tolerancia espacial razonable es una fracción de tal anchura tal como  $y = x/10$ , entonces  $y$  se convierte en el parámetro que ajusta la tolerancia de la temperatura. De hecho, puede calcularse fácilmente qué diferencias tendrá la expansión térmica, mediante aplicar los respectivos coeficientes de expansión térmica para los materiales de la plantilla y el sustrato, el tamaño (típicamente el radio) de la plantilla, y el parámetro de tolerancia espacial  $y$ . A partir de tal cálculo, puede calcularse una tolerancia de temperatura apropiada para el controlador de temperatura, y aplicarse a la máquina para llevar a cabo el proceso.

Las ventajas de la aplicación de láminas de polímero flexibles, dentro de un proceso de impresión en "dos etapas" según se ha descrito arriba y muestra la figura 1, incluyen las siguientes.

Las propiedades flexibles de las láminas de polímero utilizadas, reducen complicaciones en la transferencia de modelo debidas a diferentes coeficientes de expansión térmica de los materiales de sello y sustrato aplicados, utilizados en el proceso de impresión. Por lo tanto, la técnica ofrece posibilidades para transferir modelos entre superficies de materiales caracterizadas por diferentes coeficientes de expansión térmica. No obstante, la mayoría de los polímeros utilizados en la aplicación se caracterizan por factores de expansión térmica muy similares, que varían típicamente entre  $60 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$  y  $70 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ , en términos de fabricación realizando más fácilmente las impresiones entre dos láminas de polímero diferentes, como se muestra la figura 1e),

Las propiedades flexibles y dúctiles de las láminas de polímero utilizadas, impiden la inclusión de aire durante la impresión entre la lámina de polímero - que tiene una superficie modelada o no modelada - y el otro objeto - por ejemplo un sustrato recubierto por una película de polímero o una plantilla, que comprende silicio, níquel, cuarzo o un material de polímero. Si la lámina se presiona hacia uno de estos objetos como se muestra en las figuras 1b, 1e y 1h, la lámina de polímero actúa como una membrana, presionando el aire desde el centro del área impresa hacia sus bordes, donde puede abandonar la región impresa.

Debido a la blandura de las láminas de polímero utilizadas, las partículas entre la lámina de polímero y la plantilla u objeto sobre el que esta es presionada, así como debido a la pronunciada aspereza superficial de la plantilla u objeto, se impedirá daños evidentes durante un proceso de impresión mostrado en las figuras 1b), 1d) y 1h), ya sea de la lámina de polímero o de uno de los objetos involucrados.

Debido a la elevada transparencia de las láminas de polímero utilizadas por ejemplo para radiación UV, también puede utilizarse polímeros endurecibles por UV, durante el proceso de impresión que se ha descrito arriba, incluso cuando no se utiliza sustratos ni plantillas no transparentes.

Las muy bajas energías superficiales de la mayoría de las láminas de polímero aplicadas, conducen a pronunciadas propiedades anti-adhesión frente a otros materiales, lo que las hacen ideales para su aplicación en un proceso de impresión. La deposición de capas anti-adhesión adicionales sobre polímeros de baja energía superficial es innecesaria en la mayoría de los casos, lo que hace el proceso descrito arriba simple y aplicable industrialmente. Hablando claramente, es posible hacer sellos de replica de polímero en un material antiadhesivo.

El proceso descrito arriba y visualizado en la figura 1 es muy apropiado para producir réplicas tanto positivas (el modelo es similar al de la plantilla original) como negativas (el modelo está invertido respecto de la plantilla original), si las propiedades materiales - por ejemplo temperatura de transición vítrea, transparencia óptica y posibilidad de endurecimiento tras la exposición a radiación - de los diferentes materiales polímeros aplicados en el proceso, están adaptadas entre sí.

La resistencia al envejecimiento y al desgaste de los sellos de polímero flexible, hace posible aplicarlos varias veces en la etapa secundaria del proceso de impresión. Alternativamente, los sellos de polímero se utilizan solo una vez y después se desechan. En cualquier caso, esto mejora la vida útil de la plantilla original 1, que nunca tiene que utilizarse para impresión frente a un material duro y no flexible.

## ES 2 317 159 T3

Las propiedades flexibles y dúctiles de las láminas de polímero utilizadas, alivian el desmoldeo del sustrato o sello inflexible, respecto de la lámina flexible, reduciendo daños físicos sobre el sello o el sustrato.

5 En lugar del desmoldeo mecánico de la lámina de polímero respecto de un sustrato, tras realizarse la impresión, alternativamente la lámina de polímero puede disolverse químicamente con la ayuda de un disolvente adecuado. Este procedimiento se preferiría en el caso de una transferencia de modelos que tienen relaciones de aspecto altas, es decir donde la profundidad de una estructura de modelo es sustancialmente mayor que su anchura, en los que el desmoldeo mecánico podría dañar el sustrato o el sello.

10 Puede transferirse fácilmente a una lámina de polímero, no solo el modelo sobre la superficie de una plantilla original, sino también las dimensiones físicas de la plantilla original. En algunas aplicaciones, la colocación del modelo sobre el sustrato final es crítica. Por ejemplo, para unidades de disco duro el modelo debería replicarse y alinearse con el centro del disco. Aquí, el sello maestro puede producirse con un agujero central. Tras la impresión, se forma un relieve del agujero central en la lámina de polímero flexible, que puede utilizarse para alinear el modelo sobre la lámina  
15 con el disco replicado final.

Una réplica generada en una lámina de polímero puede dar acceso a una nueva familia de procesos de desarrollo, que no es ejecutable de la forma común mediante metalización de níquel a níquel. Aquí, la lámina de polímero impresa se liga primero con un sustrato rígido, por ejemplo mediante un proceso de impresión asistido por UV. A continuación, la lámina es metalizada con una capa de semilla y electrodepositada para recibir una copia en níquel del original. A través de la invención descrita, son accesibles muchos otros procesos de conversión.

### Ejemplos

25 Algunas láminas de polímero que se han utilizado, son:

Topas 8007, de Ticona GmbH, Alemania: copolímero aleatorio termoplástico que tiene una temperatura vítrea de 80°C. Topas es transparente a la luz con longitudes de onda por encima de 300 nm, y está caracterizado por una baja energía superficial. La lámina está disponible en grosores de 50-500 µm. Aquí se  
30 utilizado las láminas de grosores de 130-140 µm.

*Zeonor* ZF14 de Zeon Chemicals, Japón: polímero termoplástico que tiene una temperatura vítrea de 136°C y una transmitancia de luz del 92% para longitudes de onda de más de 300 nm. La lámina utilizada tiene un grosor de 188 µm, pero está disponible en otros grosores en el rango de 50 a 500 µm. *Zeonex* E48R, de Zeon  
35 Chemicals, Japón: polímero termoplástico que tiene una temperatura vítrea de 139°C y una transmitancia de luz del 92% para longitudes de onda de más de 350 nm. La lámina utilizada tiene un grosor de 75 µm.

Policarbonato (policarbonato de bisfenol A), de Bayer AG, Alemania: polímero termoplástico que tiene una temperatura vítrea de 150°C y una transmitancia de luz del 91% para longitudes de onda por encima de 350 nm. La lámina utilizada tiene un grosor de 300 µm y está disponible en muchos otros grosores, de  
40 hasta 1 mm.

Un material resistente que se ha utilizado es SU8, de MicroChem Corp., EE.UU., un material fotoprotector, que puede endurecerse tras la exposición a luz con longitudes de onda entre 350 y 400 nm. Como promotor de adhesión entre la película de SU8 y el sustrato de silicio, se ha utilizado una película delgada de LOR0.7, de MicroChem Corp., EE.UU.

Los siguientes son ejemplos de referencia, en la medida en que no todas las etapas acordadas con la reivindicación 1 se aplican.

#### 50 Ejemplo 1

Una plantilla de níquel cuya superficie exhibe un modelo lineal, que tiene una anchura de línea de 80 nm y una altura de 90 nm, ha sido impreso en una lámina de *Zeonor* ZF14 a 150°C y 50 barias, durante 3 minutos. Ninguna  
55 de las superficies ha sido tratada mediante ningún recubrimiento adicional, tal como por ejemplo capas anti-adhesión. La temperatura de liberación fue de 135°C, a la cual la lámina *Zeonor* pudo retirarse mecánicamente respecto de la superficie de níquel, sin dañar los modelos tanto de la plantilla como de la réplica. La lámina *Zeonor* ha sido utilizada como una nueva plantilla, que se ha impreso en una película SU8 de 100 nm de grosor. La película de SU8 fue recubierta por rotación sobre una película LOR de 20 nm, recubierta por rotación previamente sobre un sustrato de silicio. Como antes, ninguna de las superficies ha sido tratada mediante ningún revestimiento adicional, que tenga el propósito de mejorar el comportamiento anti-adhesión entre la película SU8 y la lámina *Zeonor*. La impresión se lleva a cabo a 70°C y 50 barias durante 3 minutos. La película SU8 fue expuesta a luz UV durante 4 segundos, a través de la lámina *Zeonor* ópticamente transparente, y cocida durante dos minutos más. Tanto la temperatura como la presión se mantuvieron constantes, respectivamente a 70°C y 50 barias, durante toda la secuencia de impresión. La temperatura de liberación fue de 70°C, a la cual la lámina *Zeonor* pudo retirarse mecánicamente desde la película de SU8 sin dañar  
65 el modelo de la lámina de plantilla de polímero ni el de la película de réplica. En la figura 2 se muestra la imagen AFM de un resultado de impresión en la película SU8 depositada sobre una oblea de silicio.

## Ejemplo 2

Una plantilla de níquel cuya superficie exhibe un modelo BluRay que tiene una estructura con alturas de 100 nm y anchuras de 150 nm - investigadas mediante AFM - ha sido imprimida en un Zeonor ZF 14, utilizando el mismo proceso y los mismos parámetros ya descritos en el ejemplo 1. La lámina Zeonor se ha utilizado como una nueva plantilla, que ha sido imprimida en una película SU8 de 100 nm de grosor. Además, aquí se utilizó el mismo proceso y los mismos parámetros ya descritos en el ejemplo 1. En la figura 3 se muestra la imagen AFM de un resultado de impresión en la película SU8 depositada sobre una oblea de silicio.

## Ejemplo 3

Se ha utilizado una plantilla de níquel cuya superficie contiene modelos en micrómetros, con elevadas relaciones de aspecto en el rango 1-28. El tamaño característico varía de 600 nm a 12  $\mu\text{m}$ , a una altura de 17  $\mu\text{m}$ . La superficie ha sido cubierta por una película anti-adhesión basada en fosfato, antes de la impresión. La plantilla de níquel ha sido imprimida en una lámina de policarbonato a 190°C y 50 barías, durante 3 minutos. La superficie de la lámina de policarbonato no ha sido tratada mediante ningún recubrimiento adicional que tenga el propósito de mejorar el comportamiento anti-adhesión entre la plantilla de Ni y la película de policarbonato. La temperatura de liberación fue de 130°C, a la cual la lámina de policarbonato pudo ser retirada mecánicamente desde la superficie de níquel, sin dañar el modelo de la plantilla ni el de la réplica. La lámina de policarbonato ha sido utilizada como una nueva plantilla, para una impresión en una lámina Topas. La impresión se ha realizado a 120°C y 50 barías durante 3 minutos. Ninguna de las superficies ha sido modificada con un recubrimiento adicional, que tenga el propósito de mejorar el comportamiento anti-adhesión entre el policarbonato y la lámina Topas. La temperatura de liberación fue de 70°C, a los que la Topas pudo ser retirada mecánicamente desde la lámina de policarbonato, sin dañar el modelo de la lámina plantilla ni el de la lámina de réplica. Después la lámina Topas ha sido utilizada como una nueva plantilla, que ha sido impresa en una película SU8 de 600 nm de grosor recubierta por rotación sobre un sustrato de silicio. También aquí, ninguna de las superficies ha sido tratada mediante ningún recubrimiento adicional que tenga el propósito de mejorar el comportamiento anti-adhesión entre la película SU8 y la lámina Topas. La impresión se lleva a cabo a 70°C y 50 barías durante 3 minutos. La película SU8 se expuso a luz UV durante 4 segundos, a través de la lámina Topas transparente ópticamente, y se coció durante dos minutos más, sin cambiar la temperatura de 70°C ni la presión de 50 barías durante todo el proceso. La temperatura de liberación fue de 70°C. Después, la lámina Topas ha sido disuelta por completo en p-xileno a 60°C durante una hora. En la figura 4 se muestra la imagen SEM del resultado.

**Experimentación**

Los procesos de impresión proporcionados en los ejemplos anteriores, han sido llevados a cabo con diferentes sellos de Ni modelados, en algunos casos cubiertos por películas anti-adhesión basadas en fosfato, utilizando diferentes parámetros de proceso. Los sustratos (oblea de silicio de 2 a 6 pulgadas) se han limpiado mediante su enjuague con isopropanol y acetona, directamente antes de poner en rotación las películas de LOR y de SU8. Los tamaños de los sellos aplicados son 2 a 6 pulgadas. Las impresiones se llevan a cabo utilizando un equipo Obducat-6-pulgadas-NIL, provisto con un módulo UV.

Se lleva a cabo microscopía de fuerza atómica (AFM, atomic force microscopy) en modo repiqueteo, con la ayuda de un microscopio NanoScope IIIa, de Digital Instruments, para investigar tanto los resultados de impresión como los sellos, tras realizarse la impresión.

Se ha llevado a cabo microscopía de barrido electrónico (SEM, Scanning Electron Microscopy) utilizando un microscopio Obducat CamScan MX2600, a 25 kV.

**Referencias citadas en la descripción**

*La lista de referencias citadas por el solicitante es solo para comodidad del lector. No forma parte del documento de Patente Europea. Aunque se ha tomado especial cuidado en recopilar las referencias, no puede descartarse errores u omisiones y la EPO rechaza toda responsabilidad a este respecto.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

- JP 2002 086 463 A [0006]
- US 2003 0 071 016 A [0007]
- GB 637 105 A [0008]
- EP 0 813 255 A [0009]
- EP 1 465 175 A [0010]

## ES 2 317 159 T3

- EP 1 533 657 A [0011]

- WO 0 142 858 A [0012]

5      • US 6 334 960 B [0069] [0074]

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 317 159 T3

## REIVINDICACIONES

1. Método para transferir un modelo desde una plantilla que tiene una superficie estructurada, a una superficie objetivo de un sustrato, que comprende:

una etapa de impresión principal, que incluye

- crear un sello de polímero que tiene una superficie modelada, lo que comprende la etapa de presionar la superficie de plantilla estructurada, en una capa superficial de una primera lámina de polímero, para imprimir un inverso del modelo en la capa superficial; y

una segunda etapa de impresión, que incluye

- disponer el sello de polímero y un sustrato mutuamente en paralelo, con la superficie modelada opuesta al sustrato de superficie objetivo, y con una capa intermedia de un material concebido para solidificar tras la exposición a radiación;

- calentar el sello de polímero y el sustrato, a una temperatura  $T_p$ ; y

mientras se mantiene la mencionada temperatura  $T_p$ , llevar a cabo las etapas de:

- presionar el sello de polímero hacia el sustrato, para imprimir el modelo de la superficie modelada en la mencionada capa intermedia; y

- exponer a radiación la mencionada capa, para solidificar la capa intermedia

- donde el mencionado material es amplificado de forma fotoquímica

- disponer la lámina de polímero y el sustrato, emparedados entre un elemento de tope y un primer lado de una membrana flexible, y donde

- la presión de la lámina de polímero hacia el sustrato, involucra la aplicación de una sobrepresión a un medio presente sobre un segundo lado de la membrana.

2. El método como el enunciado en la reivindicación 1, que comprende además la etapa de:

- cocción posterior de la capa intermedia, mientras se mantiene la mencionada temperatura  $T_p$ .

3. El método como el enunciado en la reivindicación 1, que comprende además la etapa de:

- liberación del sustrato desde el sello de polímero, mientras se mantiene la mencionada temperatura  $T_p$ .

4. El método como el enunciado en la reivindicación 3, en el que la etapa de liberación del sustrato desde el diseño de polímero, incluye la etapa de disolver el sello de polímero, mientras permanece dispuesto en contacto con la capa intermedia impresa, sobre el sustrato.

5. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que el mencionado material es un polímero termoplástico reticulable, que tiene una temperatura vítrea inicial  $T_g$ , y donde  $T_p$  excede  $T_g$ .

6. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que el mencionado material es un polímero termoplástico reticulable por UV, que tiene una temperatura vítrea  $T_g$ , donde la temperatura  $T_p$  excede la temperatura  $T_g$ , y donde la mencionada radiación es radiación UV.

7. El método como el enunciado en la reivindicación 1, que comprende:

- aplicar la mencionada capa intermedia sobre el sustrato, mediante recubrir por rotación el mencionado material, antes de la etapa de disponer en paralelo mutuamente la mencionada lámina de polímero y el sustrato.

8. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que el mencionado material es un pre-polímero endurecible por UV, y donde la mencionada radiación es radiación UV.

9. El método como el enunciado en la reivindicación 10, en el que el mencionado medio comprende un gas.

10. El método como el enunciado en la reivindicación 10, en el que el mencionado medio comprende aire.

11. El método como el enunciado en la reivindicación 10, en el que el mencionado medio comprende un líquido.

## ES 2 317 159 T3

12. El método como el enunciado en la reivindicación 10, en el que el mencionado medio comprende un gel.

13. El método como el enunciado en la reivindicación 1, que comprende:

- emitir radiación a la mencionada capa intermedia, a través de la lámina de polímero, lámina de polímero que es transparente a un rango de longitudes de onda de radiación utilizable para solidificar el mencionado material; y
- calentar el mencionado sustrato mediante contacto directo con el mencionado dispositivo calentador.

14. El método como el enunciado en la reivindicación 10, que comprende:

- emitir radiación a la mencionada capa intermedia a través de la mencionada membrana, membrana que es transparente a un rango de longitudes de onda de una radiación utilizable para solidificar el mencionado material.

15. El método como el enunciado en la reivindicación 10, que comprende:

- emitir radiación a la mencionada capa a través de la mencionada membrana, y a través de una pared transparente opuesta a la mencionada membrana, definiendo una pared posterior para una cavidad para el mencionado medio, pared posterior y membrana que son transparentes a un rango de longitudes de onda de una radiación utilizable para solidificar el mencionado material.

16. El método como el enunciado en la reivindicación 10, en el que la etapa de exponer la mencionada capa comprende:

- emitir radiación desde una fuente de radiación, dentro de un rango de longitudes de onda de 100-500 nm.

17. El método como el enunciado en la reivindicación 18, que comprende:

- emitir radiación pulsante con una duración de impulsos en el rango de 0,5 a 10  $\mu$ s, y una frecuencia de impulsos en el rango de 1 a 10 impulsos por segundo.

18. El método como el enunciado en la reivindicación 1, que comprende:

- aplicar un vacío entre la mencionada plantilla y el mencionado sustrato, para extraer inclusiones de aire desde la mencionada capa superficial, antes de exponer a radiación la mencionada capa.

19. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la temperatura  $T_p$  está dentro del rango de 20-250°C.

20. Método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la etapa de impresión principal incluye además:

- solidificar la capa superficial de la primera lámina de polímero, donde la primera lámina de polímero es el sello de polímero y la capa superficial define la superficie modelada del sello de polímero.

21. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la etapa de impresión principal incluye además:

- solidificar la capa superficial de la primera lámina de polímero,
- presionar el modelo inverso de la primera lámina de polímero, en una capa superficial de una segunda lámina de polímero, para imprimir una réplica del modelo de la superficie de plantilla, en la capa superficial de la segunda lámina de polímero; y
- solidificar la capa superficial de la segunda lámina de polímero, donde la segunda lámina de polímero es el sello de polímero y su capa superficial define la superficie modelada del sello de polímero.

22. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la primera lámina de polímero está fabricada de un material de polímero o copolímero termoplástico.

23. Un método como el enunciado en la reivindicación 21, en el que la segunda lámina de polímero está fabricada de un material de polímero o copolímero termoplástico.

24. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la plantilla está fabricada de metal, cuarzo, polímero o silicio.

## ES 2 317 159 T3

25. El método como el enunciado en la reivindicación 1 que comprende, mientras se mantiene la temperatura  $T_p$ :

- cesar la presión; y
- liberar el sustrato que lleva la capa intermedia sobre la superficie objetivo, respecto del sello de polímero.

26. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que el modelo de la plantilla es transferido a una pluralidad de sustratos, comprendiendo además:

- disponer el sello de polímero después de la etapa de impresión secundaria;
- crear un nuevo sello de polímero en una repetición de la primera etapa de impresión, utilizando la mencionada plantilla; e
- imprimir una nueva superficie objetivo de sustrato, en una repetición de la segunda etapa de impresión, utilizando el nuevo sello de polímero.

27. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la primera lámina de polímero está fabricada de policarbonato, COC o PMMA.

28. El método como enunciado en la reivindicación 1, en el que la etapa de impresión principal es un proceso de impresión térmica que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero masiva;
- calentar la lámina de polímero hasta una temperatura por encima de su temperatura de transición vítrea;
- presionar la superficie de plantilla estructurada, en una superficie de la lámina de polímero;
- enfriar la lámina de polímero; y
- separar la lámina de polímero modelada, respecto de la plantilla.

29. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la etapa de impresión principal es un proceso de impresión asistido por radiación, que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero;
- proporcionar una capa superficial de pre-polímero sensible a la radiación, sobre la superficie de la lámina de polímero;
- presionar la superficie de plantilla estructurada, en la capa superficial;
- exponer a radiación la capa superficial, a través de la lámina de polímero, para endurecer el pre-polímero; y
- separar la lámina de polímero modelada, respecto de la plantilla.

30. El método como el enunciado en la reivindicación 29, en el que la etapa de impresión principal incluye además:

- proporcionar calor para la cocción posterior de la capa superficial, antes de separar la lámina de polímero modelada respecto de la plantilla.

31. El método como el enunciado en la reivindicación 1, en el que la etapa de impresión principal es un proceso de impresión asistido por radiación, que incluye:

- proporcionar una lámina de polímero;
- proporcionar una capa superficial de polímero reticulable, sensible a la radiación, sobre una superficie de la lámina de polímero;
- calentar la lámina de polímero hasta una temperatura por encima de una temperatura de transición vítrea del polímero reticulable y, mientras se mantiene la mencionada temperatura, llevar a cabo las etapas de:
- presionar la plantilla hacia la capa superficial; y
- exponer la capa superficial a radiación, para el reticulado de la capa superficial.

## ES 2 317 159 T3

32. El método como el enunciado en la reivindicación 31, en el que la etapa de impresión principal incluye además:

- la cocción posterior de la capa superficial, mientras se mantiene la mencionada temperatura.

5 33. El método como el enunciado en la reivindicación 32, que comprende además la etapa de:

- separar la lámina de polímero modelada, respecto a la plantilla.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

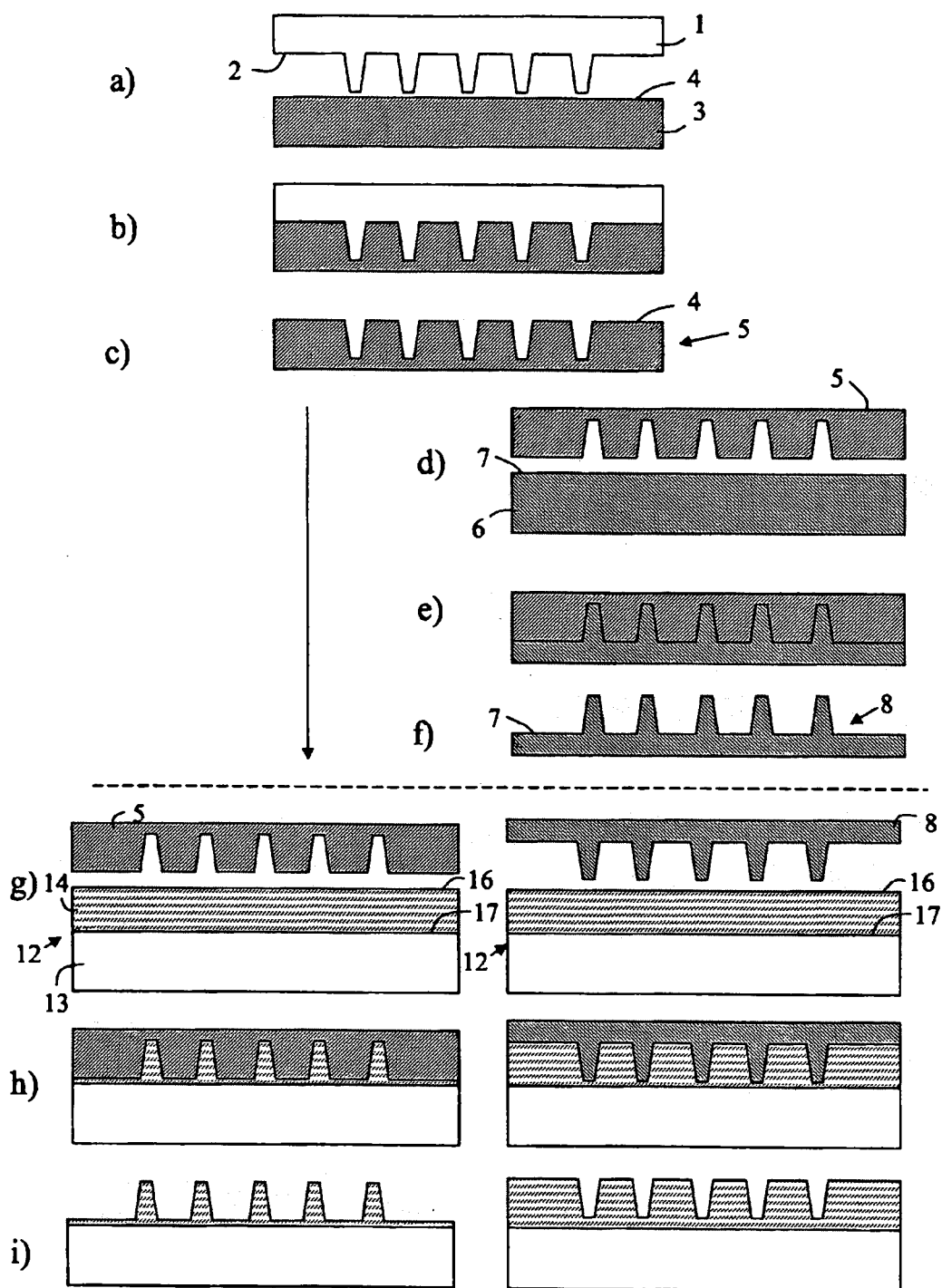


Fig. 1

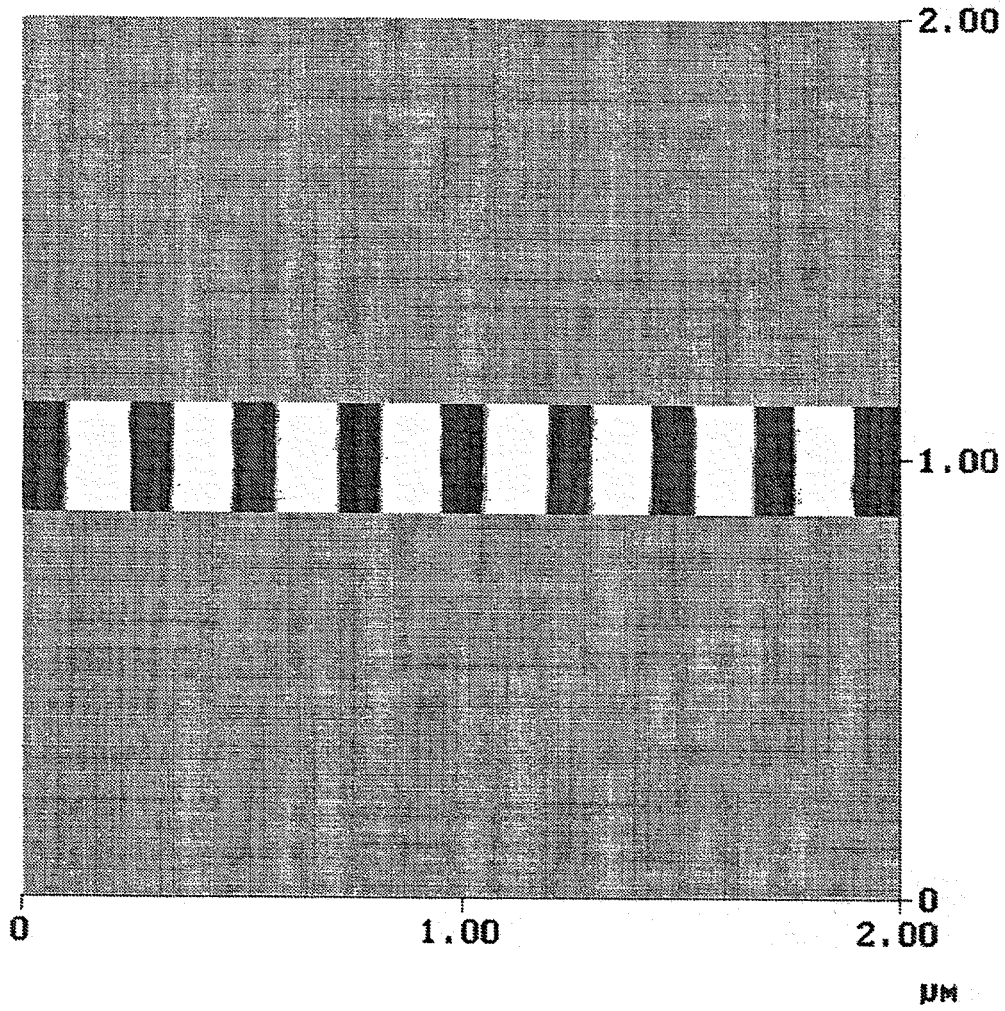


Fig. 2

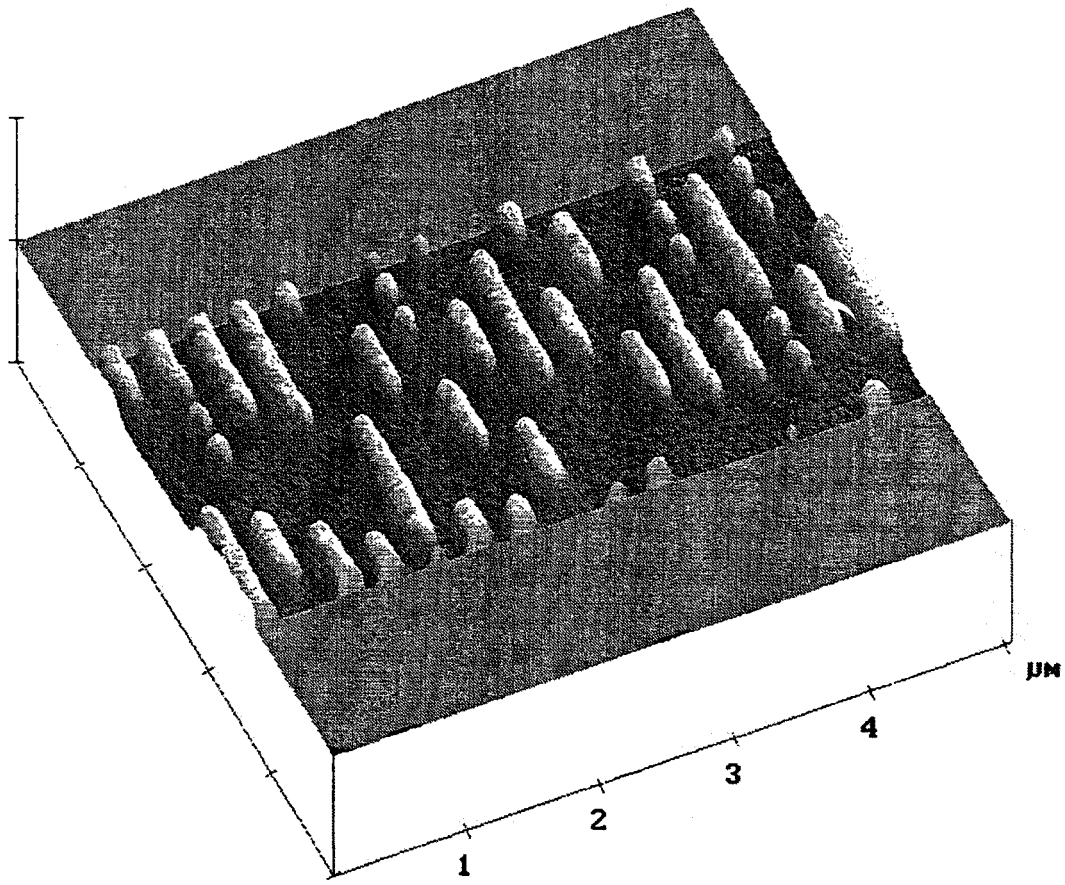


Fig. 3

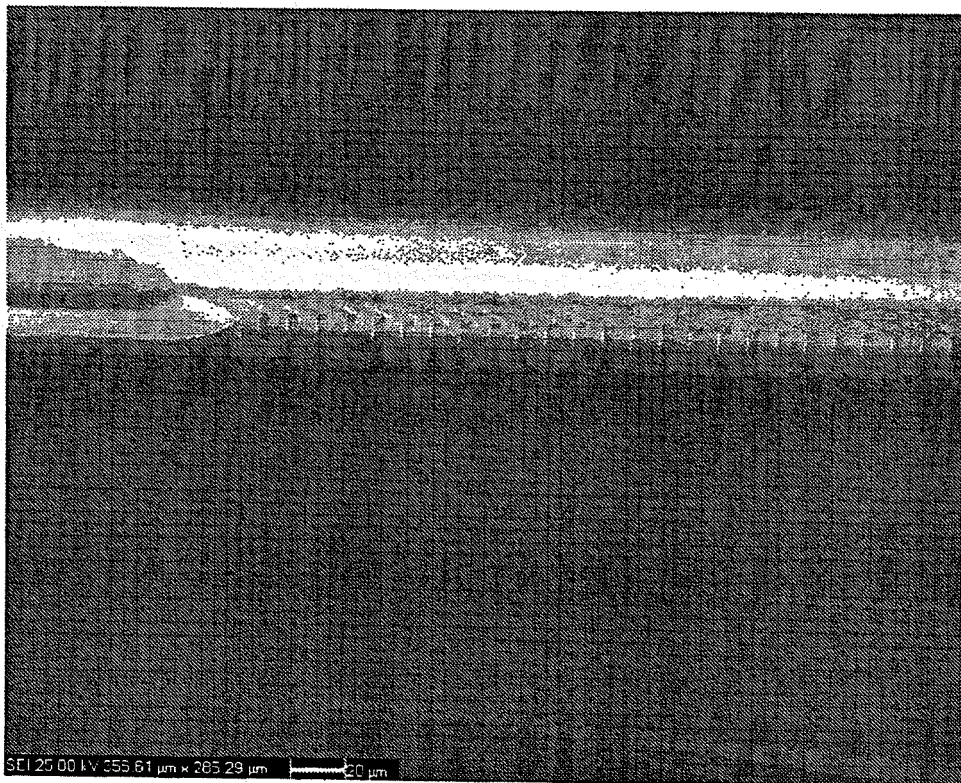
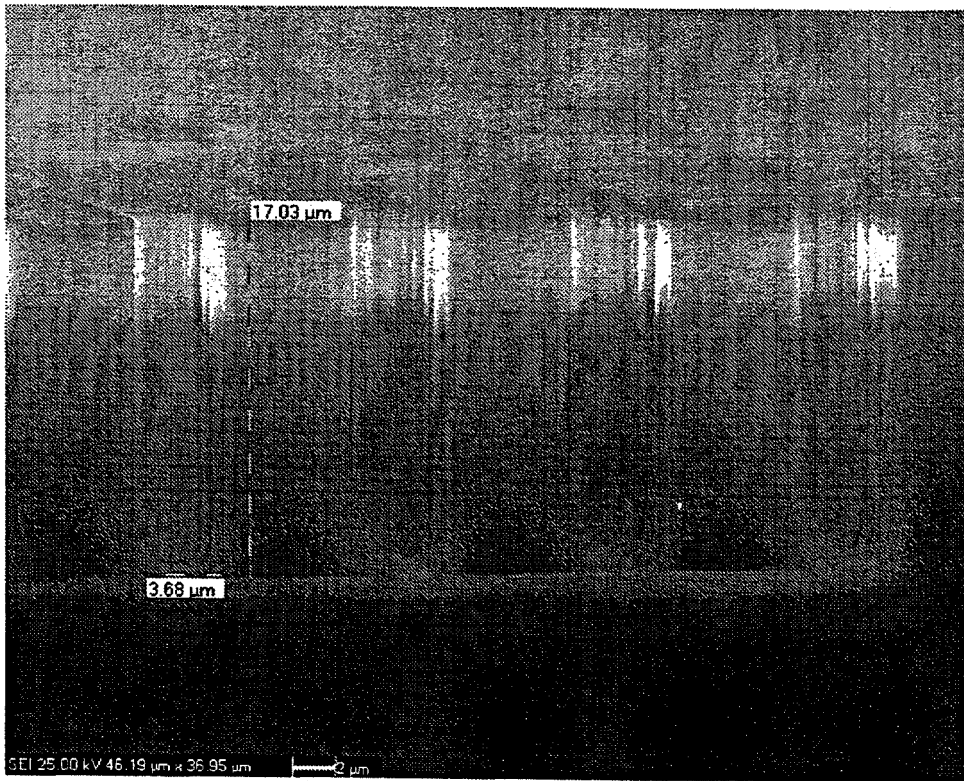
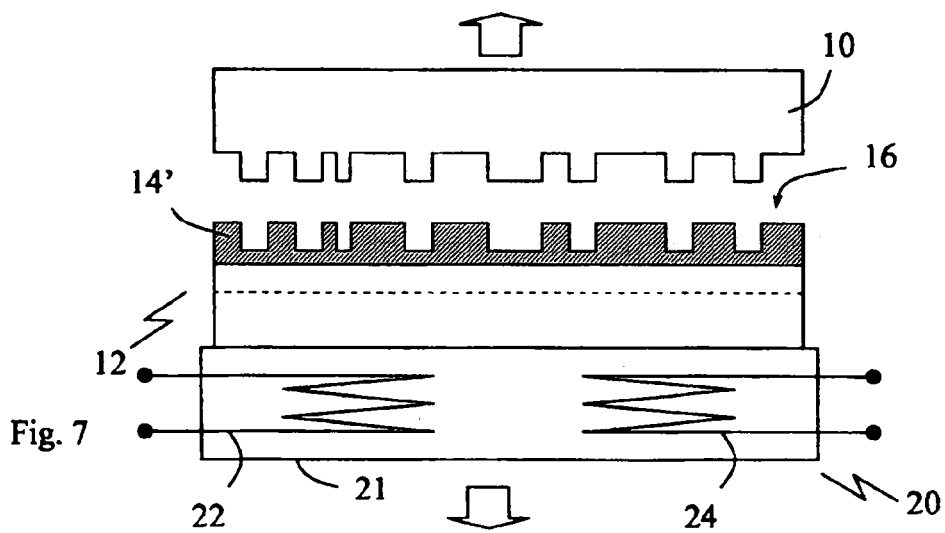
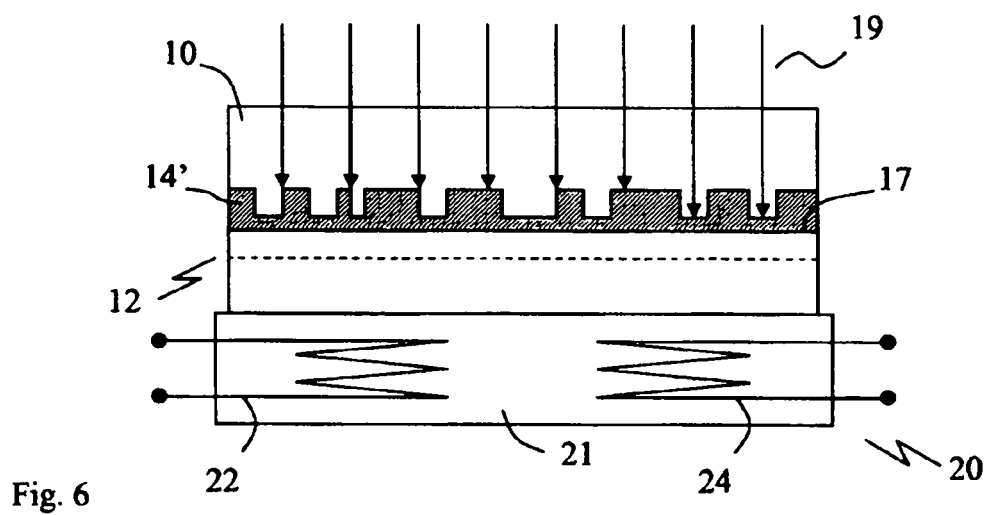
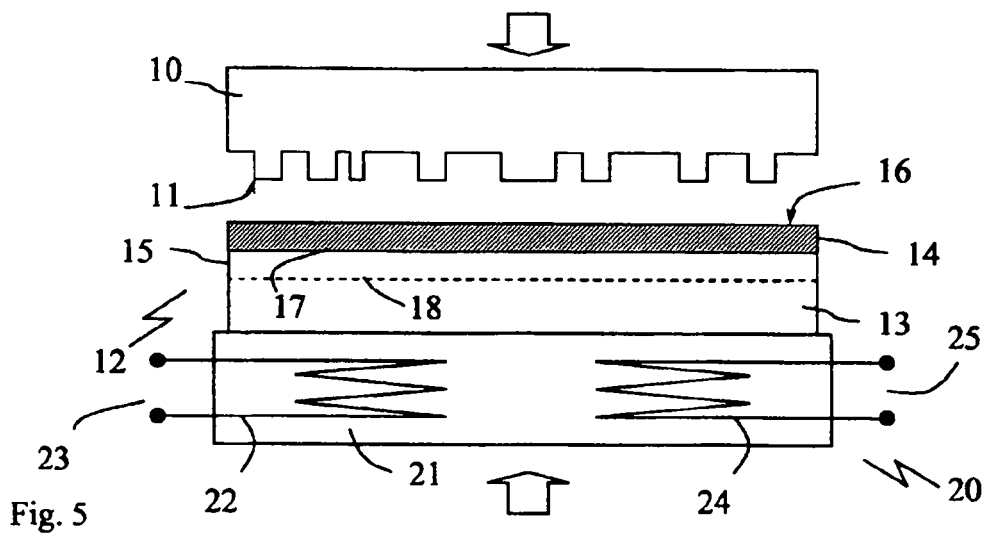


Fig. 4



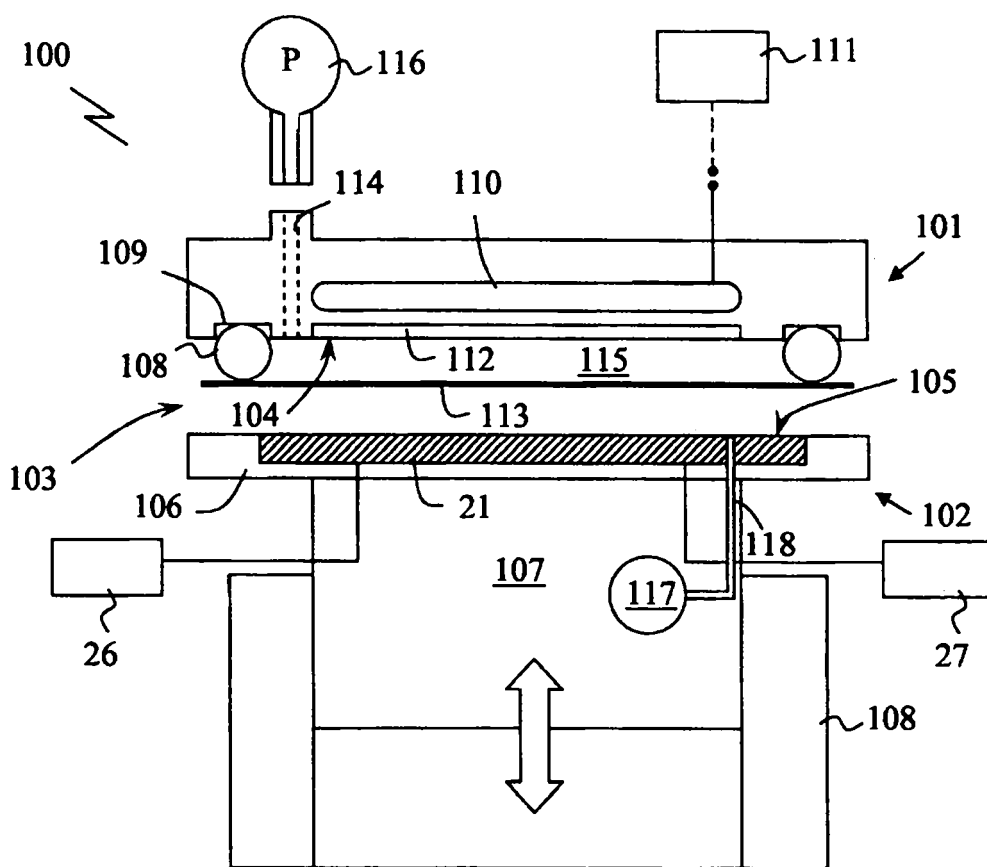


Fig. 8

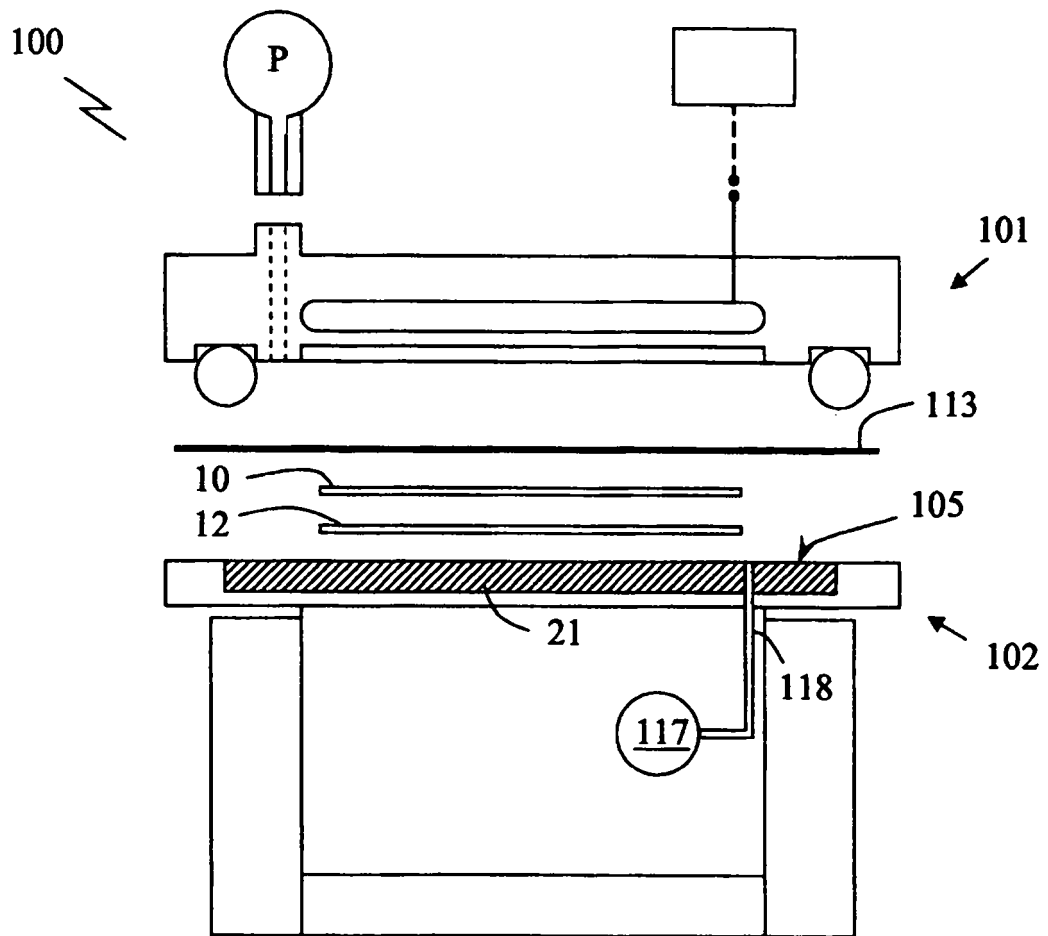


Fig. 9

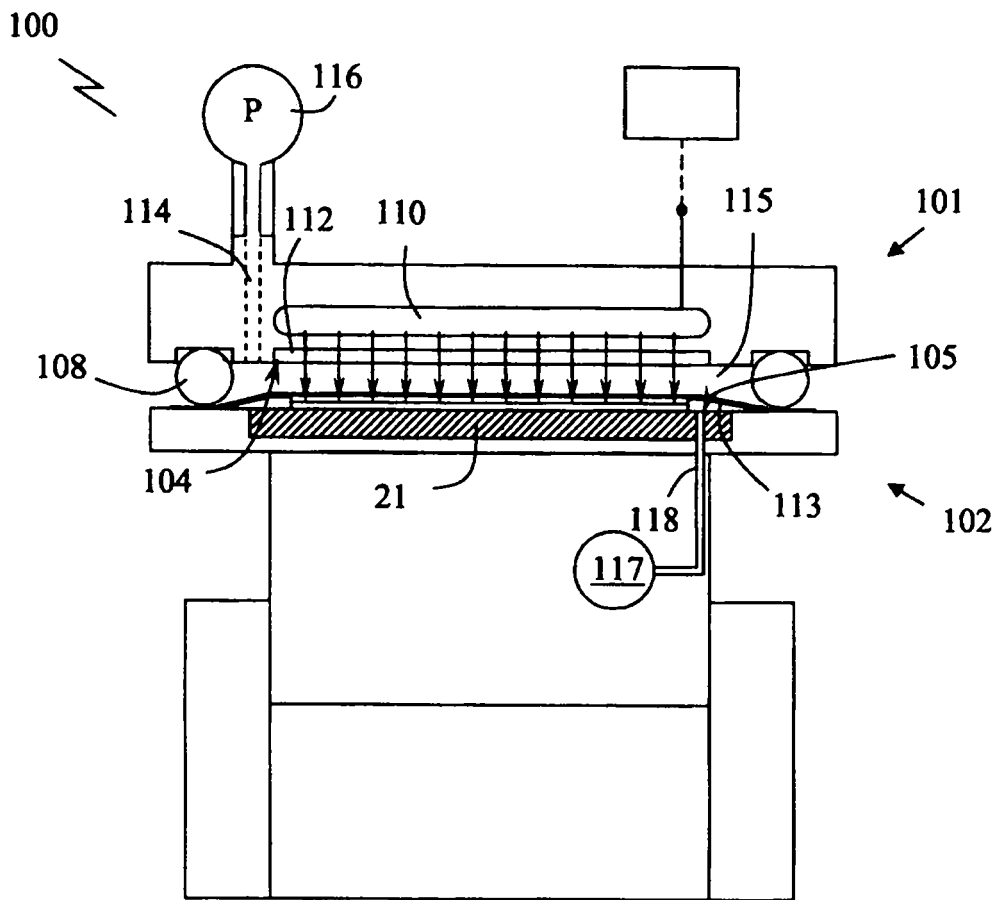


Fig. 10