



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH

704 086 A2

(51) Int. Cl.: **G03F** 7/00 (2006.01)
C25D 1/16 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01894/10

(22) Date de dépôt: 11.11.2010

(43) Demande publiée: 15.05.2012

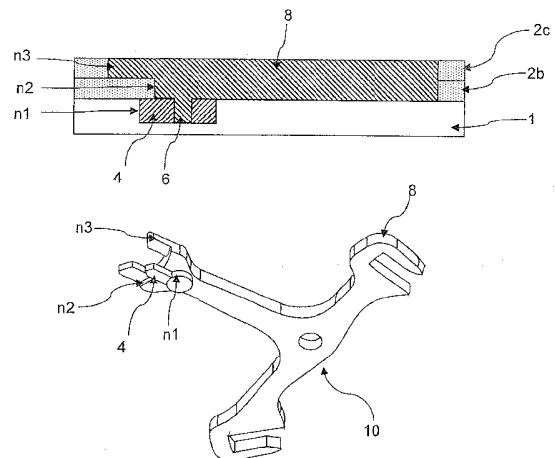
(71) Requêteur:
Mimotec S.A., Route des Iles 20
1950 Sion (CH)

(72) Inventeur(s):
Grégoire Genolet, 1926 Fully (CH)
Marc-André Glassey, 1967 Bramois (CH)

(74) Mandataire:
LEMAN CONSULTING S.A., Chemin de Précossy 31
1260 Nyon (CH)

(54) **Pièces métalliques multi-niveaux obtenues par un procédé du type LIGA et méthode de fabrication s'y référant.**

(57) La présente invention concerne une méthode de fabrication de micro-pièces métalliques tridimensionnelles comportant au moins un assemblage de deux éléments obtenus par photolithographie et électroformage formant respectivement un premier et un second niveau de la pièce. Un second élément de ces micro-pièces est imbriqué et solidaire d'un premier élément rapporté (4) positionné dans un moule obtenu par des procédés dérivés de la photolithographie. Ce second élément formant le second niveau (n2) constitué par une couche métallique (8) est ainsi intimement lié à l'élément rapporté (4) formant le premier niveau (n1) soit par au moins un orifice (6) traversant formé dans l'élément rapporté (4), soit par enrobage de la couche métallique (8) d'au moins une portion du contour de l'élément rapporté (4). De plus, le second niveau (n2) s'étend partiellement ou entièrement sur le premier niveau (n1) et sur une zone extérieure au voisinage dudit premier niveau (n1). Les deux niveaux (n1, n2) pouvant être constitués par des métaux identiques ou différents.



Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine de la fabrication de micro pièces métalliques par électroformage en particulier des pièces présentant au moins deux niveaux superposés non nécessairement inclus l'un dans l'autre ayant chacun une forme prédéfinie. Certaines pièces utilisées dans l'horlogerie comme par exemple des ancrs avec dard intégré, des engrenages avec dentures décalées etc., sont également des objets de l'invention ainsi que de la méthode permettant de les réaliser avantageusement.

Arrière plan technique

[0002] Le procédé de fabrication de micro pièces ou composants par irradiation d'une couche photosensible aux rayons ultraviolets suivie d'une étape d'électroformage est connu et est décrit par exemple dans le brevet EP0851295B1.

[0003] Ce procédé est dérivé de la technique LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung) qui consiste à:

- déposer sur un substrat une couche de 1 à 2000 μm d'une résine photosensible (photoresist);
- effectuer à travers un masque une irradiation au moyen d'un synchrotron ou par une exposition de rayons ultraviolets;
- développer, c'est-à-dire éliminer par des moyens chimiques les portions de photoresist non polymérisées et créer de ce fait une cavité ou un moule en photoresist.
- électroformer un métal dans cette cavité afin d'obtenir une micro pièce métallique.

[0004] L'avantage de cette technique est de réaliser des pièces ou composants mécaniques d'une très grande précision en X et Y et avec une épaisseur allant jusqu'à plusieurs millimètres. Il est également possible d'appliquer ce procédé en plusieurs étapes pour obtenir un composant en plusieurs niveaux, chaque niveau étant construit sur le précédent. Seules des pièces dont le niveau supérieur inclus totalement le niveau inférieur peuvent être fabriqués selon cette méthode.

[0005] Ce procédé est décrit plus avant dans la demande de brevet EP1 225 477A1 et détaille le processus de masquage, d'irradiation et de dissolution de la partie non irradiée. Cette technique est bien connue pour la fabrication de pièces pour l'horlogerie telles que par exemple des roues dentées, des cames, bascules ou ponts.

[0006] Plusieurs techniques de fabrication de pièces multi niveaux basées sur le procédé LIGA sont décrites dans des documents de l'art antérieur à savoir:

[0007] WO2007/104 171A2 qui décrit une méthode de fabrication d'une pièce à deux niveaux comprenant une étape de dépôt d'une couche d'or d'accrochage sur le premier niveau de la pièce précédant le dépôt du second niveau sur le premier. Il n'y a donc pas d'assemblage entre les niveaux, les couches adhèrent de façon planaire l'une par rapport à l'autre par le biais d'une couche d'accrochage.

[0008] WO2009/083 488A1 qui décrit une technique de fabrication par le procédé LIGA d'une pièce en formant un moule de photoresist sur un substrat dans lequel est déposée galvaniquement une première couche uniforme d'un premier métal et ensuite une seconde couche d'un second métal enrobant la première couche. Il s'agit ici d'enrober une pièce à 1 niveau par un métal pour former une coque.

[0009] WO2010/020 515A1 qui décrit la fabrication d'une pièce à plusieurs niveaux en réalisant un moule de photoresist complet correspondant à la pièce finale à obtenir avant l'étape de dépôt galvanique du métal de la pièce dans le moule. Seules des pièces multi-niveaux dont les niveaux sont inclus l'un dans l'autre sont réalisables par cette méthode.

[0010] EP1 462 859A2 qui décrit un procédé multi niveaux de réalisation de pièces complexes dont les niveaux supérieurs sont un sous-ensemble des niveaux précédents. Deux niveaux différents sont formés en deux dépôts de photoresist pour former un moule. Avant la phase d'électroformage de la pièce, une couche conductrice est déposée sur les parois du moule pour que le dépôt des particules métalliques soit effectué de manière homogène. Comme dans le cas de la méthode décrite par le document précédent WO2010/020515A1, seules des pièces multi-niveaux dont les niveaux sont inclus l'un dans l'autre sont réalisables selon ce procédé.

[0011] Le document EP1 916 567B1 une méthode de fabrication d'une pièce composée d'au moins deux éléments, soit une partie métallique obtenue par électroformage, et au moins un élément rapporté obtenu par un autre procédé de fabrication et comprenant au moins un flanc en contact avec la partie métallique. La liaison entre l'élément rapporté et la partie métallique est dite intime c'est-à-dire résultant de la croissance par électroformage de la partie métallique le long du flanc de l'élément rapporté. Le ou les éléments rapportés sont ainsi entièrement ou partiellement enserrés dans le métal déposé par électroformage.

[0012] Pour obtenir des pièces à multi-niveaux dont les niveaux ne sont pas inclus les uns dans les autres, les pièces doivent être assemblées entre elles par enchâssement, sertissage, vissage ou autre emboutissage.

[0013] Ces opérations sont délicates du fait de la petitesse des pièces en jeu et les faibles portées de soutien. Il arrive que lors de cet assemblage, on détériore les pièces en présence.

[0014] A chaque opération, on ajoute de plus une imprécision résultant des tolérances des différentes pièces à assembler.

Description sommaire de l'invention

[0015] Ainsi, un des buts de la présente invention est de faciliter les opérations subséquentes d'assemblage pour l'obtention de pièces obtenues par le procédé LIGA à multi-niveaux dont les niveaux ne sont pas nécessairement inclus l'un dans l'autre.

[0016] Un autre but de la présente invention est de fabriquer des micro-pièces métalliques tridimensionnelles obtenues par procédé LIGA à plusieurs niveaux auto-assemblées par imbrication réalisées en plusieurs phases d'électroformage. Les différents niveaux de ces micro-pièces peuvent être composés de matériaux différents.

[0017] Ces buts sont atteints par une méthode décrite par la revendication 1.

[0018] La pièce réalisée par la méthode comporte au moins deux niveaux imbriqués l'un dans l'autre grâce à la croissance du deuxième niveau de la pièce autour ou dans une partie du premier niveau de la pièce par croissance de la couche métallique le long d'un flanc dudit premier niveau. Il s'agit d'un auto-assemblage.

[0019] Le positionnement d'un premier niveau de la pièce se fait dans un premier moule obtenu soit par une gravure profonde du substrat, soit par le procédé de lithographie d'une résine épaisse, soit par une combinaison des deux méthodes. Un second moule d'un deuxième niveau du composant est obtenu en structurant par irradiation, polymérisation et développement une couche de photoresist.

[0020] La fabrication selon la méthode de pièces métalliques comportant au moins deux niveaux, nécessite au moins l'assemblage de deux éléments obtenus chacun par le procédé LIGA. Les différents niveaux ne sont pas nécessairement inclus l'un dans l'autre et sont positionnés entre eux en utilisant la photolithographie. La méthode comprend les étapes suivantes:

- formation d'un premier moule gravé dans un substrat silicium ou dans de la résine polymérisée
- placement d'un élément rapporté dans le premier moule, ledit premier moule servant de guide à l'élément rapporté,
- irradiation au travers d'un photomasque d'une couche de photoresist appliquée sur le substrat définissant un deuxième niveau de la pièce,
- polymérisation de cette couche de photoresist et élimination de la couche de photoresist non polymérisée, la partie de photoresist restante constituant un second moule de photoresist pour former le deuxième niveau de la pièce,
- dépôt d'une couche métallique par électroformage sur le substrat de sorte que la croissance de la couche métallique s'effectue au moins sur une portion des flancs de l'élément rapporté,
- obtention de la pièce en séparant le substrat de la couche métallique électroformée. Les deux niveaux de la pièce formés d'une part par l'élément rapporté et d'autre part par la couche métallique sont ainsi solidaires. Lors d'une dernière étape, le moule de photoresist est éliminé.

[0021] La présente invention concerne également un produit fini sous la forme d'une pièce selon la revendication 9 composée d'au moins deux niveaux, les deux obtenus par photolithographie et électroformage, le premier niveau étant rapporté, et comprenant au moins un flanc en contact avec la partie métallique du deuxième niveau, la liaison entre les éléments métalliques est dite intime et résulte de la croissance du deuxième niveau le long du flanc de l'élément rapporté.

[0022] La pièce est caractérisée en ce que le ou les éléments rapportés sont guidés et positionnés par un moule gravé dans un substrat ou réalisé en photoresist. Le terme «guidé» signifie que le ou les éléments rapportés sont maintenus dans le moule de manière à interdire tout déplacement ou mouvement de l'élément lors du processus de fabrication de la pièce et plus particulièrement lors de l'électroformage du deuxième niveau.

[0023] La croissance de la couche métallique sur le substrat va enserrer l'élément rapporté et elle fera ainsi partie de la pièce finale. Le moule gravé dans le substrat ou en photoresist a pour but de positionner l'élément rapporté avant la phase de dépôt de métal du reste de la pièce. L'indexation entre la deuxième pièce métallique électroformée et l'élément métallique rapporté devient très précise car le même moule qui définit la deuxième pièce électroformée définit également la position de référence de l'élément rapporté.

[0024] L'élément du second niveau est imbriqué et intimement lié à l'élément rapporté du premier niveau par au moins une portion de flanc formant un contour comprenant une suite de parties convexes et/ou concaves de sorte que le second élément du second niveau enserre une portion du contour de l'élément rapporté.

[0025] Selon une variante, la pièce rapportée comprend au moins un orifice traversant, de forme quelconque, dont le fond est constitué par le fond du premier moule. Le pourtour de l'orifice est ainsi entièrement formé par le métal de la pièce. Le métal déposé par électroformage du second niveau remplit l'orifice à partir du substrat en se liant avec le métal des flancs de l'orifice pour s'étaler sur la base du second moule en atteignant une épaisseur prédéfinie. La base du second moule est constituée à la fois de tout ou partie de la surface supérieure de la pièce rapportée et d'au moins une portion de surface du substrat du premier moule.

[0026] Selon une autre variante, la pièce métallique rapportée est placée dans le premier moule de manière à former un espace adjacent dont le pourtour est composé par une portion du flanc de la pièce rapportée et une portion du flanc du premier et du second moule de photoresist. La forme de l'espace est ainsi définie par celle des portions de flanc de la pièce rapportée et de flanc des couches de photoresist. Le métal de la seconde couche formant le second niveau de la pièce remplit l'espace en enrobant la portion de flanc de l'élément rapporté. Cette portion de flanc comporte de préférence

des creux et/ou des protubérances assurant un enrobage solide excluant une séparation ultérieure des niveaux par des forces de cisaillement.

[0027] Il est à noter que le nombre d'orifices et d'espaces adjacent à des portions de flancs de l'élément rapporté n'est pas limité à un seul pour une même pièce. L'élément rapporté peut en effet comporter plusieurs orifices et/ou plusieurs espaces entre le flanc de la couche et les parois de la cavité du moule.

[0028] Il est également à noter que le nombre d'éléments rapportés n'est pas limité à un seul pour une même pièce.

[0029] Comme l'élément rapporté est obtenu par LIGA, il est dans un matériau conducteur. Une étape de dépose d'une couche isolante telle qu'une laque par exemple sur l'élément rapporté peut être réalisée. Cette opération peut être effectuée soit avant la dépose de l'élément rapporté dans le moule, soit postérieurement, par dépôt sélectif de la couche isolante grâce à un masque chablon. Un autre moyen d'isoler l'élément rapporté est l'application d'une sous-couche de photoresist mince sur le substrat et sa polymérisation au moins à l'endroit où va se trouver cet élément.

[0030] Il est également à noter que la pièce ainsi obtenue peut être formée de différents matériaux tels que du NiP (nickel-phosphore) pour des parties devant être amagnétiques et/ou glissantes et du Ni (nickel) pour des parties nécessitant de bonnes propriétés mécaniques ressort. La pièce peut également être composée d'or et de nickel si des différences de densité sont nécessaires dans un même composant. Les différents composants de la pièce pouvant être formés dans des matériaux différents.

[0031] Selon une troisième variante, l'élément rapporté peut être formé de plusieurs niveaux. La liaison entre les composants se faisant le long des flancs d'un des niveaux de la pièce rapportée.

[0032] La présente invention concerne également une pièce composée d'au moins deux niveaux constitués chacun par une couche métallique obtenue par photolithographie et dont le positionnement relatif est obtenu grâce à un moule de photoresist ou gravé dans le substrat, et par électroformage, caractérisée en ce que la couche métallique du second niveau est imbriquée et intimement liée à un élément rapporté par au moins une portion de surface et de flanc de la couche métallique dudit élément rapporté et en ce que le second niveau s'étend partiellement ou entièrement sur le premier niveau et sur une zone extérieure au voisinage dudit premier niveau de sorte que le contour d'une projection orthogonale du second niveau englobe tout ou partie du contour du premier niveau.

[0033] Les niveaux de la pièce sont intimement liés entre eux grâce à la croissance de la seconde couche métallique dans la première. Cette croissance a lieu sur tout ou partie de la surface de l'élément rapporté, dans un orifice et/ou sur une portion du contour cette couche métallique. Une séparation des niveaux n'est ainsi pas possible sans détruire la pièce. Les niveaux sont ainsi auto-assemblés lors de l'électroformage du niveau supérieur et positionnés l'un par rapport à l'autre de manière précise par procédé photolithographique.

Brève description des figures

[0034] L'invention sera mieux comprise grâce à la description détaillée qui va suivre en se référant aux dessins annexés dans lesquels:

- La fig. 1 illustre les différentes étapes de la méthode selon l'invention pour obtenir une pièce à deux niveaux imbriqués non nécessairement inclus l'un dans l'autre dont les composants des deux niveaux sont définis par le procédé LIGA. Le premier composant formant l'élément rapporté et comportant deux niveaux est inséré dans une cavité d'un moule en photoresist.
- La fig. 2 illustre une variante de la méthode dans laquelle l'élément rapporté à deux niveaux est inséré dans un moule obtenu par gravure dans le substrat.
- La fig. 3 illustre une variante de la méthode dans laquelle l'élément rapporté, composé d'un seul niveau, comporte un trou traversant qui sera rempli par le métal de la seconde couche formant le second niveau.
- La fig. 4 illustre une variante de la méthode dans laquelle deux éléments sont rapportés par l'intermédiaire d'un moule gravé dans le substrat.
- La fig. 5 montre un exemple de pièce d'horlogerie réalisé par la méthode de l'invention en utilisant un premier moule gravé dans le substrat pour le premier niveau et deux moules de photoresist pour les deux niveaux supérieurs.

Description détaillée de l'invention

[0035] Selon les fig. 1 à 4, le substrat 1 est généralement une plaque de verre, de silicium ou de métal sur laquelle est déposée une couche conductrice réalisée par exemple par une évaporation de chrome et d'or. Sur cette couche conductrice est déposée puis séchée une couche photoresist sensible aux rayons ultraviolets (ou aux rayons X selon la technologie choisie).

[0036] Cette couche de photoresist 2a est ensuite irradiée par une source à ultraviolets à travers une plaque en verre sur laquelle a été structuré un motif en chrome. Cette plaque avec sa découpe de chrome est appelée un photomasque utilisé dans les étapes A et D illustrées par les fig. 1 à 4.

[0037] La lumière arrivant parfaitement perpendiculairement sur le photomasque, seules les portions de photoresist non protégées par le motif en chrome seront irradiées. Les flancs des portions de photoresist sont ainsi perpendiculaires au substrat.

[0038] Dans le cas particulier d'une résine négative comme par exemple le SU8, un recuit de la couche de photoresist provoque la polymérisation dans les zones ayant reçu le rayonnement UV. Cette partie polymérisée devient insensible à la plupart des solvants par opposition aux zones non irradiées qui sont dissoutes par un solvant adéquat.

[0039] Dans le cas d'une résine positive, utilisée en générale dans la gravure d'un substrat, la résine est polymérisée et rendue soluble par une exposition à la lumière. Dans certains cas, la résine positive est utilisée pour graver une couche intermédiaire destinée à masquer les zones non gravées.

[0040] Les axes a des vues de dessus dans les fig. 1 à 4 définissent les vues en coupe correspondantes des étapes de réalisation premiers et seconds niveaux de la pièce.

[0041] L'étape A illustrée par la fig. 1 et les étapes A, B illustrées par les fig. 2 à 4 sont des étapes préliminaires de préparation d'un moule qui va servir de guide à un élément rapporté 4. Ce guidage peut être fait soit par la partie extérieure de l'élément rapporté 4, soit par un orifice dudit élément comme représenté à la fig. 3, soit par une combinaison des deux.

[0042] L'étape A consiste à déposer et irradier au travers d'un premier photomasque 3a, une première couche de photoresist 2a préalablement appliquée sur le substrat 1. Cette première couche 2a de photoresist est polymérisée selon le motif du photomasque 3a et les parties de la couche non polymérisée sont éliminées par voie chimique. La partie de photoresist restante forme un moule.

[0043] Un élément 4 obtenu également par un procédé LIGA est rapporté dans le moule et va définir un premier niveau du composant à multi-niveaux, (étape B). Cet élément 4 comporte dans cet exemple un premier niveau de base 4' et une protubérance format un second niveau supérieur 4''. Les contours de ces niveaux 4' et 4'' peuvent être de forme quelconque avec des flancs verticaux car l'élément est issu d'un procédé photolithographique LIGA. La forme de la cavité 5 du moule est déterminée par la forme du contour de l'élément rapporté 4 qui est en contact avec les parois de la cavité 5 de manière à empêcher tout déplacement de l'élément 4 lors de la réalisation du second niveau de la pièce. L'exemple de la figure 1 montre un élément rapporté 4 avec un niveau de base 4'' à six cotés dont quatre côtés sont en contact avec chacune des quatre parois de la cavité 5 rectangulaire du moule.

[0044] A l'étape C, une seconde couche de photoresist 2b est déposée sur le substrat 1 et irradiée en utilisant un second photomasque 3b qui masque tout ou partie de l'élément 4 rapporté, (étape D). L'épaisseur de cette seconde couche de photoresist 2b est soit égale à celle de l'élément 4 rapporté, soit supérieure à l'épaisseur sortant du moule de l'élément rapporté 4 comme illustré par la figure 1. Dans l'exemple de la figure 1, le photoresist de la seconde couche 2b pénètre également dans les espaces 6' et 6'' laissé par les côtés de l'élément rapportés qui ne sont pas en contact avec les parois de la cavité 5 du moule, cf. vue de dessus du moule contenant l'élément rapporté 4 aux étapes B et D.

[0045] Cette seconde couche de photoresist 2b constituant la base du second niveau est polymérisée dans des zone définies par le photo masque 3b. Les autres zones non polymérisées sont éliminées de manière à laisser une partie de la couche de photoresist 2b servant à former la base ou le fond d'une cavité 7 d'un second moule destiné à créer le second niveau.

[0046] L'étape suivante E consiste à déposer une couche de métal 8 par électroformage épousant les structures polymérisées du moule tout en enserrant l'élément rapporté 4 à la fois sur la protubérance de son niveau supérieur 4' et sur tout ou partie de la surface de son niveau de base 4''. La couche de métal 8 recouvre également une portion de la surface de la première couche de photoresist 2a constituant le fond de la cavité du second moule conjointement avec une portion de la surface supérieure du niveau de base 4'' de l'élément 4. Dans cet exemple, la cavité 7 du second moule est définie de sorte que les espaces 6' et 6'' ne sont pas remplis par le métal de la seconde couche.

[0047] Cette seconde couche métallique 8 est ensuite usinée par un procédé mécanique jusqu'à une épaisseur prédéterminée.

[0048] La dernière étape F consiste à libérer la pièce formée par l'élément rapporté 4 et la couche métallique 8 et à éliminer le moule de photoresist polymérisé.

[0049] Ainsi on obtient une pièce multi-niveaux (deux niveaux) directement sortie du moule et comprenant un premier niveau défini par l'élément rapporté 4 qui fait corps avec un second niveau constitué de la couche métallique formée par l'électroformage. Les niveaux de cette pièce ne sont ainsi plus nécessairement inclus l'un dans l'autre. Il n'y a plus de tolérance d'assemblage entre les pièces métalliques composant les deux niveaux, car le positionnement du second niveau est assuré par le moule en photoresist lui-même. Lors de l'opération de dépose de niveaux subséquents, le métal de ces niveaux épouse le ou les flancs de l'élément rapporté 4 et créer ainsi une liaison intime avec celui-ci. Par le terme «flanc», il est fait référence aux parois de l'élément rapporté 4 sans contact avec les parois du moule. Le grand avantage de cette méthode est d'être insensible aux dimensions des parties qui vont former l'assemblage, contrairement à la méthode

appliquée jusqu'alors, dans laquelle l'élément rapporté était chassé dans un orifice de la pièce métallique de base et donc devait être positionné avec une grande précision.

[0050] La fig. 2 illustre un exemple d'une variante de la méthode dans lequel le premier moule destiné à l'élément rapporté est obtenu par une gravure profonde du substrat et le second moule est obtenu par le procédé LIGA.

[0051] A l'étape A, une couche de photoresist 2a est appliquée sur un substrat 1 et un premier photomasque 3a est utilisé pour définir la forme du contour du premier moule. L'opération de gravure profonde B du substrat est effectuée en général par gravure sèche (gravure plasma, par exemple DRIE, Deep Reactive Ion Etching) ou humide (par exemple gravure KOH, hydroxyde de potassium) impliquant une attaque chimique sélective des parties du substrat non protégées par la résine structurée par illumination à travers le photomasque 3a. De cette gravure profonde résulte une cavité 5 constituant moule dans lequel sera inséré l'élément rapporté 4.

[0052] A l'étape C un élément rapporté 4 obtenu par le procédé LIGA est déposé dans le moule gravé dans le substrat 1. Dans cet exemple le contour de l'élément 4 correspond à celui de la cavité 5 du premier moule.

[0053] A l'étape D, une seconde couche de photoresist 2b est appliquée sur le substrat 1 avec un second photomasque 3b de manière à s'étendre à la fois sur le substrat 1 et/ou sur au moins une partie l'élément rapporté 4. Cette seconde couche de photoresist 2b constitue le moule du second niveau.

[0054] Après polymérisation et élimination du photoresist non polymérisé, une couche métallique 8 est déposée par électroformage dans le moule à l'étape E. Cette couche métallique 8 croît depuis la surface de l'élément rapporté 4, dans des espaces 6 le long des flancs de l'élément rapporté 4, sur la surface supérieure de l'élément rapporté 4 et sur une portion de surface du substrat 1 dans le voisinage de l'élément rapporté 4 afin d'occuper entièrement le moule du second niveau.

[0055] La surface supérieure de cette couche métallique 8 est également usinée à une épaisseur prédéfinie avant l'enlèvement du substrat 1 et du photoresist polymérisé 2b du moule. La pièce métallique obtenue à l'étape F comporte ainsi deux niveaux auto assemblés non nécessairement inclus l'un dans l'autre similaire à une pièce obtenue par les variantes de la méthode illustrées par la figure 1.

[0056] La fig. 3 illustre un exemple d'une variante de la méthode dans laquelle l'élément rapporté 4 comporte un seul niveau et l'assemblage du niveau suivant se fait par croissance le long des flancs de l'unique niveau de l'élément rapporté 4. La fig. 3 illustre un exemple avec élément rapporté 4 comportant un orifice 6. Selon la forme du contour extérieur de l'élément et les espaces laissés entre des portions de flancs et les parois du premier moule, l'assemblage peut également s'effectuer le long des flancs extérieurs de l'élément en sus de l'assemblage sur les parois de l'orifice 6, cf. la vue de dessus de l'élément rapporté 4 à l'intérieur de la cavité 5 à l'étape C.

[0057] Le fond de la cavité 7 du second moule à l'étape E est constitué par une portion de la surface supérieure de l'élément 4, une portion de surface du substrat au fond de l'orifice et de l'espace 6 et une portion de la surface supérieur du substrat 1 dans le voisinage de la cavité 5 du premier moule. La seconde couche métallique 8 croît ainsi le long d'une partie du flanc extérieur de l'élément 4 et le long des flancs à l'intérieur de l'orifice. Cette croissance est limitée comme dans les exemples précédents par les parois du second moule formée par la seconde couche de photoresist 2b.

[0058] La profondeur du premier moule peut être plus petite que l'épaisseur de l'élément rapporté 4 de sorte qu'il dépasse entièrement ou en partie du premier moule dans lequel il est positionné comme illustré dans la fig. 1. Cette profondeur peut aussi égaler ou être plus grande à l'épaisseur de l'élément rapporté 4 comme illustré sur la fig. 2 respectivement la fig. 3.

[0059] La figure 4 illustre un exemple d'une variante de la méthode dans lequel deux éléments 4a et 4b sont rapportés chacun dans une cavité respective 5' et 5'' d'un moule gravé dans un même substrat 1. Les profondeurs de ces cavités 5' et 5'' peuvent être différentes et les éléments rapportés 4a et 4b peuvent comporter un seul ou deux niveaux, cf. fig. 1 et fig. 3. Dans cet exemple, les cavités 5' et 5'' ont la même forme que les éléments rapportés 4a et 4b.

[0060] A l'étape F, la couche métallique 8 électroformée dans le moule formé par le substrat 1 et la seconde couche de photoresist 2b croît à partir du fond des cavités 5' et 5'', des surfaces et des flancs respectifs de chaque éléments rapporté 4a et 4b et sur une portion de la surface supérieure du substrat 1 dans le voisinage des cavités 5' et 5''. Cette couche métallique 8 remplit ainsi entièrement les volumes libres de photoresist des cavités 5' et 5'' du premier moule comprenant les espaces 6a et 6b et le volume du moule du second niveau délimité par la couche de photoresist 2b. La pièce obtenue à l'étape G comporte deux éléments rapportés 4a et 4b enserrés dans le métal de la couche électroformée 8.

[0061] La méthode de l'invention et ses variantes s'appliquent également pour des pièces comportant plus de deux niveaux. Par exemple, la fig. 5 illustre une pièce d'horlogerie, en l'occurrence une ancre à dard 10 fabriquée en utilisant un premier moule gravé dans le substrat 1 dans lequel est placé l'élément rapporté 4, ici un dard obtenu par un procédé LIGA qui forme le premier niveau n1 de la pièce. Le second et le troisième niveau n2, n3 formant l'ancre sont réalisés à l'aide de deux moules formés par deux couches de photoresist 2b, 2c superposées. La seconde couche métallique 8 formant les niveaux n2 et n3 est déposée de manière à croître à la fois sur le substrat 1 et le long du flanc d'un orifice du dard 4 et dans la cavité à deux niveaux du second moule en photoresist.

[0062] Le second niveau (n2) de la pièce 10 s'étend partiellement sur l'élément rapporté (4) et le troisième niveau (n3) s'étend partiellement ou entièrement sur le second niveau (n2) et sur une zone extérieure au voisinage dudit second niveau

(n2) de sorte que le contour d'une projection orthogonale- du troisième niveau (n3) englobe tout ou partie le contour de l'élément rapporté (4) formant le premier niveau n1.

[0063] La méthode de fabrication de cette pièce comprend, après la polymérisation de la seconde couche de photoresist (2b), des étapes de formation d'un second moule qui consistent à:

- déposer et irradier au travers d'un troisième photomasque, une troisième couche de photoresist 2c définie en masquant au moins une zone incluant un flanc de l'élément rapporté 4,
- polymériser la troisième couche de photoresist 2c et éliminer la couche de photoresist non polymérisée, la partie de photoresist restante constituant une cavité du second moule, l'orifice dans de l'élément rapporté 4 étant libre de photoresist.

[0064] Dans l'exemple de la fig. 5, la zone incluant un flanc de l'élément rapporté 4 comprend l'orifice du dard à partir duquel la seconde couche métallique 8 sera électroformée.

[0065] L'épaisseur de la seconde couche de photoresist 2b peut être plus grande que l'épaisseur de l'élément rapporté (4), et elle recouvre une partie de l'élément rapporté (4) en formant un espace supplémentaire se superposant à l'orifice de l'élément rapporté (4). Le second moule comporte ainsi une cavité formée de trois niveaux superposés constitués par l'orifice de l'élément rapporté 4 et des espaces définis respectivement par la seconde et la troisième couche de photoresist 2b, 2c. Cette cavité est ensuite remplie par la seconde couche métallique 8 électroformée de la pièce qui croît à partir du fond de l'orifice du dard pour s'étendre dans les espaces formés par les deux couches de photoresist 2b et 2c. Après usinage de la surface du troisième niveau, le substrat 1 et le moule en photoresist sont éliminés pour libérer l'ancre à dard 10.

[0066] De nombreuses autres pièces d'horlogerie à niveaux multiples comme l'ancre à dard intégré de la fig. 5, peuvent également être fabriquées selon la méthode, par exemple une roue, une came, un cœur, une aiguille, un plateau, etc. Leur caractéristique commune est qu'elles sont toutes auto assemblées avec un autre élément (élément rapporté) pour former une pièce multi-niveaux dont les niveaux ne sont pas nécessairement inclus l'un dans l'autre.

[0067] Selon une variante, la méthode de l'invention comporte une étape supplémentaire de dépose d'une couche isolante, sous forme d'une laque par exemple, sur l'élément rapporté 4 préalablement ou postérieurement à son placement dans le premier moule. Cette couche isolante ne nuit pas à la solidité de la pièce finale car l'élément rapporté est enserré fermement dans la seconde couche métallique et ceci d'autant plus que le contour du flanc de l'élément rapporté comporte un nombre important de parties convexes et concaves.

[0068] Dans le cas d'un élément rapporté dépourvu de couche isolante, la seconde couche métallique croît sur le métal de l'élément rapporté de la même manière que sur la surface du substrat munie d'une couche conductrice. L'enserrement de l'élément rapporté est réalisé tout aussi solidement que dans la variante avec l'élément rapporté recouvert d'une couche isolante.

Revendications

1. Méthode de fabrication d'une pièce métallique comportant au moins deux niveaux, nécessitant au moins l'assemblage de deux éléments obtenus par photolithographie et électroformage cette méthode comprenant les étapes suivantes:
 - préparer un premier moule comportant au moins une cavité (5),
 - placer un premier élément dans le premier moule, ledit premier élément étant un élément rapporté (4) formant un premier niveau de la pièce,
 - déposer et irradier au travers d'un photomasque (3b), une couche de photoresist (2b) appliquée sur le substrat (1), en masquant tout ou partie de l'élément rapporté (4) à l'exception d'au moins un flanc de l'élément rapporté (4),
 - polymériser la couche de photoresist (2b) et éliminer la couche de photoresist non polymérisée, de manière à laisser une partie de la couche de photoresist (2b) constituant une cavité (7) d'un second moule de photoresist destiné à former un second niveau de la pièce,
 - déposer une couche métallique (8) par électroformage dans la cavité (7) du second moule de photoresist de sorte que la croissance de la couche métallique (8) enserre tout ou partie de l'élément rapporté (4) en créant une liaison intime entre la couche métallique (8) et au moins un flanc de l'élément rapporté (4), ladite couche métallique (8) formant un second élément,
 - usiner par un procédé mécanique la seconde couche métallique (8) à une épaisseur prédéfinie,
 - enlever le photoresist polymérisé du moule du second niveau ainsi que le substrat (1),
 - obtention d'une pièce métallique comportant deux niveaux superposés imbriqués l'un dans l'autre formés par l'élément rapporté (4) et la couche métallique électroformée (8).
2. Méthode selon la revendication 1 caractérisée en ce que l'étape de préparation du premier moule destiné à recevoir l'élément rapporté (4) comprend les opérations suivantes:
 - déposer et irradier au travers d'un premier photomasque (3a), une première couche de photoresist (2a) appliquée sur un substrat (1),
 - polymériser la première couche de photoresist (2a),

- éliminer la couche de photoresist non polymérisée, la partie de photoresist restante constituant le premier moule formé par le photoresist et comportant au moins une cavité (5) configurée de manière à guider et positionner l'élément rapporté (4).
- 3. Méthode selon la revendication 1 caractérisée en ce que l'étape de préparation du premier moule pour l'élément rapporté (4) comprend les opérations suivantes:
 - déposer et irradier au travers d'un premier photomasque (3a), une première couche de photoresist (2a) appliquée sur un substrat (1),
 - polymériser la première couche de photoresist (2a) et éliminer la couche de photoresist non polymérisée,
 - graver la partie du substrat (1) non masquée par le photoresist, la partie gravée du substrat constituant une cavité (5) du premier moule.
- 4. Méthode selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisée en ce que la profondeur du premier moule est plus grande, plus petite ou égale à l'épaisseur de l'élément rapporté (4).
- 5. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisée en ce que l'élément rapporté (4) est composé d'un seul niveau ou d'une pluralité de niveaux superposés.
- 6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisée en ce que la forme du contour du flanc de l'élément rapporté (4) le long duquel s'effectue la liaison intime entre les niveaux de la pièce est configurée de manière à maximiser la surface de contact entre l'élément rapporté (4) et la couche métallique (8).
- 7. Méthode selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisée en ce que l'élément rapporté (4) est réalisé en un premier métal et l'électroformage de la deuxième couche métallique (8) est réalisé en un deuxième métal différent du premier métal.
- 8. Méthode selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisée en ce que qu'elle comprend une étape supplémentaire de dépose d'une couche isolante sur l'élément rapporté (4) préalablement ou postérieurement à son placement dans le premier moule, ledit élément rapporté (4) étant composé d'un matériau conducteur.
- 9. Méthode selon la revendication 1 caractérisée en ce qu'elle comprend, après la polymérisation de la couche de photoresist (2b), les étapes de formation du second moule en photoresist suivantes:
 - déposer et irradier au travers d'un troisième photomasque, une troisième couche de photoresist (2c) définie en masquant au moins une zone incluant un flanc de l'élément rapporté (4),
 - polymériser la troisième couche de photoresist (2c) et éliminer la couche de photoresist non polymérisée, la partie de photoresist restante constituant une cavité du second moule formée de trois niveaux superposés constitués par la zone incluant un flanc de l'élément rapporté (4) et des espaces définis respectivement par la seconde et la troisième couche de photoresist (2b, 2c).
- 10. Méthode selon la revendication 9 caractérisée en ce que l'épaisseur de la seconde couche de photoresist (2b) est plus grande que l'épaisseur de l'élément rapporté (4), ladite seconde couche de photoresist (2b) recouvrant une partie de l'élément rapporté (4) en formant un espace supplémentaire se superposant à la zone incluant un flanc de l'élément rapporté (4).
- 11. Pièce composée d'au moins deux niveaux (n1, n2) constitués chacun par un élément métallique obtenue par photolithographie et électroformage, grâce à un guidage et à un positionnement d'au moins un premier élément rapporté (4) dans un premier moule, ledit premier élément rapporté (4) formant un premier niveau (n1) de la pièce, caractérisée en ce qu'un second élément formant un second niveau (n2) est imbriqué et intimement lié au premier élément rapporté (4) du premier niveau (n1) par au moins une portion de surface et de flanc dudit premier élément rapporté (4) et en ce que le second niveau (n2) s'étend partiellement ou entièrement sur le premier niveau (n1) et sur une zone extérieure au voisinage dudit premier niveau (n1) de sorte que le contour d'une projection orthogonale du second niveau (n2) englobe tout ou partie du contour du premier niveau (n1).
- 12. Pièce selon la revendication 11 caractérisée en ce que l'élément rapporté (4) du premier niveau (n1) est constituée par un premier métal et le second élément du second niveau (n2) est constituée par un deuxième métal différent du premier métal.
- 13. Pièce selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisée en ce que le second élément du second niveau (n2) est imbriqué et intimement lié à l'élément rapporté (4) du premier niveau (n1) à travers au moins un orifice (6) formé dans l'élément rapporté (4) du premier niveau (n1).
- 14. Pièce selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisée en ce que l'élément du second niveau (n2) est imbriqué et intimement lié à l'élément rapporté (4) du premier niveau (n1) par au moins une portion de flanc formant un contour comprenant une suite de parties convexes et/ou concaves de sorte que le second élément du second niveau (n2) enserre une portion du contour de l'élément rapporté (4).
- 15. Pièce selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisée en ce que le second élément du second niveau (n2) est imbriqué et intimement lié à l'élément rapporté (4) du premier niveau (n1) autour d'au moins une protubérance de l'élément rapporté (4).

16. Pièce selon l'une des revendications 11 à 15, caractérisée en ce que le second élément du second niveau (n2) est imbriquée et intimement liée à une pluralité d'éléments rapportés (4) formant le premier niveau (n1).
17. Pièce selon la revendication 11 caractérisée en ce qu'elle comprend un second niveau (n2) s'étendant partiellement sur l'élément rapporté (4) et un troisième niveau (n3) s'étendant partiellement ou entièrement sur le second niveau (n2) et sur une zone extérieure au voisinage dudit second niveau (n2) de sorte que le contour d'une projection orthogonale du troisième niveau (n3) englobe tout ou partie le contour de l'élément rapporté (4) formant le premier niveau (n1).

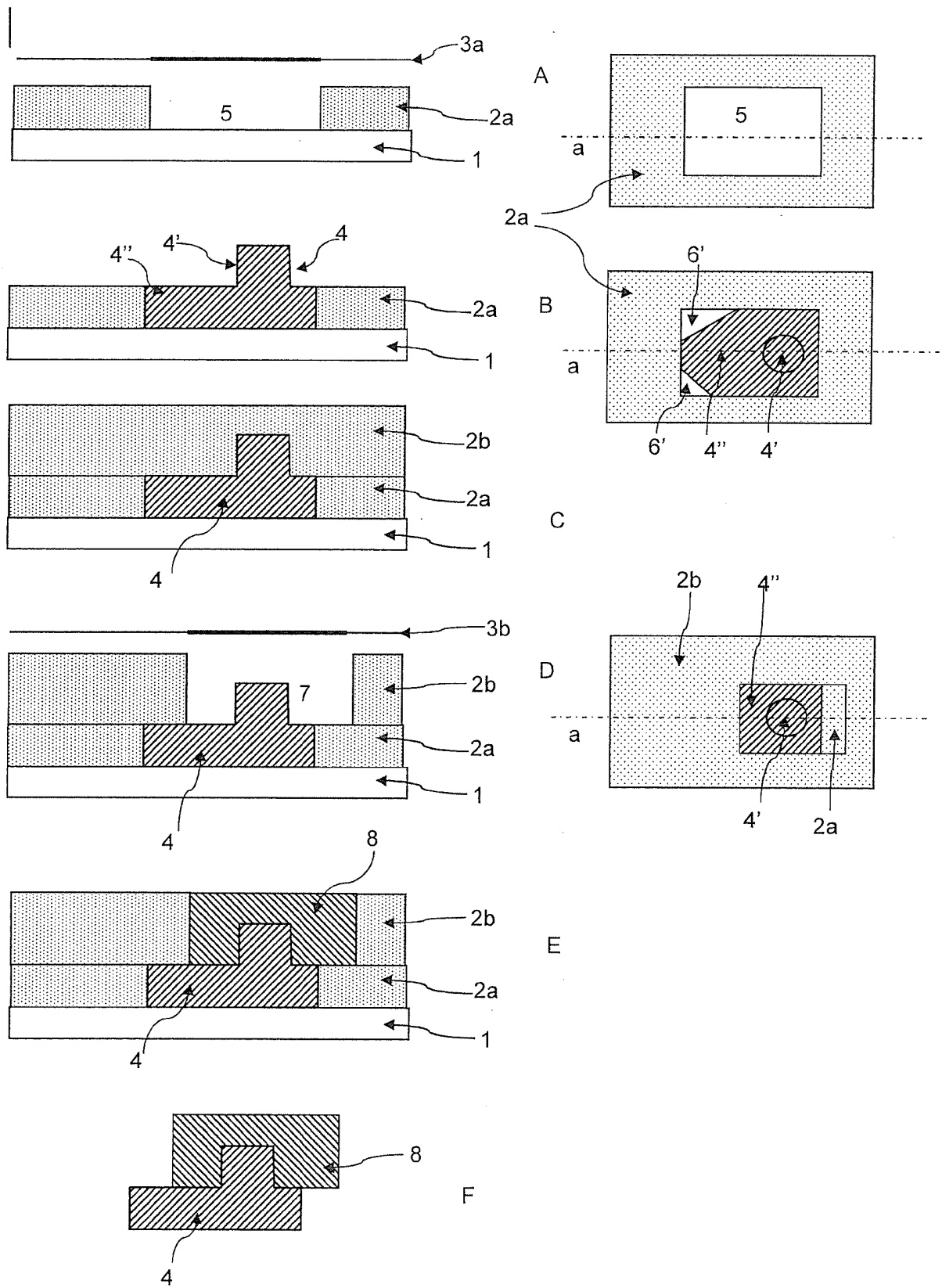


Fig. 1

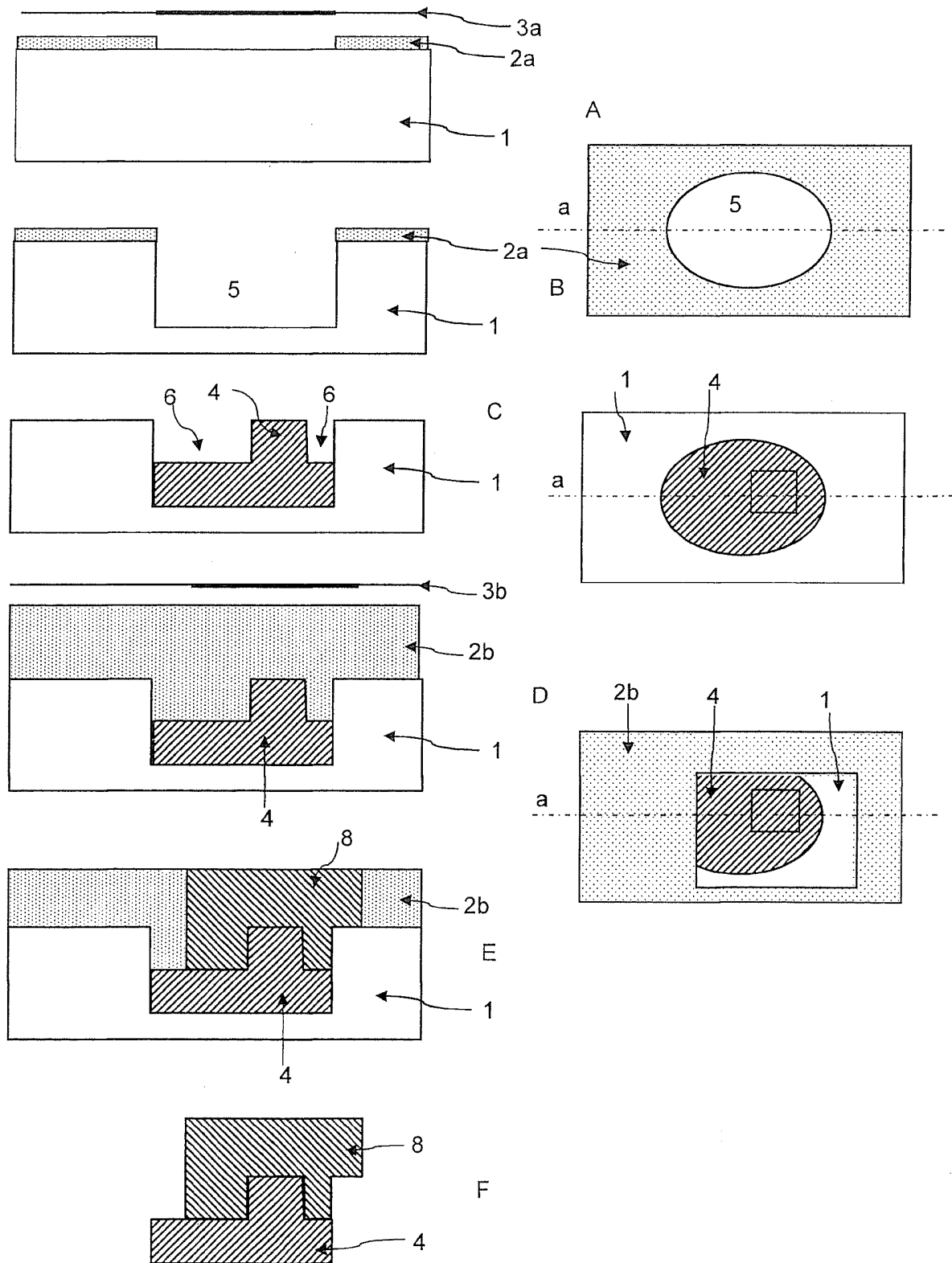


Fig. 2

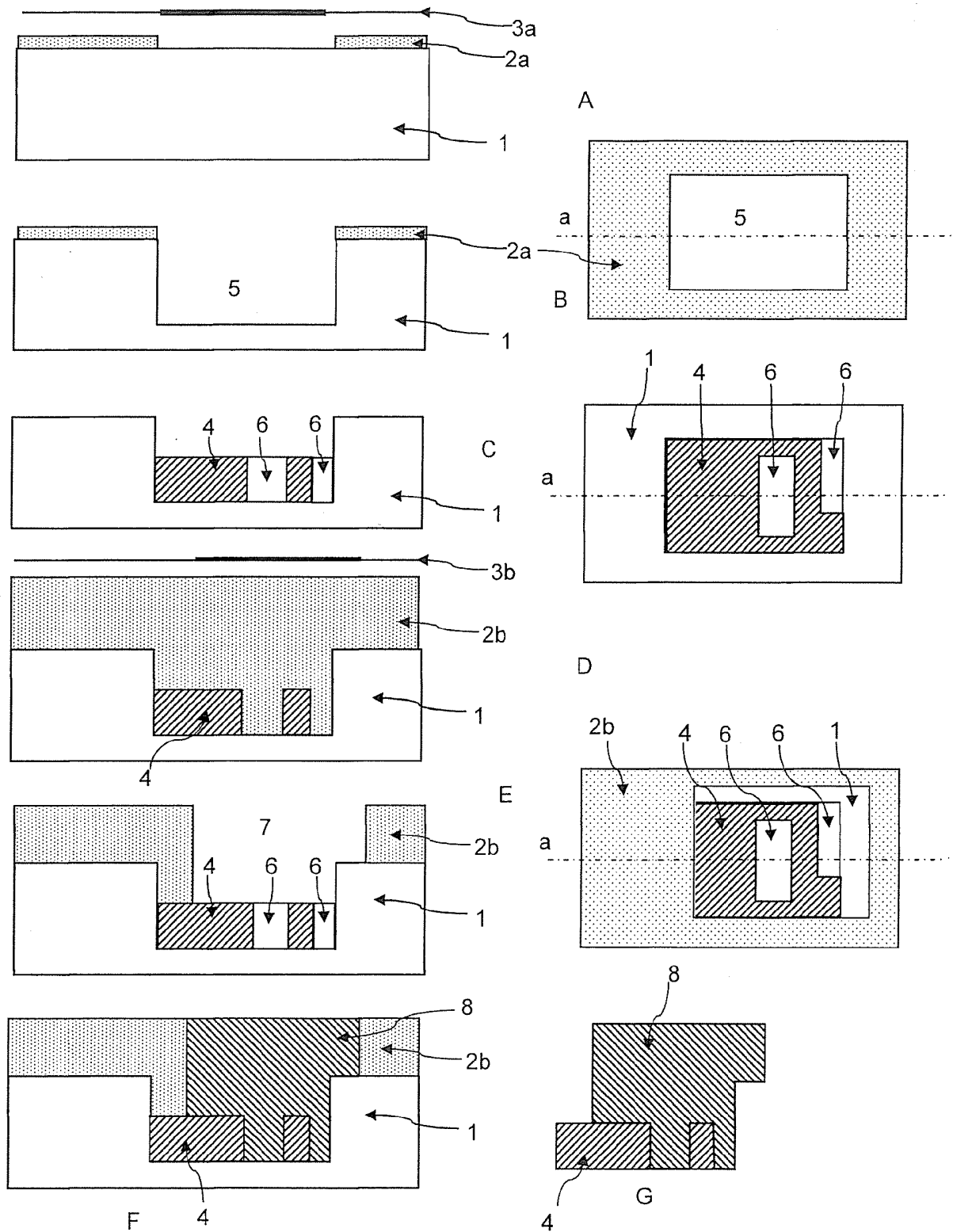


Fig. 3

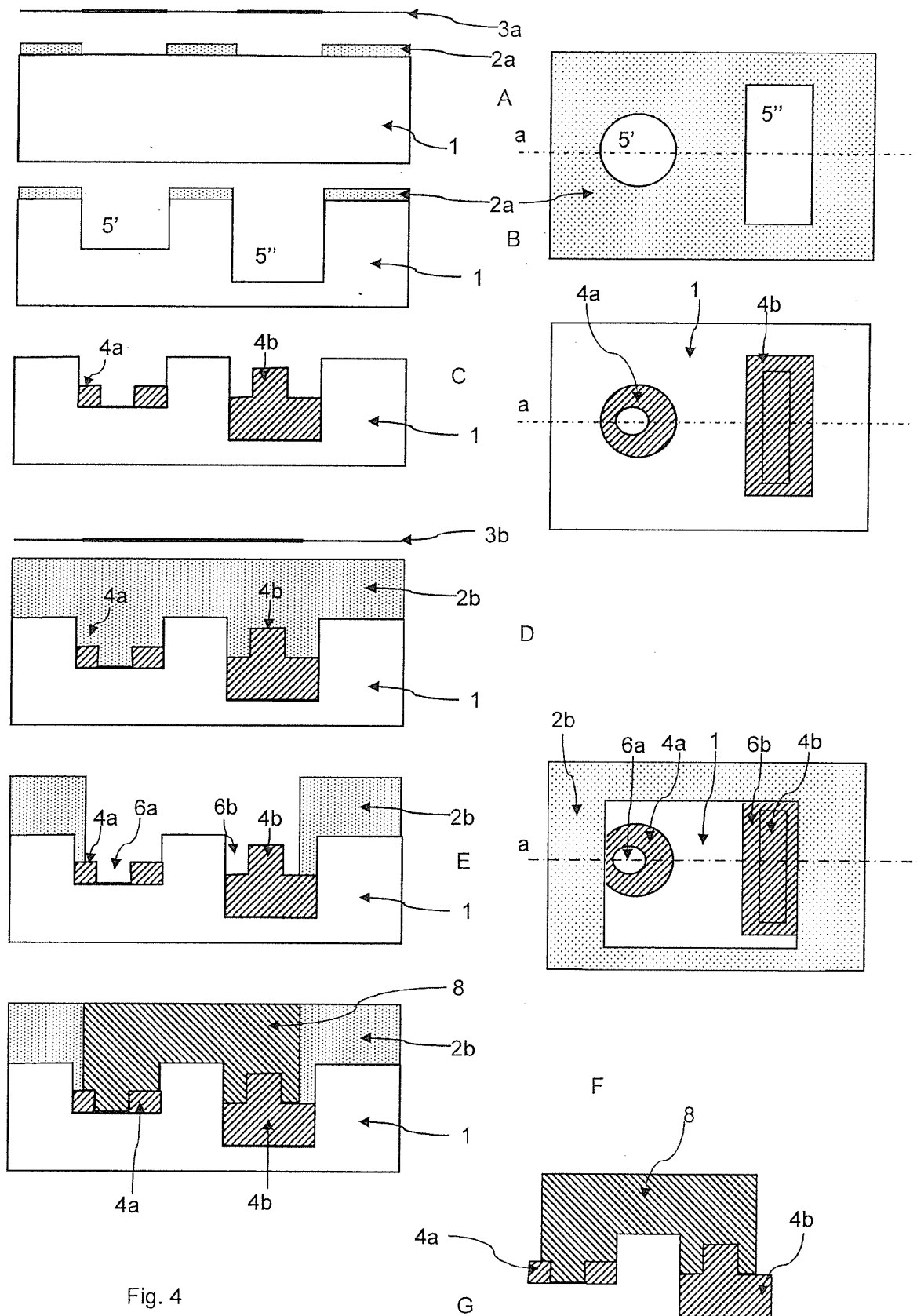


Fig. 4

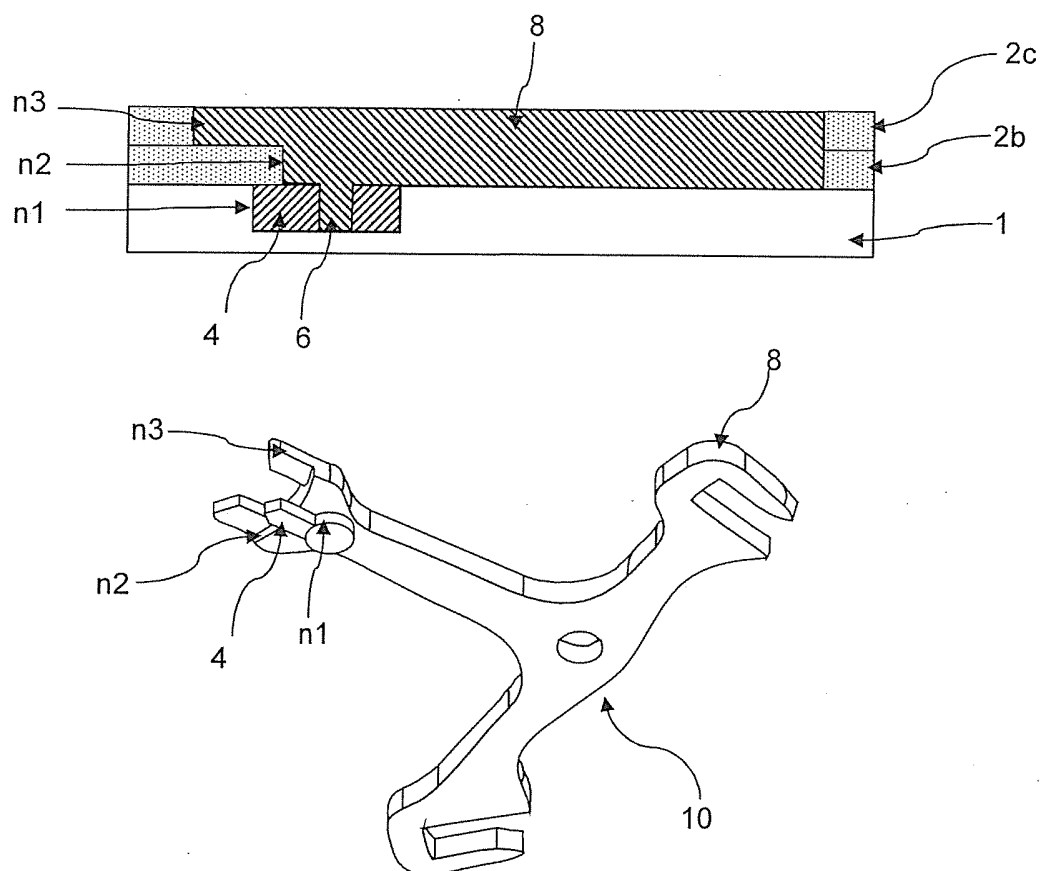


Fig. 5