

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 920**

51 Int. Cl.:

C23C 18/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.12.2011 PCT/FR2011/000679**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2012 WO12089934**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.12.2011 E 11813881 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018 EP 2659307**

54 Título: **Método para elaborar preformas tridimensionales usando aglutinantes anaeróbicos**

30 Prioridad:

29.12.2010 FR 1005157

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

29.05.2018

73 Titular/es:

**ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES) (50.0%)
29, Avenue de la Division-Leclerc
92320 Châtillon, FR y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) (50.0%)**

72 Inventor/es:

**LANDAIS, STÉPHANE;
BOUAMRANE, FAYÇAL;
BOUVET, THOMAS;
DESSORNES, OLIVIER;
JOSSO, PIERRE;
MEGTERT, STÉPHAN y
VALLE, ROGER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 669 920 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

Método de fabricación de objetos de gran precisión por litografía de alta resolución y por deposición por vía seca y los objetos así obtenidos

5 La invención se refiere a un método para fabricar objetos de alta precisión mediante litografía de alta resolución así como se refiere también a los objetos obtenidos mediante la implementación de este método.

10 Se refiere particularmente a la fabricación de objetos de alta precisión de materiales no depositables por galvanoplastia, y especialmente objetos de dimensiones pequeñas, es decir de tamaño milimétrico. Pueden ser, por ejemplo, objetos o componentes micromecánicos o sistemas electromecánicos (o MEMS, abreviación de Micro-Electro-Mechanical Systems) utilizados en el campo de la aeronáutica, la relojería, etc.

15 Es bien sabido por los expertos en la técnica que no es posible lograr tal resultado mediante una sola técnica llamada "LIGA", acrónimo de la expresión alemana "Litographie, Galvanoformung, Abformung", que significa "Litografía, Galvanoplastia, Moldeo".

20 Esta técnica consiste en cubrir un sustrato conductor o no conductor de la electricidad, con una resina polimerizada (resina positiva) o con una resina fotopolimerizable (resina negativa). Esta resina es iluminada a través de una máscara que tiene regiones opacas (o transparentes) mediante radiación electromagnética adaptada de longitud de onda corta, es decir, desde la ultravioleta (LIGA-UV) hasta los Rayos X (LIGA-X). Para esta técnica, se ha realizado por tanto una "plantilla" que define las estructuras a imprimir en el espesor de la resina. La consecuencia de la interacción polímero/onda electromagnética es destruir la polimerización de dicho polímero (resina positiva) o causar la polimerización y/o reticulación de la resina (resina negativa).

25 Las cadenas de polímero (resina positiva) han sido seccionadas, porque si no, no se genera ninguna reacción de polimerización-reticulación (resina negativa), y este polímero puede ser fácilmente eliminado.

30 La iluminación o las luces así creadas en la resina pueden ser usadas para hacer un depósito por electrólisis de una solución (método LIGA propiamente dicho) o para disolver todo o parte del sustrato sobre el que se ha depositado la resina (caso de la disolución del cobre por percloruro de hierro para la fabricación de circuitos impresos, por ejemplo). Estas técnicas han sido abundantemente descritas en la bibliografía.

35 Un método típico de LIGA, conocido por el estado de la técnica, comprende las etapas siguientes:

- elegir un sustrato conductor de electricidad;
- depositar sobre el sustrato una capa de resina fotosensible de un espesor que varía de 10 μm a 2 mm;
- polimerizar dicha resina, si es necesario;
- disponer una máscara sobre la superficie de la resina;
- 40 - irradiar la resina por medio de una línea de luz (Rayos X) de un sincrotrón (LIGA-X) o por una lámpara ultravioleta (LIGA-UV);
- desarrollar, es decir, eliminar la resina despolimerizada (resina positiva) o no polimerizada (resina negativa);
- electroformar en la cavidad creada un metal o una aleación (hierro, níquel, cobalto, cobre, zinc o aleaciones tales como níquel-cobalto, níquel-paladio o codepósitos tales como zinc-níquel, cobalto-estaño, o depósitos compuestos tales como NiCo + CrAlYTa, esta lista no es limitadora);
- 45 - eliminar la resina fotosensible; y
- separar del sustrato conductor de electricidad, los componentes micromecánicos así fabricados.

50 Tal técnica tiene la ventaja que puede producir componentes con una precisión muy alta en el plano de la deposición. Por otro lado, la precisión en la dirección perpendicular al plano de la deposición (espesor de la deposición) está, a su vez, ligada al control del método de deposición. Para obtener una precisión mejor que micrométrica en esta dirección perpendicular al plano de la deposición, existe, por supuesto, la posibilidad de crear formas imbricadas del mismo material o de un material diferente. Entonces es suficiente repetir el procedimiento en el primer nivel creado, con una segunda máscara, por ejemplo, manteniendo el mismo depósito o cambiándolo.

55 El inconveniente de tal método es, sin embargo, que necesita materiales conductores de la electricidad, excepto, tal vez, en el caso de que un material, como un óxido, esté incorporado a la estructura (deposición compuesta) o en el engastado de una piedra tal como se practica en la joyería mediante la galvanoplastia).

60 Por tanto, cualquiera que sea la técnica utilizada, existe una limitación para los materiales que forman el objeto final. Esta limitación está ligada, ya sea en el contexto de un depósito electrolítico, a las leyes de la electroquímica para depositar el material final (no es posible reducir los elementos cuyo potencial de oxidación-reducción normal (RedOx) sea menor que el intervalo de la estabilidad termodinámica de su disolvente, generalmente agua), o, en el contexto del mecanizado de precisión por medios químicos del objeto final, a las leyes de la química (el material de este objeto debe ser soluble en la solución de ataque).

65

Finalmente, esta técnica no puede ser usada para fabricar objetos micromecánicos de dimensiones bastante grandes, como cojinetes de gas de 4 mm de longitud y diámetro pequeño.

El objeto de la invención es en particular superar los inconvenientes mencionados anteriormente, el problema a resolver es fabricar un objeto micromecánico de uno o más materiales no depositables por galvanoplastia, susceptibles de resistir fuertes restricciones ambientales (corrosión, etc.) y termomecánicas, por tanto de dimensiones milimétricas o superiores, particularmente en lo que respecta a su espesor, y que pueden tener formas que no son de revolución, si bien son de precisión micrométrica, incluyendo la inclinación de las paredes formadas en el espesor del objeto, el error de inclinación objeto debe ser menor de 1 micrómetro por milímetro de espesor.

La invención propone para este fin un método de fabricación de un objeto de alta precisión formado por al menos un material inorgánico, que comprende las etapas siguientes:

- utilizar un método de fotolitografía de alta resolución implementando, en una dirección elegida Z, una radiación de longitud de onda adaptada al grado de precisión deseado, para formar un molde negativo no deformable a escala micrométrica a lo largo de las etapas del método, con un material resistente en una etapa de formación del objeto por deposición seca y que pueda ser eliminado sin alterar el objeto que ha sido fabricado, o ser separado de dicho objeto;
- elegir, independientemente del potencial normal de oxidación-reducción de sus elementos constituyentes, al menos un material inorgánico entre el conjunto de los materiales que pueden ser depositados por vía seca y que sean susceptibles de permitir al objeto a ser fabricado que satisfaga sus limitaciones termomecánicas y medioambientales; y
- realizar, por medio del molde negativo no deformable, la formación del objeto a fabricar por deposición seca de dicho al menos un material inorgánico, lo que permite fabricar un objeto que comprende al menos una parte con forma de cilindro recto (que no es necesariamente de revolución) de generatriz paralela a la dirección elegida Z, de espesor de orden milimétrico (el espesor del objeto no se corresponde necesariamente con el espesor del depósito) en la dirección Z, la precisión de las diferentes partes del objeto es superior a la micrométrica, especialmente respecto al paralelismo entre dicha dirección Z y las paredes de dicha parte generada por deposición seca, el error de la pendiente es menor que 1 micrómetro por espesor de milímetro.

Por tanto, el método de la invención consiste en su mayor parte en la combinación de dos técnicas conocidas de por sí por separado, a saber, un método de fotolitografía de alta resolución por radiación (por ejemplo, X o UV) y una deposición seca.

La primera técnica permite realizar directa o indirectamente un molde negativo no deformable, es decir una impresión del objeto a fabricar, en un material resistente según se ha definido anteriormente.

La segunda técnica permite realizar una deposición seca del material inorgánico en o sobre el molde negativo para constituir el objeto a fabricar.

La combinación de fotolitografía de Rayos X de alta resolución, en una dirección elegida Z, es decir, en la dirección del haz de la fotolitografía, y la deposición seca, permite producir piezas micromecánicas que comprenden al menos una parte en forma de un cilindro recto cuya generatriz es paralela a dicha dirección elegida Z. La pieza es obtenida con un espesor del orden milimétrico en la dirección Z y una precisión particular del paralelismo entre la dirección Z y las paredes generadas por dicha deposición seca, y esto en uno o más materiales no depositables por galvanoplastia.

Él o los materiales mencionados anteriormente son materiales inorgánicos que consisten en elementos depositables concomitantemente y elegidos independientemente del potencial de reducción-oxidación normal de sus elementos constituyentes, lo que amplía la gama de materiales que pueden ser usados a los materiales no depositables por galvanoplastia. De hecho, es bien conocido por los expertos en la técnica que la electroformación de objetos está limitada a la elección del elemento o elementos a depositar por su/sus potenciales de reducción-oxidación asociado(s) al intervalo de estabilidad termodinámica del disolvente elegido para la disolución de las sales.

La técnica LIGA es bien conocida y ha sido objeto de numerosas publicaciones en la bibliografía. Se puede hacer referencia en particular a las dos publicaciones siguientes: "Microgrippers fabricated by the LIGA technique" de S. Ballandras, S. Basrour, L. Robert, S. Megtert, P. Blind, M. Rouillay, P. Bernee, W. Daniau en Sensors and Actuators A: Volumen físico 58, Número 3, 30 de marzo de 1997, páginas 265 - 272 y "Microfabrication: LIGA-X and applications" de RK Kupka, F. Bouamrane, C. Cremers, S. Megtert en Applied Surface Science, Volumen 164 números 1 - 4, 1 de septiembre de 2000, páginas 97 - 110.

La segunda técnica implica una deposición seca de los materiales inorgánicos que deben constituir el objeto a ser fabricado.

Por la expresión "deposición seca" se entiende aquí cualquier método de deposición seca, siempre que la impresión obtenida mediante la técnica de litografía de alta resolución sea resistente a las condiciones fisicoquímicas, en particular a la atmósfera y a la temperatura de la deposición seca. Por tanto, es necesario que el material que constituye el molde negativo sea capaz de resistir la etapa de deposición seca y que a continuación pueda o ser eliminado sin alterar el objeto que ha sido fabricado, o ser separado de dicho objeto.

Esta deposición seca se elige ventajosamente entre las siguientes:

- una deposición física por pulverización catódica por triodo (PCT),
- una deposición química en fase de vapor o CVD (abreviación de Chemical Vapor Deposition), asistida o no por plasma,
- una deposición por sinterización de plasma de chispas o SPS (abreviación de Spark Plasma Sintering),
- una deposición física en fase de vapor o PVD (abreviación de Physical Vapor Deposition), y
- una deposición física por evaporación, por ejemplo, una deposición física en fase de vapor por haz de electrones o EB-PVD (abreviación de Electron Beam Physical Vapor Deposition).

Entre las diversas técnicas de deposición física mencionadas anteriormente, se prefiere particularmente la deposición por pulverización catódica por triodo (PCT), también conocida con el nombre de "Triode Sputtering", expresión anglosajona.

Se puede encontrar más información sobre esta deposición por pulverización catódica por triodo en la patente de los E.E. U.U. US 4 111 783.

Sin embargo, debe observarse que frecuentemente existe una confusión entre la deposición por pulverización catódica por triodo y la pulverización catódica por diodo, más conocida por su nombre anglosajón: "Physical Vapor Deposition" (abreviadamente, PVD).

Esta última técnica de PVD, que constituye un depósito físico en fase de vapor, está prevista también dentro del alcance de la invención, según se ha mencionado anteriormente.

En el marco de las técnicas LIGA, la técnica PVD se usa principalmente para diferentes propósitos:

- durante la etapa litográfica para hacer máscaras opacas de Rayos X (LIGA-X), según se describe en particular en la patente de los E.E. U.U. US N° 6 810 104 B2, y
- para lograr una capa de aplicación metálica que permite efectuar una electroformación (LIGA-UV), según se describe en la solicitud de la patente europea EP 1 835 050 A1.

Se conocen además técnicas de deposición física en seco. En particular, la pulverización catódica por triodo (PCT) permite obtener depósitos delgados y gruesos (hasta de algunas décimas de milímetro), e igualmente para aplicaciones muy diferentes.

Se citan, por ejemplo, los estudios realizados en el campo de compuestos de matriz de titanio que han permitido elaborar, por medio de deposición PCT de titanio o de aluminuro de titanio (TiAl) sobre fibras, materiales que tienen una excelente homogeneidad estructural y sin alteración de la fibra. Se ha descrito esta técnica, por ejemplo, en la publicación "Continuous fibre reinforced titanium and aluminium composites: a comparison", A. Vasel en Materials Science and Engineering, Volumen A263, 1999, páginas 305 - 313 y en "Intermetallic TiAl-based matrix composites: Investigation of the chemical and mechanical compatibility of a protective coating adapted to an alumina fibre", A. Brunet, R. Valle, A. Vasel en Acta Materialia, Volumen 48, 2000, páginas 4763 - 4774.

Según se ha indicado anteriormente, entre las deposiciones físicas secas que se pueden utilizar en la invención, se prefiere particularmente la deposición por pulverización catódica por triodo (PCT).

El aparato utilizado para las deposiciones PCT puede ser descrito como una cámara de vacío (con bombeo criogénico) que contiene un gas generador de plasma (por ejemplo, argón) de flujo y presión reguladas. Un filamento de tungsteno calentado por efecto Joule emite electrones que son acelerados por un ánodo. Estos electrones interactúan con los átomos de argón para dar iones Ar^+ . Un campo magnético creado por dos bobinas dispuestas arriba y abajo del objetivo hace que sea posible alargar y limitar las trayectorias electrónicas en la superficie del objetivo con el fin de aumentar las posibilidades de ionización de las moléculas de gas neutro en este lugar. Esto tiene como consecuencia aumentar el bombardeo del objetivo metálico, que consiste en el material que se va a depositar y, por tanto, causar así una aplicación de los átomos de este material que se depositan sobre el objeto a ser cubierto.

La ventaja de esta técnica es que el potencial eléctrico del objetivo no tiene influencia sobre el mantenimiento de la descarga, lo que permite la utilización eventual de voltajes bajos. Por tanto, los riesgos de avería son reducidos y el bombardeo generado es a energías más bajas, el enfriamiento necesario del objetivo es menor. Esta independencia del objetivo respecto al plasma hace que el objetivo pueda tener cualquier forma, lo que no es el caso con los

- 5 métodos de diodo. El sustrato puede también ser de cualquier forma. Dado que el método es directivo, la homogeneidad de la deposición depende entonces de su movimiento y de las sombras eventuales. Por otra parte, en el sistema de triodo, la descarga puede ser mantenida a una presión más baja que en el conjunto de diodo de corriente continua (Diodo DC, PVD tradicional) del orden de 10^{-1} a 10^{-2} Pa, lo que es una ventaja desde el punto de vista de la contaminación de las capas por el gas utilizado para formar el plasma. Finalmente, la velocidad de deposición es muy elevada.
- 10 Hasta ahora, no era posible fabricar objetos, en particular objetos micromecánicos con materiales no depositables por galvanoplastia, capaces de soportar limitaciones termomecánicas y ambientales muy fuertes (corrosión, etc.), de precisión micrométrica, especialmente respecto al paralelismo entre las paredes generadas y la dirección Z de la fotolitografía (error de pendiente de menos de 1 micrómetro por milímetro de espesor) y a fortiori de dimensión milimétrica o superior y pueden tener formas que no son de revolución.
- 15 Más específicamente, la invención que consiste esencialmente en combinar dos técnicas mencionadas anteriormente, a saber, por un lado, un método de fotolitografía de alta resolución, por ejemplo mediante Rayos X o UV, y por otro lado, un método de deposición seca, como, por ejemplo, la pulverización catódica por triodo, permite obtener tal resultado.
- 20 La deposición física seca, como la pulverización catódica por triodo, como alternativa de la electroformación ofrece la ventaja de ampliar la gama de materiales disponibles para obtener un depósito: metales puros, aleaciones multicomponentes y superaleaciones por plasma neutro o, por plasma reactivo, óxidos, nitruros, carburos... y, finalmente, mezclas de todos estos materiales con los sistemas de objetivos múltiples.
- 25 Se pueden concebir otros métodos de deposición, siempre que la impresión obtenida mediante la técnica de la litografía de alta resolución resista las condiciones fisicoquímicas de la deposición.
- Como ya se ha indicado, el método de la invención puede ser implementado según dos variantes principales, que se corresponden respectivamente a un método denominado "directo" y a un método denominado "indirecto".
- 30 En el método directo, el molde negativo es formado directamente en el material resistente. Este último puede ser, por ejemplo, una resina fotosensible o un metal.
- En el método indirecto, el molde negativo es formado indirectamente en el material resistente, la etapa del método de litografía de alta resolución comprende las siguientes subetapas:
- 35
- formar un molde positivo del objeto a fabricar con un primer material,
 - realizar en o sobre el molde positivo una deposición de un segundo material resistente y que está destinado a constituir el molde negativo.
- 40 El método de fabricación de un objeto micromecánico de dimensiones milimétricas o superiores, de alta precisión, formado por al menos un material inorgánico, comprende las etapas siguientes:
- 45
- utilizar un método de fotolitografía de alta resolución implementando, en una dirección elegida Z, una radiación de longitud de onda adaptada para formar, sobre o en un sustrato de material seleccionado, un molde negativo de precisión micrométrica con una altura milimétrica que tiene al menos una parte en forma de un cilindro de generatriz recta paralelo a la dirección elegida Z, dicho molde negativo no es deformable a escala micrométrica a lo largo de las etapas del método, con un material resistente a las condiciones fisicoquímicas y de temperatura de una etapa de formación del objeto por deposición seca y que puede ser eliminado sin alterar el objeto que ha sido fabricado, o ser separado de dicho objeto, dicho material resistente es una resina fotosensible, en cuyo caso el sustrato es enfriado y forma parte entera de dicho objeto, o es un material depositado por galvanoplastia, en cuyo caso se realiza una etapa preliminar de formación de un molde positivo de resina fotosensible del objeto;
 - elegir, independientemente del potencial de reducción-oxidación normal de sus elementos constituyentes, al menos un material inorgánico del conjunto de materiales no depositables por galvanoplastia pero que pueden ser depositados por vía seca; y
 - realizar, por medio del molde negativo no deformable, mediante deposición seca de dicho al menos un material inorgánico, una formación de un objeto micromecánico de dimensiones milimétricas o superiores.
- 55
- 60 Ventajosamente, una segunda realización del método de la invención, comprende una etapa previa en la que se elige un sustrato que a continuación es utilizado en el método de litografía de alta resolución para realizar el molde negativo.
- El molde negativo puede, dependiendo del caso, ser depositado sobre el sustrato (fotolitografía) o ser introducido en el sustrato. Además, el sustrato puede, según el caso, ser eliminado en parte o en su totalidad, ser separado o ser conservado como una parte entera del objeto final a ser fabricado. Por tanto, la naturaleza del sustrato es elegida
- 65

cada vez según el caso considerado (por ejemplo, un sustrato de níquel con una deposición de superaleación puede ser disuelto mediante un ataque químico selectivo, sin alterar el depósito).

5 Ventajosamente, en una tercera realización del método de la invención, según la segunda realización, el molde negativo es formado directamente con el material resistente.

Ventajosamente, en una cuarta realización del método de la invención, según la segunda realización el material resistente es una resina fotosensible depositada sobre dicho sustrato.

10 Ventajosamente, en una quinta realización del método de la invención, según la segunda realización, el material resistente es un metal depositado sobre dicho sustrato.

15 Ventajosamente, en una sexta realización del método de la invención, según una realización precedente, el método de fotolitografía de alta resolución es un método de fotolitografía que usa Rayos X.

De hecho, el método de fotolitografía de alta resolución es ventajosamente un método de fotolitografía que usa Rayos X para depósitos de espesor milimétrico, individuales o en línea para el desarrollo de objetos multicapa.

20 Ventajosamente, en una séptima realización del método de la invención, según una realización precedente, el método de fotolitografía de alta resolución es un método de fotolitografía que usa radiación UV.

De hecho, en el caso de depósitos de espesor micrométrico, simples o dedicados a la elaboración de objetos de espesor milimétrico de múltiples capas, es posible usar Rayos X pero también radiación UV.

25 En el caso donde se busque una mayor precisión o donde el espesor del objeto en la dirección Z sea mayor de varios milímetros, se puede usar una radiación de longitud de onda más corta, como los rayos gamma, por ejemplo.

30 Ventajosamente, en una octava realización del método de la invención, según una realización precedente, el método de la invención comprende las etapas posteriores siguientes:

- eliminar el molde negativo o separarlo del objeto a fabricar; y
- recuperar el objeto así fabricado.

35 Ventajosamente, en una novena realización del método de la invención, según una realización precedente, la etapa del método de fotolitografía de alta resolución comprende las subetapas siguientes:

- formar un molde positivo del objeto a fabricar en un primer material,
- realizar en o sobre el molde positivo una deposición electrolítica de un segundo material, metálico, y que consiste en el material resistente destinado a constituir el molde negativo,
- 40 - eliminar el primer material para recuperar el molde negativo constituido por el segundo material,

y en el que la etapa de deposición seca se realiza en o sobre el molde negativo del segundo material.

45 Ventajosamente, en una décima realización del método de la invención, según la realización precedente, el primer material es una resina fotosensible.

Ventajosamente, en una undécima realización del método de la invención, según una de las dos realizaciones precedentes, el segundo material que forma el molde negativo es un depósito electrolítico.

50 De hecho, el segundo material que forma el molde negativo es preferiblemente níquel y en este caso, la deposición del segundo material puede ser electrolítica.

55 Ventajosamente, en una duodécima realización del método de la invención, según la novena o undécima realización, el segundo material que forma el molde negativo es eliminado mediante ataque químico. De esta manera es posible recuperar el objeto final.

Ventajosamente, en una decimotercera realización del método de la invención, según una realización precedente, la deposición seca es seleccionada entre:

- 60 - una deposición por pulverización catódica por triodo (PCT),
- una deposición química en fase de vapor o CVD (abreviación de Chemical Vapor Deposition), asistida o no por plasma,
- una deposición por sinterización de plasma de chispas o SPS (abreviación de Spark Plasma Sintering),
- una deposición física en fase de vapor o PVD (abreviación de Physical Vapor Deposition), y
- 65 - una deposición física por evaporación, por ejemplo, una deposición física en fase de vapor por haz de electrones o EB-PVD (abreviación de Electron Beam Physical Vapor Deposition).

Ventajosamente, en una decimocuarta realización del método de la invención, según el método de la realización precedente, la deposición seca es una deposición por pulverización catódica por triodo (PCT).

5 Sin embargo, se pueden usar también otros tipos de deposiciones, como la deposición química en fase de vapor o "CVD" (abreviación de Chemical Vapor Deposition) asistida o no por plasma.

10 Se puede usar también una deposición por sinterización de plasma de chispas o SPS (abreviación de "Spark Plasma Syntering") o además una deposición física en fase de vapor o PVD (abreviación de "Physical Vapor Deposition").

Finalmente, es posible utilizar además métodos de evaporación como el método EB-PVD (abreviación de "Electron Beam Physical Vapor Deposition" que significa "deposición física en fase de vapor por haz de electrones").

15 Las principales ventajas de la pulverización catódica por triodo respecto a la PVD (dos electrodos a cada lado del plasma) son:

- que la descarga puede ser obtenida a una presión más baja, del orden de 10^{-1} a 10^{-2} Pa, lo que es una ventaja desde el punto de vista de la contaminación de las capas depositadas, por el gas utilizado para formar el plasma;

20 - que el tercer electrodo (situado al nivel del sustrato) permite acelerar la velocidad de obtención de la deposición seca: 10 a 15 μm por hora, lo que la acerca a la velocidad de electroformación obtenida con la galvanoplastia (entre 10 y 100 μm por hora).

25 Ventajosamente, en una decimoquinta realización del método de la invención, según una de las realizaciones precedentes, la etapa de litografía de alta resolución y la etapa de deposición se repiten al menos una vez por vía seca con otro material inorgánico para realizar un objeto formado por al menos dos materiales inorgánicos diferentes.

30 Ventajosamente, en una decimosexta realización del método de la invención, según una realización precedente, el material inorgánico es elegido entre: metales puros, aleaciones de multicomponentes, superaleaciones, o cualquier cerámica obtenida por este método y sus mezclas.

35 Por tanto, la invención se basa en una combinación única de dos técnicas cuya combinación nunca se había considerado conjuntamente hasta el presente.

La fotolitografía de alta resolución, por ejemplo mediante radiación X o UV, tiene como objetivo obtener un molde positivo o negativo de precisión micrométrica (por tanto, a priori, no deformable) del objeto que va a ser fabricado. De hecho, es la precisión de la fotolitografía X o UV de la máscara la que determina la precisión del objeto fabricado en el plano de la máscara de fotolitografía. En cuanto al paralelismo entre la generatriz de dirección Z y las paredes generadas, la fotolitografía X permite obtener una mejor precisión que un micrómetro por milímetro de espesor en la dirección Z, mientras que la fotolitografía UV no permite obtener esta precisión más que con un espesor mil veces menor, es decir, un espesor de uno o algunos micrómetros.

45 La deposición seca permite usar una gran variedad de materiales, es decir, cualquier material inorgánico y especialmente aleaciones cuyo número de constituyentes es prácticamente ilimitado.

De esta manera, se obtienen los resultados y beneficios principales siguientes.

50 En primer lugar, una alta precisión de mecanizado ya que se trata de la precisión del método de fotolitografía.

Por consiguiente, es posible realizar objetos micromecánicos de grandes dimensiones, eventualmente por ensamblaje de objetos pequeños y/o delgados (es decir, de unas pocas capas atómicas de aproximadamente 1 mm).

55 Finalmente, el método de la invención elimina el bloqueo tecnológico que constituye la limitación de elección del material, inducido por los depósitos electrolíticos, y en particular por la imposibilidad de depositar aleaciones complejas.

60 De hecho, gracias a la invención, los materiales utilizables son todos los materiales inorgánicos (aleaciones metálicas, cerámica, etc.) cuyos materiales con propiedades excepcionales, tales como las aleaciones refractarias, las aleaciones con memoria de forma, los materiales heterogéneos, las cerámicas (óxidos, nitruros, carburos, etc.).

65 Una ventaja adicional de la invención es que con ella es posible producir objetos compuestos de varios materiales, sin una interfaz de ensamblaje, cada uno obtenido mediante la técnica anterior.

En otras palabras, es posible repetir al menos una vez la etapa de litografía de alta resolución y la etapa de deposición seca con otro material inorgánico para producir un objeto formado por al menos dos materiales diferentes inorgánicos.

5 Considerando el caso particular del método que combina una fotolitografía de alta resolución (LIGA) y una pulverización catódica por triodo (PCT), se obtienen las características siguientes. En primer lugar, gracias a esta combinación, se enriquece de forma casi infinita la naturaleza de los materiales que pueden ser depositados: desde el elemento químico hasta la aleación más compleja, conservando todos la precisión que se obtiene actualmente con los únicos elementos químicos depositables por galvanoplastia.

10 Dependiendo del método utilizado (directo o indirecto) para la etapa fotolitográfica, los espesores obtenidos varían desde unas pocas capas atómicas hasta el milímetro.

15 Se obtienen los mismos resultados y ventajas anteriores:

- precisión de formación del orden micrométrico en todas las direcciones con una fotolitografía X (error de pendiente inferior a 1 $\mu\text{m}/\text{mm}$), lo que conduce a una precisión de formación jamás alcanzada, en el estado de la técnica, con una superaleación. En el caso de espesores pequeños (deposición inferior a algunos micrómetros), la utilización de la fotolitografía UV permite garantizar una precisión de formación de más o menos 1 micrómetro en todas las direcciones, lo que también conduce a una precisión de formación jamás alcanzada en el estado de la técnica con una superaleación;
- los objetos pueden tener grandes dimensiones (eventualmente mediante el ensamblaje de objetos pequeños) o de dimensiones muy pequeñas y/o muy finas (algunas capas atómicas de aproximadamente 1 nm);
- los materiales utilizables pueden ser todos los materiales inorgánicos;
- es posible también hacer objetos de varios materiales depositados sucesivamente (componentes de múltiples materiales).

30 En otro aspecto, la invención se refiere a un objeto tal como se obtiene llevando a cabo el método anterior.

Más precisamente, la solicitud presente está dirigida a un objeto micromecánico de alta precisión caracterizado por ser de precisión micrométrica a lo largo de una altura milimétrica, que comprende al menos una parte en forma de un cilindro de generatriz recta paralelo a una dirección Z, y que está formado por al menos un material inorgánico que no es depositable mediante galvanoplastia, pero es depositable por vía seca.

35 Tal objeto puede estar realizado, por ejemplo, en forma de un fiador espiral que comprende una cara anular en la que se forman salientes definidos por surcos espirales de una profundidad de unos pocos micrómetros.

40 Tal objeto puede estar hecho también, por ejemplo, con forma de un lóbulo con un tamaño milimétrico.

La invención se describe a continuación haciendo referencia a modo de ejemplo a cuatro realizaciones y a los dibujos adjuntos, estos ejemplos y dibujos se ofrecen sólo a título ilustrativo.

En los dibujos adjuntos:

45 La Figura 1 es una vista por delante de un fiador provisto de ranuras en espiral, que puede ser obtenido mediante el método de la invención;

La Figura 2 es una vista en corte a lo largo de la línea II - II de la Figura 1;

La Figura 3 representa el detalle III de la Figura 2 a escala ampliada;

50 La Figura 4 es una vista por delante de un cojinete lobulado que se puede obtener mediante el método de la invención.

La Figura 5 es una vista por delante de un cojinete lobulado análogo al de la Figura 4 insertado en un tubo de recepción;

La Figura 6 es una vista desde arriba de un molde de resina formado sobre un sustrato;

55 La Figura 7 es una vista análoga a la Figura 6 después de la formación de un objeto de níquel en el molde;

Las Figuras 8A y 8B son, respectivamente, una vista por delante y una vista lateral del objeto de níquel de la Figura 7 una vez separado del molde;

Las Figuras 9A y 9B son, respectivamente, una vista por delante y una vista en corte axial de un conjunto formado apilando cuatro objetos de níquel sobre un eje;

60 Las Figuras 10A y 10B son vistas análogas a las Figuras 9A y 9B después de la deposición PCT de una superaleación;

Las Figuras 11A y 11B son vistas análogas a las Figuras 10A y 10B después de la rectificación de la superficie exterior de la deposición de una superaleación;

Las Figuras 12A y 12B son vistas análogas a las Figuras 11A y 11B después del ajuste del conjunto en un tubo de recepción; y

65 Las Figuras 13A y 13B son vistas análogas a las Figuras 12A y 12B después de la disolución del níquel, lo que hace que sea posible obtener el cojinete lobulado ajustado en el tubo de recepción.

Ejemplo I: fabricación de un fiador de gas de ranura en espiral de superaleación (método directo)

Se propone fabricar un fiador de gas de ranuras en espiral 1 para una microturbina, como se muestra en las Figuras 1 a 3. El fiador 1 es un objeto de dimensiones muy pequeñas que se fabrica con una superaleación con base de níquel porque deberá ser sometido a temperaturas muy altas en un medio oxidante. Es un objeto anular cuyo diámetro exterior es del orden de la decena de milímetros. Una de las caras anulares 2 está microestructurada con salientes delimitados por ranuras en espiral 3 de una profundidad constante definida entre unos micrómetros y unas decenas de micrómetros (véase el detalle de la Figura 3). Tal mecanizado es imposible por técnicas convencionales (electroerosión, fresado, etc.).

De la misma manera, la fotolitografía UV asociada con la galvanoplastia no puede producir objetos de superaleación a base de níquel

Según la invención, para garantizar un error de pendiente de menos de 1 $\mu\text{m}/\text{mm}$ para las paredes generadas en la dirección Z, se ha elegido construir este tipo de fiador de ranura en espiral produciendo el negativo de los salientes, ya sea por fotolitografía de Rayos X, para una altura constante del orden de algunos micrómetros, o por fotolitografía X o UV, para una altura inferior, a la etapa de fotolitografía le sigue una deposición PCT de una superaleación.

Aquí, se usa un método de fotolitografía en un sustrato adecuado. Para hacer esto, el sustrato retenido es una superaleación llamada "IN 100" de la siguiente composición:

Elementos	Ni	Co	Cr	Al	Ti	Fe	Mo	V	Nb	C	Zr	B
% En peso	59,2	13,2	10,3	5,2	4,2	3,3	3,0	0,9	0,6	0,17	0,05	0,01

Este sustrato ha sido cubierto con resina fotosensible (por ejemplo, SU-8) (resina negativa) que puede soportar temperaturas del orden de 300° C al vacío. Una máscara fotolitográfica se coloca en la resina y la fotolitografía es realizada para producir un molde negativo de resina fotosensible. Este punto fue verificado por análisis termogravimétrico (ATG). Se ha mecanizado y colocado un objetivo de superaleación IN 738LC, cuya función es proporcionar el material que constituye el objeto que va a ser fabricado. La composición de esta aleación es la siguiente:

Elementos	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	C	B	Zr
% En peso	61	16,0	8,5	1,7	2,6	1,7	0,9	3,4	4,5	0,1	0,02	0,1

El sustrato fue dispuesto en un soporte de sustrato refrigerado de manera que su temperatura estuvo siempre por debajo de 300° C. Los parámetros de pulverización iónicos seleccionados son los siguientes: potencia disipada inferior a 7,6 W/cm² (es decir, una corriente de polarización del objetivo de 0,8 A) para una distancia objetivo-sustrato de 40 mm. En estas condiciones, se obtuvo un depósito cuya composición química es idéntica a la del objetivo. Debe observarse que los depósitos por vía seca pudieron ser efectuados paralelamente a la dirección Z de la fotolitografía (como en este ejemplo y en el ejemplo 4 que se explica continuación) o perpendicularmente a esta dirección Z (como en los ejemplos 2 y 3 que siguen a continuación) o en otro ángulo.

En esta etapa, el depósito aún no presentaba aún la microestructura característica de una superaleación: Además, las operaciones de destrucción de la máscara de resina SU-8 utilizadas en la litografía han estado confundidas con el tratamiento de homogeneización de la superaleación. Para hacer esto, todo el sustrato IN 100 + salientes en espiral en IN738 LC + resina SU-8 fue calentado a 1120° C durante dos horas bajo argón, y luego se atenuó la temperatura a 845° C durante 24 horas al aire. Resultará evidente que el primer tratamiento destruyó completamente la resina orgánica y que el segundo tratamiento eliminó cualquier rastro de carbono de la superficie.

Un examen metalográfico llevado a cabo después de estas operaciones mostró tres resultados importantes:

- 1°) La interfaz sustrato/depósito era casi invisible. Todo sucedió como si los patrones estuvieran hechos en la masa;
- 2°) El depósito presenta una microestructura típica de superaleación γ/γ' aunque, sin embargo, con una distribución de la fase γ' más fina que la constatada en el sustrato IN100;
- 3°) El tratamiento térmico no deformó la deposición.

Finalmente, el objeto así creado fue sometido a una prueba de oxidación a alta temperatura, como es habitual para cualquier objeto que debe ser utilizado en las condiciones ambientales severas (atmósfera corrosiva, etc.) de una turbina de gas. Para ello, el fiador espiral realizado mediante fotolitografía seguida de un depósito PCT fue probado por oxidación isotérmica a 1100° C durante 50 horas. No se observó ningún desprendimiento de las espirales. Al final de la prueba, se constató la formación de una capa de óxidos en la superficie de las espirales. La microestructura subyacente volvió a ser monofásica γ , lo que se explica por el consumo del aluminio de la fase γ'

para formar un óxido protector Al_2O_3 . Sin embargo, se ha observado que, respecto a la aleación masiva que formaba el sustrato, se redujo la zona de depleción del aluminio. Esta mejor resistencia de la deposición PCT probablemente es debida a la obtención de una microestructura extremadamente fina, más fina que la obtenida con un material masivo.

5 Con esta técnica, es ahora posible crear objetos de una superaleación con una precisión sin precedentes: las dimensiones micrométricas están garantizadas con una microestructura adecuada para su uso.

Ejemplo II: Fabricación de un cojinete de gas de superaleación (método indirecto)

10 Se propone fabricar cojinetes de lóbulos, formados en arcos descentrados de alta precisión y gran longitud. Un cojinete de gas 4 así es mostrado en una vista por delante en la Figura 4. Es un objeto de sección anular delimitado interiormente por tres arcos 5, 6 y 7 cuyos centros están desplazados. Estos arcos circulares están separados por las muescas respectivas 8, 9 y 10 que forman ranuras axiales. El cojinete 4 tiene un diámetro exterior de aproximadamente 5 a 6 mm y una longitud axial de 4 mm. Para construir este objeto se ha realizado por
15 fotolitografía de Rayos X profunda, cuatro moldes positivos, de polímero de 1 mm de espesor. Esta técnica permite garantizar que el paralelismo de las paredes de una microestructura respecto a la dirección Z tiene un error de pendiente de menos de 1 micrómetro por milímetro. Los 4 positivos son apilados uno sobre otro a continuación, y la alineación es proporcionada mediante ranuras de guía. A continuación, con la ayuda de un ánodo centrado en el tubo, se realiza un depósito electrolítico de níquel, dentro del tubo "lobulado" que anteriormente había sido plateado
20 químicamente para obtener una superficie conductora de electricidad (como es bien sabido por los expertos en la técnica), hasta un espesor suficiente para obtener una deposición manipulable (0,3 mm en el caso presente). Se utiliza aquí un sustrato conductor de la electricidad, por ejemplo, una aleación de aluminio tal como AU4G, conocida bajo el nombre comercial Duralumin o Dural.

25 La resina previamente depositada sobre el sustrato es destruida a continuación, lo que permite obtener un molde negativo de níquel electrolítico. Este molde negativo es situado seguidamente en el centro de un objetivo circular de IN738 LC (superaleación) y se puede iniciar la fase de deposición propiamente dicha. El espesor de la deposición es de 0.5 mm. Al final de esta operación y antes del desmontaje, el exterior de la deposición es rectificado para que entre con una ligera separación (norma ISO H7G6) en otro tubo, liso esta vez. Después de esta operación de
30 rectificación, el níquel se disuelve en una solución de ácido nítrico (50% en volumen) a la que se le ha añadido un gramo de cloruro de potasio por litro. La superaleación no puede ser atacada químicamente en estas condiciones.

Al final de estas operaciones, el cojinete lobulado de superaleación se homogeniza a $1120^\circ C$ durante dos horas bajo argón con getter (captador de gas) para oxígeno, tratamiento seguido de una atenuación de la temperatura a
35 $845^\circ C$ durante 24 horas, siempre bajo argón, con getter para oxígeno. Esta última precaución se toma para evitar la oxidación de los lóbulos. Este tratamiento en dos partes se aplica convencionalmente a las superaleaciones durante su preparación para, en primer lugar, precipitar una fase γ' finamente dispersada y, en segundo lugar, estabilizar esta misma fase. Al final de este tratamiento, se obtiene una microestructura de dos fases γ/γ' .

40 Una vez introducido en un tubo o manga receptora, se obtiene un cojinete lobulado de una gran precisión de la superaleación IN738 LC con microestructura fina. Anteriormente era estrictamente imposible trabajar con dicha superaleación (IN738 LC) sobre una longitud así (4 mm) con tal precisión (menos de un micrómetro), independientemente de los medios de fabricación empleados.

45 Ejemplo III: Fabricación de un cojinete de gas de superaleación (método indirecto)

Como en el Ejemplo II, se propone fabricar un cojinete lobulado de grandes dimensiones y de gran longitud con una superaleación. El cojinete de gas 4 de la Figura 5 es análogo al de la Figura 4, excepto que aquí se inserta en un tubo de recepción 11 que forma un manguito.

50 Comparado con el Ejemplo II, sólo cambia el método de obtención de la forma de níquel complementaria. En este caso, por ejemplo, las formas complementarias de los cojinetes del lóbulo son realizadas mediante una fotolitografía de Rayos X profunda sobre una capa 12 de resina de PMMA (metacrilato de polimetilo) sobre un sustrato conductor de la electricidad 13 (Figura 6). Este sustrato puede ser, como en el Ejemplo II, una aleación de aluminio tal como la aleación AU4G, conocida bajo el nombre comercial Duralumin o Dural.
55

A continuación se realiza una impresión de los lóbulos por electro-crecimiento de níquel en el molde de polímero para formar un objeto de níquel 14 con forma de anillo (Figura 7).

60 Un pulido químico-mecánico permite que cada objeto de níquel 14 tenga el espesor correcto (1 mm, por ejemplo). Se realiza un desbarbado electroquímico para eliminar las virutas residuales producidas durante el pulido. A continuación, el molde de PMMA es destruido por disolución en un solvente orgánico y el desprendimiento de objetos de níquel 14 es realizado mediante ataque químico del sustrato. En el caso de la aleación AU4G, este ataque se realiza con una solución básica de sosa (NaOH) a 10 g/l, esta solución es inofensiva para el níquel electroformado.
65

Se obtienen así objetos de níquel 14 análogos a los mostrados en las Figuras 8A y 8B. Cada uno de los objetos 14 está provisto de un hueco de centrado 15 con guía y exteriormente tiene salientes 16 cuyo número se corresponde con el de los lóbulos.

5 Los objetos 14 (cuatro en este caso) son apilados uno sobre otro sobre un eje de centrado 17, según se muestra en las Figuras 9A y 9B. La alineación precisa de los objetos de níquel 14 está asegurada por las guías.

10 El conjunto así formado se sitúa a continuación en el centro de un objetivo circular de aleación IN738 LC y se puede iniciar la fase de deposición PCT propiamente dicha. El espesor de la deposición 18 es de 0,5 mm (Figuras 10A y 10B).

Como en el Ejemplo II, al final de esta operación y antes del desmontaje, se rectifica el exterior de la deposición 18 con el fin de proporcionar una superficie cilíndrica lisa (Figuras 11A y 11B).

15 Esto permite que el conjunto así obtenido se ajuste de manera apretada (holgura estándar H7G6) en otro tubo liso que constituye el tubo de recepción 11 de la Figura 5.

20 Después de esta operación de rectificación, el níquel se disuelve en una solución de ácido nítrico (50% en volumen) a la que se le ha añadido un gramo de cloruro de potasio por litro. En estas condiciones la superaleación no puede ser atacada químicamente

25 Al final de estas operaciones, el cojinete lobulado de superaleación es homogenizado a 1120° C durante dos horas bajo argón getter para oxígeno, el tratamiento es seguido de una atenuación de temperatura a 845° C durante 24 horas, siempre bajo argón, con captador de oxígeno. Esta última precaución se toma para evitar la oxidación de los lóbulos. Este tratamiento de dos partes se aplica clásicamente a superaleaciones durante su elaboración para, al principio, precipitar una fase γ' finamente dispersada y, en segundo lugar, estabilizar esta misma fase γ' . Al final de este tratamiento se obtiene una estructura bifásica γ/γ' .

30 Una vez introducido en el tubo de recepción 11, se obtiene un cojinete lobulado de superaleación IN738 LC de una gran precisión con microestructura fina. Anteriormente era estrictamente imposible trabajar con dicha superaleación (IN738 LC) a lo largo de una longitud así (4 mm) con tal precisión (inferior al micrómetro) independientemente de los medios de fabricación empleados.

35 **Ejemplo IV: Fabricación de un objeto de gran precisión a partir de varios materiales**
Se propone fabricar un objeto de demostración de tamaño milimétrico utilizando varios materiales. La primera aleación elegida es una aleación con memoria de forma, concretamente el nitinol de composición estequiométrica NiTi. El segundo material es una cerámica del tipo alúmina y el tercero es otro compuesto intermetálico, γ -TiAl. Para hacer esto, el sustrato sobre el que se construye la muestra es una placa de cerámica. Aquí también, la precisión de las diferentes partes debe ser del orden del micrómetro.

40 Para hacer esto, se usa la secuencia siguiente:

- 45 - deposición sobre una placa de alúmina de una resina fotosensible SU-8. Revelada según la forma deseada después de la iluminación por una fuente de Rayos UV o de Rayos X;
- deposición PCT del NiTi sobre un sustrato enfriado (menos de 300° C);
- posicionamiento de una máscara de níquel electrolítico obtenida por fotolitografía de Rayos X;
- deposición de cerámica por PVD radiofrecuencia (PVD-RF);
- deposición sobre el conjunto de NiTi + alúmina de una última capa de SU-8 (resina);
- 50 - revelado de la última forma después de la iluminación por una fuente de Rayos UV o de Rayos X;
- deposición por PCT de la tercera aleación, la γ -TiAl;
- eliminación de todos los residuos de SU-8 y disolución del níquel electrolítico en un baño de HNO₃, a la mitad, complementado con 1 g/l de KCl.

55 Al final de estas operaciones, se obtiene un objeto bimetálico con un eje de cerámica. Dada la naturaleza de los materiales depositados, es imposible obtener este objeto por fabricación directa (deposición electrolítica, etc.). Este ejemplo ha sido elegido para demostrar la versatilidad del método de la invención.

60 Por tanto, la invención encuentra una aplicación preferencial en la fabricación de objetos micromecánicos de gran precisión, en particular en el campo de la aeronáutica, la relojería, etc.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de fabricación de un objeto micromecánico de dimensiones milimétricas o superiores, de alta precisión, formado al menos por un material inorgánico, **caracterizado por que** comprende las etapas siguientes:
- 10 utilizar un método de fotolitografía de alta resolución que emplea, en una dirección elegida Z, una radiación de longitud de onda adaptada para formar, sobre o en un sustrato de material seleccionado, un molde negativo de precisión micrométrica sobre una altura milimétrica que tiene al menos una parte en forma de cilindro recto de generatriz paralela a la dirección elegida Z, siendo dicho molde negativo no deformable a escala micrométrica durante las etapas del método, de un material resistente a las condiciones fisicoquímicas y de temperatura de una etapa de formación del objeto por deposición seca y que puede ser eliminado sin alteración del objeto que ha sido fabricado, o que se puede separar de dicho objeto, siendo dicho material resistente una resina fotosensible, en cuyo caso el sustrato es enfriado y forma parte entera de dicho objeto,
- 15 es decir, material depositado por galvanoplastia, en cuyo caso se realiza una etapa preliminar de formación de un molde positivo de resina fotosensible del objeto;
- 20 elegir, independientemente del potencial de reducción-oxidación normal de sus elementos constituyentes, al menos un material inorgánico entre el conjunto de materiales no depositables por galvanoplastia, pero que pueden ser depositados por vía seca; y
- realizar, por medio del molde negativo no deformable, mediante deposición seca de dicho al menos un material inorgánico, una formación del objeto micromecánico de dimensiones milimétricas o superiores.
- 25 2. El método según la reivindicación 1, en donde el molde negativo es formado directamente en el material resistente.
- 30 3. El método según la reivindicación 1, en donde el material resistente es una resina fotosensible depositada sobre dicho sustrato.
4. El método según la reivindicación 1, en donde el material resistente es un metal depositado sobre dicho sustrato.
5. El método según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el método de fotolitografía de alta resolución es un método de fotolitografía que emplea Rayos X.
- 35 6. El método según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el método de fotolitografía de alta resolución es un método de fotolitografía que emplea radiación UV.
7. El método según una de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo las etapas siguientes:
- 40 - eliminar el molde negativo o separarlo del objeto a ser fabricado; y
- recuperar el objeto así fabricado.
8. El método según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la etapa del método relativa a la fotolitografía de alta resolución incluye las subetapas siguientes:
- 45 - formar un molde positivo del objeto a ser fabricado con un primer material,
- realizar en o sobre el molde positivo un depósito electrolítico de un segundo material metálico, que es el material resistente destinado a constituir el molde negativo,
- eliminar el primer material para recuperar el molde negativo constituido por el segundo material,
- 50 y en donde la etapa de deposición seca es realizada en o sobre el molde negativo del segundo material.
9. El método según la reivindicación precedente, en donde el primer material es una resina fotosensible.
- 55 10. El método según una de las reivindicaciones 8 y 9, en donde el segundo material que forma el molde negativo es una deposición electrolítica.
11. El método de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el segundo material que forma el molde negativo es eliminado mediante ataque químico
- 60 12. El método según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la deposición seca es elegida entre:
- una deposición por pulverización catódica por triodo (PCT),
- una deposición química en fase de vapor o CVD (abreviación de Chemical Vapor Deposition), asistida o no por plasma,
- 65 - una deposición por sinterización de plasma de chispas o SPS (abreviación de Spark Plasma Sintering),
- una deposición física en fase de vapor o PVD (abreviación de Physical Vapor Deposition),

- una deposición física por evaporación, por ejemplo, una deposición física en fase de vapor por haz de electrones o EB-PVD (abreviación de Electron Beam Physical Vapor Deposition).

- 5 13. El método según la reivindicación precedente, en donde la deposición seca es una deposición por pulverización catódica por triodo (PCT),
- 10 14. El método según una de las reivindicaciones precedentes, en donde se repiten al menos una vez la etapa de litografía de alta resolución y la etapa de deposición seca con otro material inorgánico para realizar un objeto formado por al menos dos materiales inorgánicos diferentes.
- 15 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el material inorgánico es elegido entre: los metales puros, las aleaciones multicomponentes, las superaleaciones, o cualquier cerámica obtenida por este método y sus mezclas.
- 20 16. Objeto micromecánico de alta precisión según se obtiene mediante la implementación de un método según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** es de precisión micrométrica a lo largo de una altura milimétrica, que comprende al menos una parte en forma de cilindro recto de generatriz paralela a una dirección Z, y que está formado por al menos un material inorgánico no depositable mediante galvanoplastia pero que es depositable por vía seca.
- 25 17. Objeto según la reivindicación precedente, realizado en forma de fiador espiral (1) que comprende una cara anular (2) en la que están formados salientes que definen ranuras en espiral (3) de una profundidad de algunos micrómetros.
18. Objeto según la reivindicación 16, realizado en forma de un cojinete lobulado (4) de dimensiones milimétricas.





