(19) CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 704 572 B1

(51) Int. Cl.: C25D 5/02 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) FASCICULE DU BREVET

(21) Numéro de la demande: 02036/07

(22) Date de dépôt: 31.12.2007

(24) Brevet délivré: 14.09.2012

(45) Fascicule du brevet publié: 14.09.2012

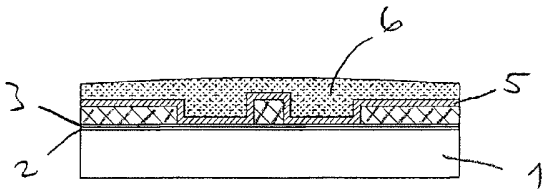
(73) Titulaire(s):
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

(72) Inventeur(s):
Jean-Charles Fiaccabrino, 1421 Grandevent (CH)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA, Rue des Sors 7
2074 Marin (CH)

(54) Procédé de fabrication d'une microstructure métallique et microstructure obtenue selon ce procédé.

(57) La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une microstructure métallique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à former par un procédé du type LIGA-UV un moule en résine photosensible et à déposer électrogalvaniquement une couche d'un premier métal (5) et ensuite une seconde couche (6) d'un deuxième métal pour former un bloc atteignant sensiblement la surface supérieure de la résine photosensible.



Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une microstructure métallique par une technologie de type LIGA. En particulier l'invention concerne un tel procédé pour la fabrication d'une telle microstructure présentant une âme réalisée en un premier métal revêtue au moins partiellement d'une couche notamment fonctionnelle, d'un deuxième métal et dont la précision des dimensions géométrique sont définies directement par le procédé. L'invention concerne également une telle pièce métallique obtenue par ce procédé.

[0002] La technologie LIGA (Lithographie Galvanik Abformung) développée par W. Ehrfeld du Karlsruhe Nuclear Research Center, Allemagne dans les années 80, s'est révélée intéressante pour la fabrication de microstructures métalliques de haute précision.

[0003] Dans son principe la technique LIGA consiste à déposer sur un substrat conducteur ou revêtue d'une couche conductrice une couche d'une résine photosensible, à effectuer à travers un masque correspondant au contour de la microstructure désirée une irradiation X au moyen d'un synchrotron; à développer, c'est-à-dire à éliminer par des moyens physiques ou chimiques les portions de la couche de résine photosensible non irradiées afin de définir un moule ayant le contour de la microstructure, à déposer électro-galvaniquement un métal typiquement du nickel dans le moule en résine photosensible puis à éliminer le moule pour libérer la microstructure.

[0004] La qualité des microstructures obtenues ne prête pas à critique, mais la nécessité de mettre en œuvre un équipement coûteux (synchrotron) rend cette technique peu compatible avec une production de masse de microstructures devant avoir un faible coût unitaire.

[0005] C'est pourquoi sur la base de ce procédé LIGA ont été développées des procédé analogues mais utilisant des résines photosensibles aux UV. Un tel procédé est par exemple décrit dans la publication de A.B. Frazier et al., intitulée «Metallic Microstructures Fabricated Using Photosensitive Polyimide Electroplating Molds», Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 2, N deg. 2, June 1993 pour la fabrication de structures métalliques par électrodéposition de métal dans des moules en résine photosensible à base de polyimide. Ce procédé comprend les étapes suivantes:

- créer sur substrat une couche métallique sacrificielle et une couche d'amorçage pour une étape ultérieure d'électrodéposition,
- appliquer une couche de polyimide photosensible,
- irradier à l'UV la couche de polyimide à travers un masque correspondant au contour de la microstructure désirée,
- développer en dissolvant les parties non irradiées de la couche de polyimide de façon à obtenir un moule en polyimide,
- déposer électro-galvaniquement du nickel dans la partie ouverte du moule jusqu'à la hauteur de celui-ci, et
- éliminer la couche sacrificielle et séparer la structure métallique obtenue du substrat et
- éliminer le moule en polyimide.

[0006] Les microstructures obtenues selon les procédés de l'art antérieur sont des microstructures métalliques réalisées en un seul métal généralement du nickel, du cuivre du nickel-phosphore, ce qui n'est pas toujours optimal selon l'application à laquelle elles sont destinées. En effet, il existe en particulier des applications pour lesquelles l'un ou l'autre de ces matériaux ne présente pas des propriétés optimales tant du point de mécanique que tribologique. Typiquement, une roue dentée doit être suffisamment rigide pour résister à la rupture en cas de sollicitation forte, mais doit également présenter des dents avec un faible coefficient de frottement pour faciliter l'engrènement. Le choix du nickel est donc très intéressant du point de vue de sa résistance mécanique, en revanche le nickel présente des propriétés tribologiques moins intéressantes puisqu'il présente un coefficient de frottement relativement élevé. Une voie pour résoudre ce problème consiste à réaliser par le procédé LIGA-UV l'âme de la microstructure désirée avec un premier métal puis à revêtir ladite âme d'une couche d'un deuxième métal par un autre procédé classique par exemple par vaporisation sous vide. Un tel procédé présente toutefois l'inconvénient de ne pas permettre d'obtenir des pièces avec des précisions géométriques maîtrisées de façon simple. Il existe donc un besoin pour un procédé permettant de s'affranchir d'un tel inconvénient.

[0007] La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients susmentionnés ainsi qu'à d'autres encore en fournissant un procédé permettant de fabriquer des microstructures adaptées, du point de vue de leur composition de façon optimale à l'application à laquelle elles sont destinées, les microstructures ainsi obtenues présentant des dimensions géométriques ayant une précision maîtrisée.

[0008] La présente invention a également pour but de fournir un tel procédé permettant de fabriquer des microstructures présentant une âme en un premier métal revêtue d'une couche d'un deuxième métal et dont la précision des dimensions géométriques souhaitée est définie par le procédé.

[0009] La présente invention a également pour but de fournir un tel procédé qui soit simple et peu coûteux à mettre en œuvre.

[0010] A cet effet l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une microstructure métallique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:
a) se munir d'un substrat recouvert d'une couche conductrice d'amorçage;
b) appliquer sur la partie conductrice de la surface du substrat une couche de résine photosensible;
c) irradier la couche de résine à travers un masque définissant le contour de la microstructure désirée;

d) dissoudre les zones non insolées de la couche de résine photosensible pour faire apparaître par endroit la surface conductrice du substrat;
e) déposer électro-galvaniquement une couche d'un premier métal à partir de ladite couche conductrice et de la couche de résine photosensible;
f) déposer électro-galvaniquement une couche d'un deuxième métal à partir de ladite couche du premier métal pour former un bloc atteignant sensiblement le niveau de la surface supérieure de la couche de résine photosensible.
g) aplanir la résine et le métal déposé pour amener la résine et le bloc électrodéposé au même niveau;
h) séparer par délamination la couche de résine et le bloc électrodéposé du substrat, et;
i) éliminer la couche de résine photosensible de la structure délaminée pour libérer la microstructure ainsi formée.

[0011] Ce procédé permet donc la réalisation de pièces terminées présentant une âme en un premier métal revêtue d'une couche d'un deuxième métal et dont la précision des dimensions géométriques souhaitée est définie par les dimensions du moule en résine photosensible dans lequel les dépôts électro-galvaniques des deux métaux ont lieu, soit en d'autres termes par la précision de la technique de photolithographie utilisée. Un choix judicieux des deux métaux formant la microstructure permet d'adapter au mieux les propriétés mécaniques de la pièce à une application donnée. Par exemple dans le cas de la réalisation d'une roue dentée, le premier métal pourra être déposé sous la forme d'une fine couche, typiquement une couche de nickel-phosphore de quelques dizaines de microns afin de favoriser un abaissement du coefficient de frottement de la pièce, et le deuxième métal pourra être déposé sous la forme d'un bloc typiquement du nickel, ce dernier conférant à la pièce la résistance mécanique à la pièce.

[0012] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention les premier et deuxième métaux présentent des propriétés mécaniques différentes et de préférence, le premier métal présente un coefficient de frottement plus faible que le deuxième métal, et le deuxième métal présente une résistance mécanique plus élevée que le premier métal. Le premier métal est par exemple un alliage Nickel-phosphore et le deuxième métal est par exemple du nickel.

[0013] Typiquement la couche d'amorçage est formée d'un empilement de couches de chrome et d'or.

[0014] Ce procédé permet de réaliser plusieurs structures micromécaniques sur le même substrat.

[0015] Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre avant l'étape h) une étape de dépôt d'une couche d'armorçage ainsi qu'une répétition des étapes b) à g) avec un second masque définissant un deuxième contour pour un deuxième niveau de la microstructure, par exemple en vue la réalisation d'une roue dentée présentant deux dentures de diamètres différents.

[0016] Le procédé de l'invention trouve une application particulièrement avantageuse pour la fabrication de pièces micro-mécaniques de mouvements d'horlogerie. En particulier, les pièces pourront être choisies parmi l'ensemble constitué des roues dentées, des roues d'échappement, des ancres, des pièces pivotées, des ressorts sautoir, des spiraux, des cames, et des pièces passives.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront plus clairement de la description détaillée qui suit d'un exemple de réalisation d'un procédé selon l'invention, cet exemple étant donné à titre purement illustratif et non limitatif seulement, en liaison avec le dessin annexé sur lequel:
– les fig. 1 à 8 illustrent les étapes de procédé d'un mode de réalisation de l'invention en vue de la réalisation d'une roue dentée.

[0018] Le substrat 1 utilisé dans l'étape a) du procédé selon l'invention est par exemple formé par une plaquette de silicium, de verre ou de céramique sur laquelle on a déposé par évaporation une couche d'amorçage, c'est-à-dire une couche apte à démarrer une réaction d'électroformage. Typiquement la couche d'amorçage est formé d'une sous-couche de chrome 2 et d'une couche d'or 3 (fig. 1)

[0019] Alternativement, le substrat peut se composer d'acier inoxydable ou d'un autre métal apte à démarrer la réaction d'électroformage. Dans le cas d'un substrat en acier inoxydable, ce dernier sera dégraissé avant usage.

[0020] La résine photosensible 4 utilisée à l'étape b) du procédé selon l'invention est de préférence une résine à base d'époxy octofonctionnelle disponible chez Shell Chemical sous la référence SU-8 et d'un photoinitiateur choisi parmi les sels de triarylsulfonium tels que ceux décrits dans le brevet US 4 058 401. Cette résine est susceptible d'être de photo polymérisée sous l'action d'un rayonnement UV. On notera qu'un solvant qui s'est révélé approprié pour cette résine est la gammabutyrolactone (GBL) (fig. 2).

[0021] Alternativement, une résine à base de phénolformaldéhydique de type Novolac en présence d'un photoinitiateur DNQ (DiazoNaphtoQuinone) peut également être utilisée.

[0022] La résine 4 est déposée sur le substrat 1 par tout moyen approprié typiquement à la tournette jusqu'à l'épaisseur souhaitée. Typiquement l'épaisseur de résine est comprise entre 150 mu et 1 mm. Selon l'épaisseur désirée et la technique de dépôt utilisée la résine 4 sera déposée en une ou plusieurs fois.

[0023] La résine 4 est ensuite chauffée entre 90 et 95 °C pendant une durée dépendant de l'épaisseur déposée pour évacuer le solvant.

[0024] L'étape c) suivante illustrée à la fig. 3 consiste à irradier la couche de résine au moyen d'un rayonnement UV à travers un masque définissant le contour de la microstructure désirée et ainsi des zones insolées 4a et des zones non

insolées 4b. Typiquement, cette irradiation UV est de 200 à 1000 $mJ \cdot cm^{-2}$, mesurée à une longueur d'onde de 365 nm selon l'épaisseur de la couche. Le cas échéant, une étape de recuit de la couche peut être nécessaire pour compléter la photopolymérisation induite par l'irradiation UV. Cette étape de recuit est effectuée de préférence entre 90 °C et 95 °C pendant 15 à 30 mn. Les zones insolées (photopolymérisées) deviennent insensibles à une grande majorité de solvants. Par contre, les zones non insolées pourront ultérieurement être dissoutes par un solvant.

[0025] L'étape d) suivante illustrée à la fig. 4 consiste à développer les zones non insolées 4b de la couche de résine photosensible pour faire apparaître par endroit la couche conductrice 3 du substrat 1. Cette opération est réalisée par dissolution des zones non insolées 4b au moyen d'un solvant choisi parmi la GBL (gammabutyrolactone) et le PGMEA (propylène glycol méthyle éthyle acétate). Un moule en résine photosensible insolée 4a présentant les contours d'une structure métallique est ainsi réalisé.

[0026] L'étape e) suivante illustrée à la fig. 5 consiste à déposer électro-galvaniquement dans le moule une couche 5 d'un premier métal à partir de ladite couche conductrice en veillant à ce que la première couche ne s'étende que sur une partie de la profondeur du moule et s'étende également le long des parois verticales du moule. Pour ce faire, la couche de résine formant le moule a soit été activée afin de la rendre conductrice soit été revêtue d'une couche conductrice d'amorçage. L'épaisseur de la couche 5 de ce premier métal correspond à l'épaisseur du chemisage de la microstructure que l'on souhaite obtenir, typiquement, l'épaisseur de cette couche pourra être comprise entre quelques microns et quelques dizaines de microns.

[0027] L'étape f) suivante illustrée à la fig. 6 consiste à déposer électro-galvaniquement dans le moule revêtue de la couche 5, une couche 6 d'un second métal différent du premier jusqu'à former un bloc atteignant sensiblement la surface supérieure de la résine photosensible, le bloc étant formé de la couche 5 du premier métal et de la couche 6 du deuxième métaux. Par métal dans ce contexte sont bien entendu compris les alliages métalliques. Typiquement, les premier et deuxième métaux seront choisi parmi l'ensemble comprenant le nickel, le cuivre, l'or ou l'argent, et comme alliage l'or-cuivre, le nickel-cobalt, le nickel-fer, et le nickel-phosphore.

[0028] L'épaisseur de la couche du deuxième métal peut varier en fonction de l'utilisation de la microstructure désirée. Typiquement, l'épaisseur de la couche du deuxième métal peut varier entre 100 microns à 1 mm. Dans une application particulière telle qu'une came on pourra par exemple réaliser une microstructure comprenant une couche 5 présentant de bonnes qualités tribologiques typiquement réalisée en nickel-phosphore, et une couche 6 d'un deuxième métal résistant mécaniquement, typiquement du nickel.

[0029] Les conditions d'électroformage, notamment la composition des bains, la géométrie du système, les tensions et densités de courant, sont choisis pour chaque métal ou alliage à électro-déposer selon les techniques bien connues dans l'art de Pélectroformage (cf. par exemple Di Bari G.A. «electroforming» Electroplating Engineering Handbook 4th Edition rédigée par L.J. Durney, publié par Van Nostrand Reinhold Compagny Inc., N.Y. USA 1984).

[0030] Dans une étape g) subséquente illustrée à la fig. 7 on procède à la mise à niveau du bloc électro-formé avec la couche de résine. Cette étape peut se faire par abrasion et polissage afin d'obtenir directement des microstructures ayant une surface supérieure plane présentant notamment un état de surface compatible avec les exigences de l'industrie horlogère pour la réalisation de mouvement de haut de gamme.

[0031] L'étape h) suivante illustrée à la fig. 8 consiste à séparer par délamination la couche de résine et le bloc électrodéposé du substrat. Une fois cette opération de délamination effectuée, on élimine la couche de résine photosensible de la structure délaminée pour libérer la microstructure M ainsi formée. Pour ce faire, on dissout dans une étape i) la résine photopolymérisé par la N-méthylepyrrolidone (NMP) ou encore on élimine cette résine par une attaque plasma.

[0032] La microstructure ainsi libérée peut soit être utilisée directement ou le cas échéant après un usinage approprié.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une microstructure métallique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:
   a) se munir d'un substrat recouvert d'une couche conductrice d'amorçage.
   b) appliquer sur la partie conductrice de la surface du substrat une couche de résine photosensible;
   c) irradier la couche de résine à travers un masque définissant le contour de la microstructure désirée;
   d) dissoudre les zones non insolées de la couche de résine photosensible pour faire apparaître par endroit la surface conductrice du substrat;
   e) déposer électro-galvaniquement une couche d'un premier métal à partir de ladite couche conductrice et de la couche de résine photosensible;
   f) déposer électro-galvaniquement une couche d'un deuxième métal à partir de ladite couche du premier métal pour former un bloc atteignant sensiblement le niveau de la surface supérieure de la couche de résine photosensible;
   g) aplanir la résine et le métal déposé pour amener la résine et le bloc électrodéposé au même niveau;
   h) séparer par délamination la couche de résine et le bloc électrodéposé du substrat, et
   i) éliminer la couche de résine photosensible de la structure délaminée pour libérer la microstructure ainsi formée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les premier et deuxième métaux présentent des propriétés mécaniques différentes.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le premier métal présente un coefficient de frottement plus faible que le deuxième métal et en ce que le deuxième métal présente un résistance mécanique plus élevée que le premier métal.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le premier métal est un alliage nickel-phosphore et le deuxième métal est du nickel.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche d'amorçage est formée d'un empilement de couches de chrome et d'or.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que plusieurs structures micromécaniques sont fabriquées sur le même substrat.
7. Microstructure métallique obtenue à partir du procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle forme une pièce micromécanique d'un mouvement d'horlogerie et étant notamment choisie parmi l'ensemble constitué des roues dentées, des roues d'échappement, des ancres, des pièces pivotées, des ressorts sautoir, des ressorts spiral, des pièces passives et des cames.

Fig. 1

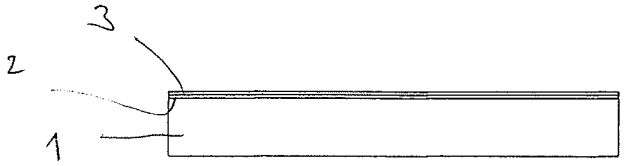


Fig. 2

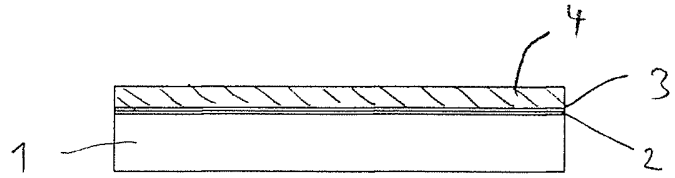


Fig. 3

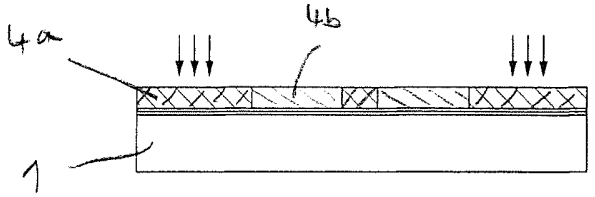


Fig. 4

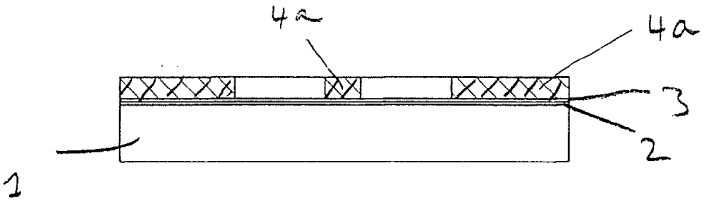


Fig. 5

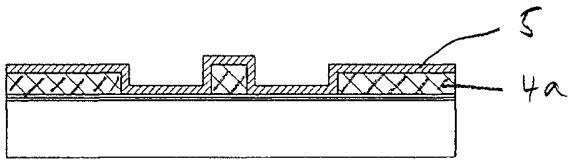


Fig. 6

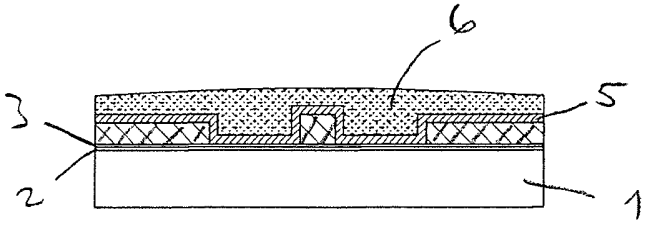


Fig. 7

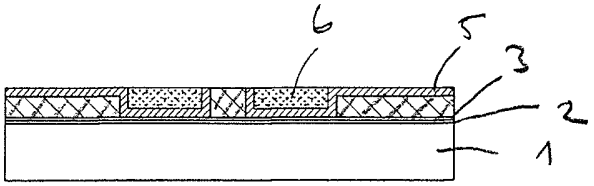


Fig. 8

