



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 720 825 A1**

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(51) Int. Cl.: **B81C 1/00** (2006.01)
C25D 1/10 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)
G04B 13/02 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)
G04B 19/04 (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 000582/2023

(71) Requérant:
Mimotec SA, Route des Iles 20
1950 Sion (CH)

(22) Date de dépôt: 01.06.2023

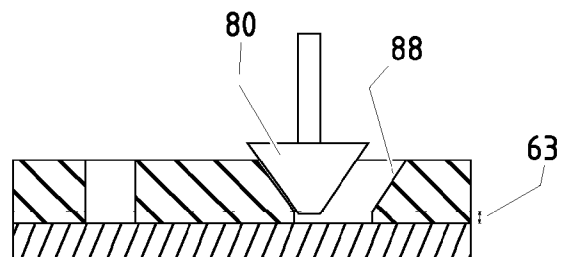
(72) Inventeur(s):
Georgja Konstantinou, 1950 Sion (CH)
Valentin Barberini, 1880 Bex (CH)
Grégoire Genolet, 1926 Fully (CH)

(43) Demande publiée: 13.12.2024

(74) Mandataire:
P&TS SA, Av. J.-J. Rousseau 4 P.O. Box 2848
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un micro-moule, procédé de fabrication d'une pièce micromécanique, et pièce micromécanique, par exemple composant horloger**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'un micro-moule comportant les opérations de créer un photorésist structuré sur un substrat par photolithographie et de réaliser un flanc incliné (88) des flancs inclinés dans les ouvertures par enlèvement de matière. La réalisation des flancs inclinés peut être obtenue par n'importe quel procédé soustractif, par exemple par micro-usinage laser, ou bien à l'aide d'un outil de coupe, par exemple une fraise (80). Le procédé permet d'obtenir, à l'aide de la technique LIGA, des pièces micromécaniques présentant des faces inclinées, notamment des composants horlogers fonctionnels ou décoratifs.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un micro-moule apte à la production de pièces mécaniques miniaturisées, ou micropièces, par la technique de micro-fabrication LIGA, ainsi que des pièces miniaturisées ainsi produites. L'invention se prête à un grand nombre d'applications parmi lesquelles on remarque l'horlogerie, la production de MEMS, les composants électriques et/ou optiques de précision, la micro fluidique et beaucoup d'autres.

Etat de la technique

[0002] La technique de micro-fabrication LIGA (Lithographie, Galvanoplastie et Moulage en Allemand) est un processus de fabrication utilisé pour créer des structures microscopiques avec une grande précision et une grande reproductibilité.

[0003] Typiquement, le procédé LIGA part d'un substrat plan, par exemple de verre, de métal, de silicium ou en polymère. Sur ce substrat est étalée une couche de résine photosensible, appelée „photorésist“ qui est sensible au rayonnement lumineux. On utilise communément des photorésists dits „négatifs“ qui polymérisent et deviennent insolubles après avoir été irradiés par de la lumière UV ou bien des rayons X ou des faisceaux d'électrons, mais on connaît aussi des photorésists „positifs“ qui deviennent solubles après l'exposition.

[0004] Une fois le moule obtenu, les cavités ainsi obtenues sont remplies par un métal --- par exemple cuivre, or, nickel, ou un alliage --- grâce à un procédé d'électrodéposition dit électroformage. Ensuite, le métal est démoulé de la résine polymérisée restante et du substrat. On obtient un produit métallique qui reproduit fidèlement, en négatif, les cavités du moule.

[0005] Dans le procédé LIGA conventionnel, les cavités ont nécessairement des flancs verticaux, parallèles à la direction d'exposition, et cette limitation se retrouve également dans les produits après le démoulage. Il est également possible d'appliquer le procédé ci-dessus en plusieurs étapes pour obtenir un moule en plusieurs niveaux, chacun construit sur le précédent. Par ces procédés on peut obtenir des structures à marches, mais pas des formes tridimensionnelles arbitraires. Le document EP 3508916 B1 divulgue un procédé de ce type.

[0006] On a essayé de contourner cette limitation par des expositions obliques du photorésist, par exemple suivant le procédé divulgué par le document EP 1652009 B1. Cette méthode nécessite une optique plus élaborée, avec un système optique (prismes, réseau de diffraction, diffuseur optique) pour modifier l'angle d'incidence de l'exposition et, dans certains cas, d'un plateau tournant pour le substrat. Malgré ces complications, certaines géométries ne sont pas aisément réalisables.

[0007] WO 2023012035 A1 et WO 2023012036 A1 proposent de contourner cette limitation en réalisant des creusures avec des flancs inclinés ou non verticaux dans le substrat de base avant l'étalement du photorésist. Cette technique est limitée à des structures inclinées avec un rapport hauteur/largeur faible et comporte des difficultés spéciales, par exemple le contrôle de la lumière diffusée et réfléchi par le fond de la cavité par des couches antireflets.

[0008] Ces deux derniers documents proposent aussi d'utiliser des techniques de stéréolithographie par couches, ou bien une exposition avec un faisceau focalisé à une profondeur voulue à l'intérieur de la couche de photorésist qui polymérise le photorésist par une interaction à deux photons. Si ces techniques peuvent, en principe, créer des structures tridimensionnelles complexes avec des flancs inclinés ou courbés, elles sont considérablement plus lentes que la photolithographie conventionnelle, et nécessitent des photorésists particuliers.

Bref résumé de l'invention

[0009] Dans certains cas, des flancs inclinés sont désirés pour des raisons fonctionnelles ou esthétiques. La présente invention propose un procédé de micro-fabrication analogue aux procédés LIGA connus, avec la possibilité de créer des flancs non-verticaux.

[0010] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment au moyen de l'objet des revendications, et notamment par un procédé de fabrication d'un micro-moule comportant les opérations de : étaler une couche de photorésist sur un substrat, ouvrir une ou plusieurs ouvertures dans la couche de photorésist par photolithographie, réaliser un flanc incliné ou des flancs inclinés dans les ouvertures par enlèvement de matière. La réalisation des flancs inclinés peut être obtenue par n'importe quel procédé soustractif, par exemple par micro-usinage laser, par rabotage à l'aide d'une lame diamantée ou bien à l'aide d'un outil de coupe rotatif, par exemple une fraise. En ce dernier cas, le tranchant ou les tranchants de l'outil de coupe sont de préférence en diamant monocristallin, le diamètre nominal de l'outil de coupe est compris entre 0.2 mm et 2 mm et la vitesse de rotation de l'outil de coupe est comprise entre 20'000 révolutions par minute et 100'000 révolutions par minute.

[0011] Le procédé de l'invention peut donner lieu à des micro-moules complexes avec des flancs verticaux et inclinés avec une seule opération de photolithographie. Pourtant, l'invention englobe aussi la fabrication de moules avec plusieurs niveaux, étalant une deuxième couche de photorésist comblant les ouvertures et la structurant ensuite par photolithographie. On peut créer des flancs inclinés dans le niveau supérieur comme on l'a illustré pour le premier niveau, et multiplier le nombre de niveaux autant qu'on le souhaite.

[0012] L'invention porte aussi sur un procédé de fabrication d'une pièce micromécanique à l'aide d'un micro-moule obtenu comme on l'a expliqué ci-dessus, en remplissant les ouvertures avec un métal électroformé. Après le démoulage, qui est fait avec des procédés classiques, la pièce micromécanique obtenue présente une ou plusieurs faces obliques correspondantes aux flancs inclinés.

[0013] On peut aussi, dans l'invention, rectifier une ou les bases de la pièce micromécanique, par exemple par abrasion, par meulage ou les dresser avec un outil pour obtenir une face plane. La rectification de la face supérieure est souvent faite pour corriger les inhomogénéités d'épaisseur du métal au-dessus des ouvertures, appelées communément champignonage. Dans l'invention on peut aussi rectifier la base inférieure de la pièce micromécanique pour la ramener en contact avec la face oblique. Comme on le verra mieux par la suite, cette étape permet de laisser un espace de garde plus important entre l'outil de coupe et le substrat lors de la création des flancs inclinés.

[0014] Les procédés de l'invention permettent de fabriquer des composants horlogers fonctionnels ou décoratifs avec des arêtes anglées et des faces inclinées, par exemple roue dentée, ancre, roue d'échappement, ressort, sautoir, pont, coq, index de cadran, aiguille de montre, et bien d'autres pièces. En sortant du domaine horloger, on peut appliquer l'invention à une variété infinie de pièces micromécaniques ou de MEMS utilisables dans les domaines techniques plus variés. On peut citer comme exemples parmi beaucoup d'autres, les connecteurs pour fibres optiques avec entailles en „V“ et les pointes de contact pour le test de circuits électroniques.

[0015] L'invention permet de réaliser des pièces micromécaniques avec des faces non verticales de manière simple et précise sans renoncer aux avantages propres au procédé LIGA, notamment la grande précision et l'économicité.

[0016] Dans ce document on utilisera la formulation „verticale“ en rapport à l'orientation conventionnelle des procédés LIGA : la direction „verticale“ indique en ce contexte une direction orthogonale au substrat, qui est conventionnellement considéré comme horizontal. On pourrait aussi, de manière équivalente, définir la verticale comme la direction du faisceau de radiation utilisé dans les opérations de photolithographie. On utilisera les expressions „oblique“, „anglé“ et „incliné“ pour désigner des éléments géométriques - faces, arêtes ou flancs - qui ne sont pas verticaux ou horizontaux. On utilisera également indifféremment les expressions microcomposant, composant, pièce, pièce mécanique miniaturisée, ou micro-pièce, pour désigner une pièce micromécanique.

Brève description des figures

[0017] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées qui illustrent l'invention de manière schématique et idéalisée.

Les figures de 1a à 1h représentent huit étapes d'un procédé de fabrication d'un micro-moule et d'une pièce micromécanique.

Les figures de 2a à 2j montrent un procédé alternatif de l'invention.

Les figures 3a à 3g montrent une autre variante du procédé inventif.

Les figures 4a à 4i illustrent une autre variante du procédé.

La figure 5 illustre une roue d'horlogerie avec des arêtes anglées selon l'invention.

La figure 6 montre une pointe de contact pour circuits microélectroniques de type conventionnel faite par procédé UV-LIGA.

La figure 7 montre une pointe de contact selon l'invention avec des performances mécaniques supérieures.

[0018] Les éléments remarquables des figures sont identifiés par des signes de référence qui sont repris dans le texte. Le même signe peut être utilisé pour désigner plusieurs éléments identiques ou équivalents. Lorsqu'une figure comporte une pluralité d'éléments identiques ou équivalents, certains signes de référence ont pu être omis pour ne pas surcharger les dessins.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0019] Les figures 1a-1h illustrent un procédé de fabrication de micro-moules et de microcomposants anglés selon un premier mode de réalisation. La figure détaille uniquement la fabrication d'un micro-moule et du microcomposant correspondant, mais il va de soi qu'avec ce procédé on peut fabriquer en parallèle une pluralité de micro-moules et de microcomposants sur un substrat. Le procédé sera ici décrit en détaillant seulement les étapes principales nécessaires à comprendre les solutions techniques utilisées par l'invention. Un lecteur informé saura que le procédé LIGA comprend aussi d'autres étapes (préparation des surfaces, lavage, déposition de couches conductrices, dépôt du photorésist, séchage, alignement, exposition, développement, ...) que l'on n'a pas indiqué dans un souci de concision.

[0020] La figure 1a montre une coupe d'un substrat 50 sur lequel une première couche de photorésist 60 a été étalée. Le substrat pourrait être en métal, en verre, en silicium, en polymère, ou bien tout autre matériau approprié. Il est avantageux, dans le cas des substrats non-conducteurs, d'interposer une couche conductrice (non représentée) entre le substrat 50 et le photorésist 60.

[0021] Des essais convaincants ont été conduits avec un photorésist négatif de type SU-8, mais d'autres choix sont possibles. L'épaisseur de la première couche de photorésist 60 correspond à la hauteur de la face inclinée que l'on souhaite obtenir. Dans les pièces horlogères, il est usuel d'angler les arêtes à des hauteurs comprises entre 30 µm et 300 µm, mais des dimensions plus petites ou plus importantes sont à la portée de cette technique.

[0022] Un photomasque 70 aligné au-dessus de la face supérieure de la couche de photorésist 60 permet d'irradier sélectivement cette dernière et d'obtenir la polymérisation des parties que l'on souhaite préserver. La figure 1b montre l'ensemble après l'exposition et le développement du photorésist. Les parties protégées par le photomasque se dissolvent dans le développement et laissent des ouvertures 62, 64. Les flancs 69 des ouvertures suivent l'axe du faisceau utilisé pour l'irradiation et sont donc verticaux.

[0023] La figure 1c montre une étape dans laquelle les ouvertures de la couche de photorésist sont usinées pour réaliser des flancs inclinés 88 aux endroits requis. L'usinage est réalisé ici par une fraise conique 80, mais d'autres techniques de fabrication soustractive seraient possibles.

[0024] Les inventeurs ont obtenu des résultats très favorables, en termes de précision et qualité des surfaces en utilisant des fraises en diamant monocristallin avec un diamètre nominal de 0.2 mm à 2 mm et des vitesses de rotation entre 20'000 révolutions par minute et 100'000 révolutions par minute. Les fraises sont montées sur une machine de micro-fraisage à contrôle numérique.

[0025] Un point délicat de cette technique est que certaines formes requièrent un fraisage effleurant le substrat (voir point de transition 85). Il est préférable alors d'utiliser un substrat métallique ou en polymère pouvant être facilement usiné.

[0026] La figure 1d montre une deuxième couche de photorésist 61 étalée sur la première. Cette deuxième couche comble toutes les ouvertures réalisées dans la première couche et son épaisseur correspond sensiblement à la hauteur totale du composant à réaliser. La deuxième couche est exposée à travers un photomasque 71 et développée pour donner le micro-moule 99 visible sur la figure 1e. Dans le micro-moule 99 des ouvertures 66 avec des flancs droits et des ouvertures 68 avec des flancs au moins partiellement inclinés peuvent être réalisées. Le raccord entre les flancs verticaux structurés dans la deuxième couche de photorésist 61 et les flancs inclinés 88 peut se faire à l'aplomb du bord des ouvertures sur la première couche (point 86) ou sur le flanc incliné (point 88).

[0027] Les cavités du micro-moule 99 sont remplies de métal par une étape d'électroformage (figure 1f). Le substrat est retiré (figure 1g) et le composant 100 est ensuite démoulé (figure 1h). Ces deux dernières étapes peuvent être interverties.

[0028] Un point délicat du procédé exemplifié ci-dessus est le fraisage à fleur du substrat (figure 1c, point d'intersection 85). Afin de pouvoir utiliser des substrats fragiles comme le silicium et le verre, on peut introduire une surépaisseur de photorésist comme le montrent les figures 2a à 2j qui illustrent un deuxième mode de réalisation. La hauteur de la première couche de photorésist 60 est ainsi égale à la hauteur de l'anglage que l'on souhaite réaliser, plus une distance de sécurité donnée, par exemple entre 10 µm et 30 µm. Cette surépaisseur peut être considéré comme une couche de sécurité pour le substrat 50. La couche de sécurité 63 est indiquée graphiquement sur les figures 2a et 2c. On comprend que cette séparation est une notion purement géométrique et qu'en effet la couche de sécurité 63 fait partie intégrante de la première couche de photorésist 60 sans discontinuité.

[0029] Après l'étalement, l'exposition et le développement de la première couche de photorésist (figures 2a et 2b) qui se déroulent comme dans l'exemple précédent, l'usinage de la première couche de photorésist 60 n'est pas fait sur toute la hauteur de la première couche. La fraise épargne le photorésist dans la couche de sécurité 63 (voir figure 2c). Grâce à cette distance supplémentaire de sécurité entre l'outil 80 et le substrat 50 on peut employer des substrats cassants sans danger pour ce dernier ou pour l'outil.

[0030] Le procédé se déroule, comme dans l'exemple précédent, par l'étalement d'une nouvelle couche de photorésist 61 et son exposition à travers un deuxième photomasque 71 (figure 2d), la fabrication du micro-moule 99 avec le développement de la deuxième couche 61 (figure 2e), le remplissage du micro-moule par du métal 90 (figure 2f). La figure 2f montre le champignonnage du métal au-dessus de la face supérieure du micro-moule, qui est en quelque sorte inhérent au procédé. Les faces supérieures du micro-moule et du dépôt métallique 90 sont usinées afin d'obtenir une surface usinée 42 unique plane sans aucun débordement (figure 2g). Cette rectification est réalisable par abrasion, par meulage ou par un dressage à plat avec une fraise, ou par n'importe quel procédé de mise en œuvre approprié.

[0031] Après le retrait du substrat 50 (figure 2h) on obtient un ensemble avec une hauteur égale à la hauteur du composant souhaité, plus celle de la couche de sécurité 63. Cette surépaisseur est alors éliminée avec une deuxième opération de rectification sur la face 43 qui reposait contre le substrat pour supprimer la surépaisseur de métal créée par la couche de sécurité 63. On obtient (figure 2i) un ensemble avec une épaisseur égale à celle du composant et une surface 44 plane correspondante à celle du composant. Le démoulage donne finalement (figure 2j) le composant souhaité 100 avec des surfaces inclinées 108 qui se joignent à la surface 44 par une arête franche, sans marche.

[0032] Dans un troisième mode de réalisation on peut aussi utiliser l'invention avec des procédés LIGA à un seul niveau de photorésist, comme le montre l'exemple illustré sur les figures 3a à 3h. Dans cet exemple, la couche de photorésist 60 est étalée avec une épaisseur sensiblement égale à la hauteur du microcomposant à réaliser, réhaussée par la couche de sécurité 63. Les étapes d'étalement, d'exposition (figure 3a) et de développement (figure 3b) se déroulent comme dans les exemples précédents.

[0033] A l'aide d'un outil à forme spéciale 81 (voir figure 3c) certaines ouvertures sont agrandies (flanc vertical élargi 69) et anglées dans une seule opération d'usinage. L'outil permet de réaliser en même temps les flancs inclinés 88 qui donneront lieu aux faces anglées de la pièce micromécanique 100 souhaitée, et les flancs verticaux 69 du moule qui correspondent à des faces verticales de la pièce 100, visibles sur la figure 3h. Les figures 3d à 3g montrent les étapes intermédiaires du remplissage du micro-moule 99, de l'usinage des faces supérieures du micro-moule et du dépôt métallique 90 afin d'obtenir la surface usinée 42, du retrait du substrat 50, de la rectification de la face 43 afin d'obtenir la surface 44, et du démoulage du composant 100 (figure 3h) qui se déroulent comme dans les exemples précédents.

[0034] Les figures 4a à 4i montrent un quatrième mode de réalisation. Les étapes d'étalement et d'exposition de la première couche de photorésist 60 (figure 4a) et de développement (figure 4b) correspondent à celles de l'exemple précédent. L'usinage des flancs de l'ouverture 64 de cette couche de photorésist 60 est faite en deux temps. Le flanc vertical 69 est d'abord créé par une opération de lamage avec une fraise droite 82 (figure 4c). Dans ce but, une fraise à une dent en diamant monocristallin peut être utilisée. Le flanc incliné sous-jacent est créé ensuite par une deuxième opération de fraisage à l'aide d'une fraise conique 80 (figure 4d).

[0035] Une fois le micro-moule 99 fabriqué, le procédé continue comme dans l'exemple précédant avec les étapes de remplissage (Figure 4e), d'usinage des faces supérieures du micro-moule et du dépôt métallique 90 afin d'obtenir la surface usinée 42 (figure 4f), du retrait du substrat 50 (figure 4g), de la rectification de la face 43 afin d'obtenir la surface 44 (figure 4h), du démoulage du composant 100 (figure 4i).

[0036] On notera que, de manière préférée, les étapes du procédé selon les différents modes de réalisations suivent l'ordre tel qu'illustré dans les figures 1a à 1h, 2a à 2j, 3a à 3g, et 4a à 4i, respectivement. Cependant, on admettra qu'un ordre différent des étapes peut être envisagé. Par exemple, dans le premier mode de réalisation, les étapes du procédé de 1a à 1f sont exécutées selon l'ordre illustré et un ordre différent peut être envisagé pour les étapes de 1g à 1h. Dans le deuxième mode de réalisation, les étapes du procédé de 2a à 2f sont exécutées selon l'ordre illustré et un ordre différent peut être envisagé pour les étapes de 2g à 2j. Dans le troisième mode de réalisation, les étapes du procédé de 3a à 3d sont exécutées selon l'ordre illustré et un ordre différent peut être envisagé pour les étapes de 3e à 3h. Dans le quatrième mode de réalisation, les étapes du procédé de 4a à 4e sont exécutées selon l'ordre illustré et un ordre différent peut être envisagé pour les étapes de 4f à 4i.

[0037] La figure 5 montre un exemple de microcomposant horloger selon l'invention. Il s'agit en ce cas d'une roue dentée avec ses bras anglés. L'invention permet la fabrication de composants horlogers anglés ou avec des faces inclinées ou biseautées de toute sorte. Quelques exemples nonexhaustifs :

- Ancres d'échappement avec un corps anglé
- Ressorts et sautoirs
- Roues d'ancre anglées avec optionnellement des dents à bout biseauté
- Ponts, coq
- Éléments d'habillage ou décoratifs tels que index de cadran, logos, aiguilles.

[0038] La figure 6 montre l'extrémité 125 d'une pointe 120 destinée à tester des composants électroniques, fortement agrandie. Ces pièces sont aussi communément appelées „MEMS probes“ dans le domaine des tests électroniques. Il est important d'avoir une surface de la pointe le plus faible possible afin d'obtenir un contact optimal entre la pointe et le contact de la puce électronique. Dans l'exemple ci-dessus on définit une hauteur de contact d'environ 10 microns, qui pourrait créer un flambage de la pointe lors de sa fonction.

[0039] La figure 7 montre l'extrémité 135 d'une pointe de test 130 de l'invention. On remarque qu'il est désormais possible de réaliser une pointe avec une surface de contact très faible unie au corps de la pointe par une surface inclinée 108. A surface de contact égale, cette pointe est beaucoup plus résistante au flambage que la pointe 120 réalisée par procédé UV-LIGA traditionnel.

[0040] Le procédé de fabrication décrit ici permet de produire une pièce micromécanique 100 dans laquelle l'intersection entre les surfaces inclinées 108 forme une arête franche avec un angle précis. Une telle précision ne peut être obtenue en usinant directement la pièce micromécanique. Dans ce cas, l'intersection entre les surfaces inclinées formerait plutôt un angle arrondi.

[0041] Un autre avantage de l'invention est la simplification de fabrication du micro-moule pour les composants de type MEMS probe. Dans le cas de la figure 6 le micro-moule de la pointe doit être rendu conducteur afin de permettre l'électrodéposition de la pointe 125. Il s'agit donc d'opérations additionnelles décrites notamment dans le document EP 3508916 B1. Avec cette invention le flanc incliné du micro-moule va se remplir de manière naturelle lors de l'électrodéposition sans devoir rendre conducteur les flancs inclinés.

Numéros de référence employés sur les figures

[0042]

42	surface usinée- dessus du moule
43	surface destinée à être rectifiée
44	surface - dessous du moule
50	substrat
60	photorésist -- 1 ^e couche
61	photorésist -- 2 ^e couche
62	ouverture
63	couche de sécurité
64	ouverture
66	ouverture
68	ouverture
69	flanc vertical
70	photomasque
71	photomasque - 2 ^e exposition
80	outil de coupe, fraise conique
81	outil de coupe, fraise de forme
82	outil de coupe, fraise droite
85	transition
86	transition
88	flanc incliné
90	dépôt métallique électroformé
99	micro-moule
100	pièce micromécanique, MEMS
110	roue d'horlogerie
108	surface inclinée de la pièce mécanique miniaturisée
120	pointe de contact
125	sommet de la pointe
130	pointe de contact selon l'invention
135	sommet de la pointe

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un micro-moule (99) comportant les opérations de :
Etaler une couche de photorésist (60) sur un substrat (50),
ouvrir par photolithographie une ou plusieurs ouvertures (64, 62) avec un flanc vertical dans la couche de photorésist par photolithographie,
dans au moins une ouverture (64), réaliser un usinage par enlèvement de matière du flanc vertical de manière à créer au moins un flanc incliné (88) sur au moins une portion de la hauteur de la couche de photorésist (60).
2. Procédé selon la revendication 1,
dans lequel l'usinage est réalisé à l'aide d'un outil de coupe, par exemple une fraise (80, 81).
3. Procédé selon la revendication 2,
dans lequel le tranchant ou les tranchants de l'outil de coupe (80, 81, 82) sont en diamant monocristallin.
4. Procédé selon l'une des revendications de 1 à 3,
dans lequel ledit au moins au moins un flanc incliné (88) est réalisé sur toute la hauteur de la couche de photorésist (60).
5. Procédé selon l'une des revendications de 1 à 3,
dans lequel ledit au moins au moins un flanc incliné (88) est réalisé jusqu'à une distance du substrat (50) de manière à former une couche de sécurité (63) entre ledit au moins au moins un flanc incliné (88) de l'ouverture (64) et le substrat (50).
6. Procédé selon l'une des revendications de 1 à 3,

dans lequel l'usinage comprend créer un flanc vertical élargi (69) de sorte à agrandir la dimension latérale de l'ouverture (64), sur une portion de la hauteur de la couche de photorésist (60); et créer ledit au moins un flanc incliné (88) sur une autre portion de la hauteur de la couche de photorésist (60).

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel le flanc vertical élargi (69) est réalisé par une première opération de fraisage avec une fraise droite (82); et dans lequel le flanc incliné (88) est créé ensuite par une deuxième opération de fraisage à l'aide d'une fraise conique (8).
8. Procédé selon la revendication 6, dans lequel le flanc vertical élargi (69) et le flanc incliné (88) sont créés par une seule opération de fraisage avec une seule fraise (81) comportant une portion droite et une portion conique.
9. Procédé selon l'une des revendications de 1 à 4, comportant, après la réalisation des flancs inclinés (88), l'étalement d'une deuxième couche de photorésist (61) comblant les ouvertures (62, 62) et la structuration de la deuxième couche de photorésist par photolithographie.
10. Procédé de fabrication d'une pièce micromécanique (100) comportant la fabrication d'un micro-moule (99) selon l'une des revendications 1 à 9, suivie par le remplissage des ouvertures par un métal (90) dans une étape d'électroformage et par le démoulage de la pièce micromécanique (100) ainsi formée, la pièce micromécanique obtenue présentant une ou plusieurs faces inclinées (108) correspondantes aux flancs inclinés (88).
11. Procédé selon la revendication 10 et la revendication 5, comprenant une étape de rectification pour éliminer la couche de sécurité (63) et ramener ainsi une surface (44) de la pièce micromécanique (100) en contact avec le ou la face inclinée (108).
12. Pièce micromécanique (100) réalisée selon le procédé selon la revendication 10 ou 11, constituant un composant horloger fonctionnel ou décoratif avec des arêtes anglées, par exemple roue dentée (110), ancre, roue d'échappement, ressort, sautoir, pont, coq, index de cadran ou aiguille de montre.
13. Pièce micromécanique (100) réalisée selon le procédé selon la revendication 10 ou 112, constituant un composant tel que : connecteur pour fibres optiques, pointe de contact pour le test de circuits électroniques (130).

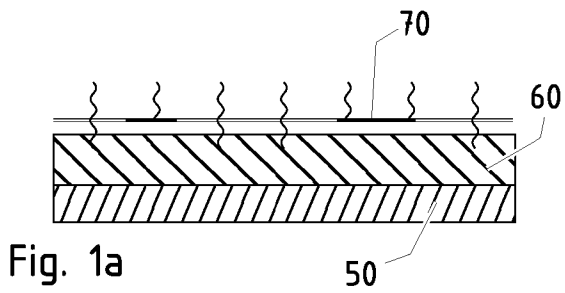


Fig. 1a

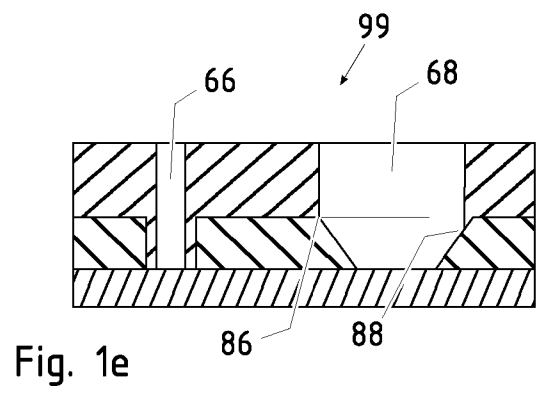


Fig. 1e

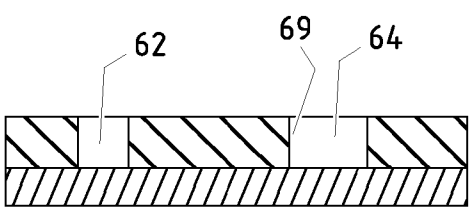


Fig. 1b

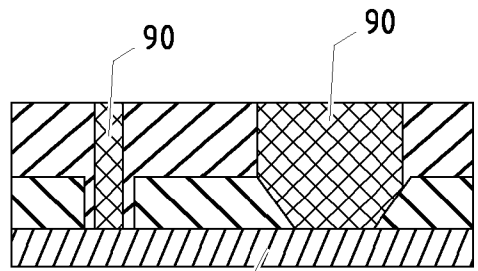


Fig. 1f

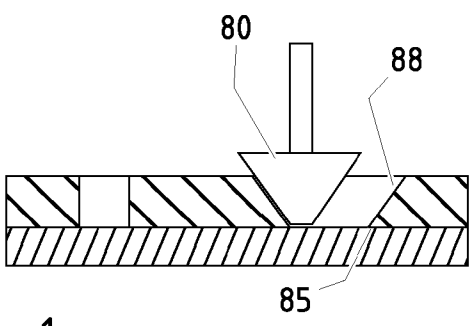


Fig. 1c

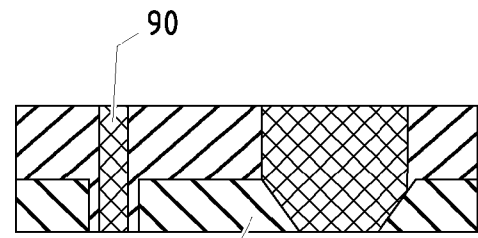


Fig. 1g

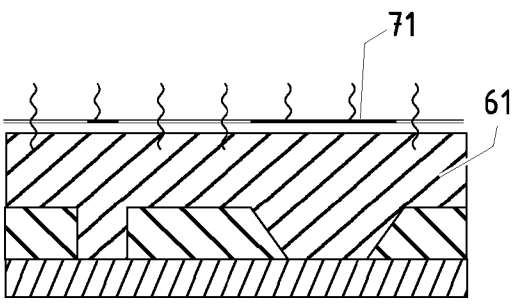


Fig. 1d

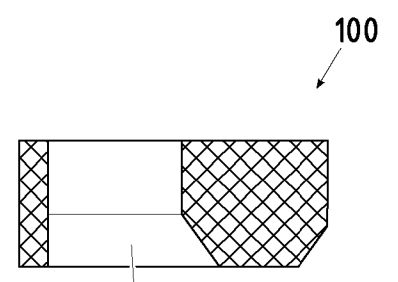
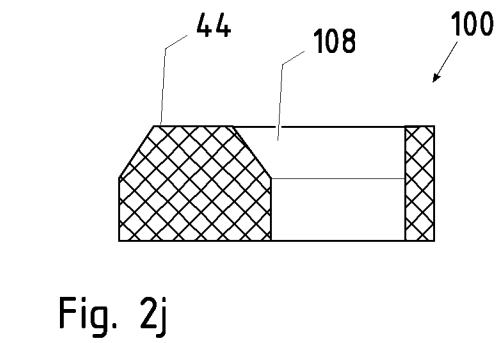
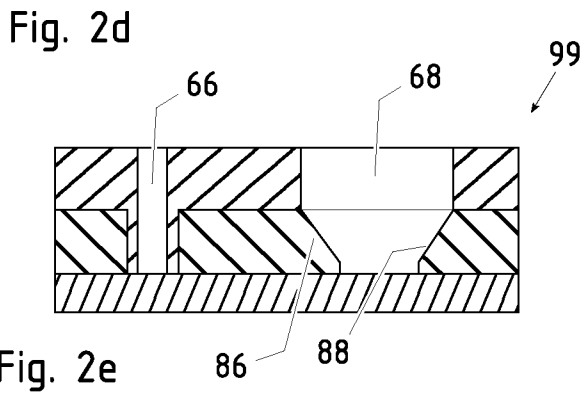
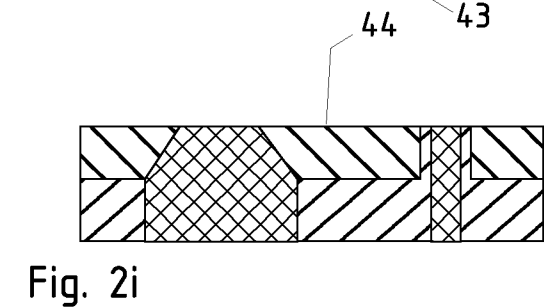
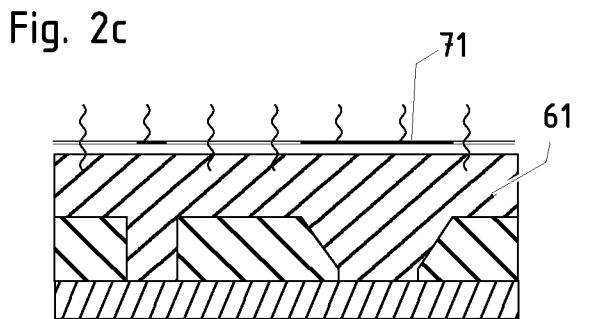
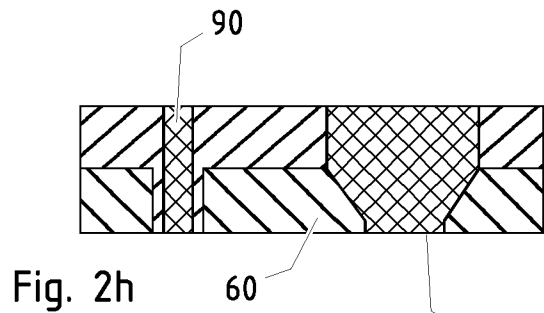
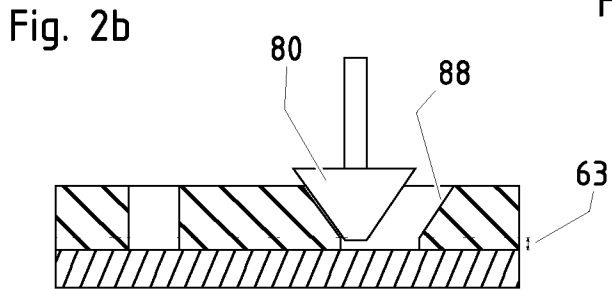
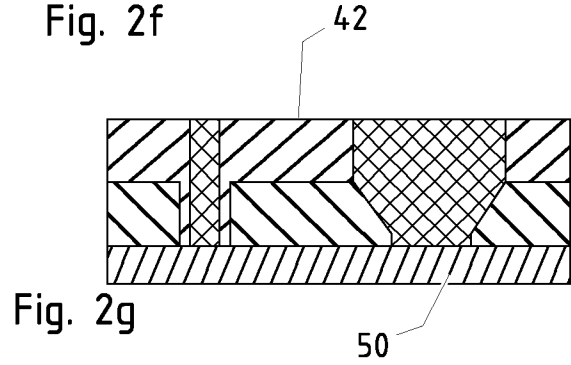
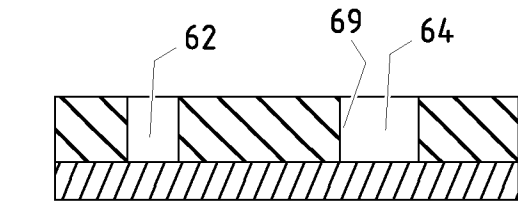
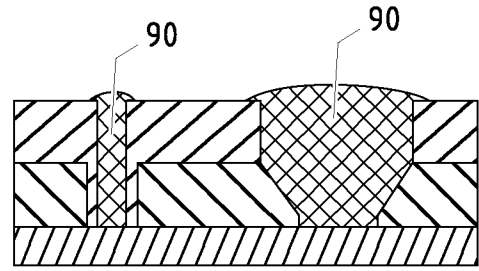
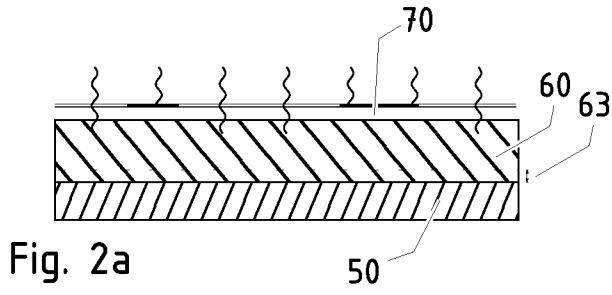
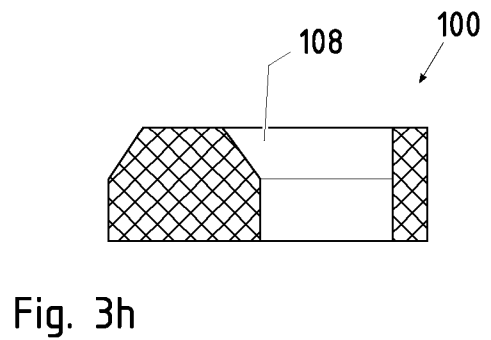
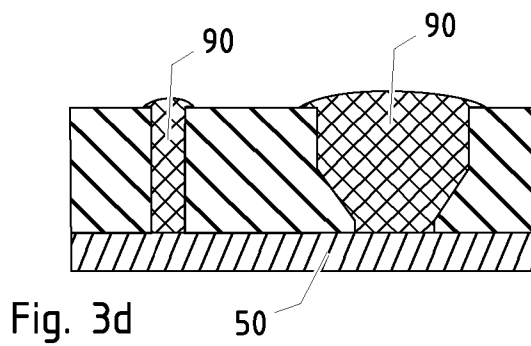
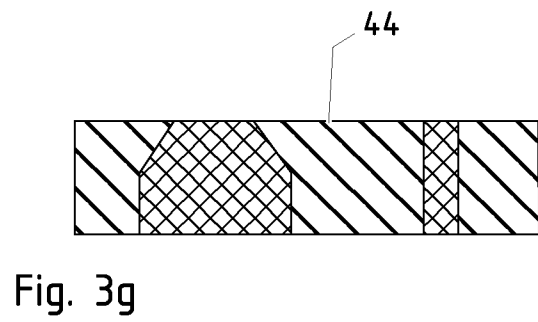
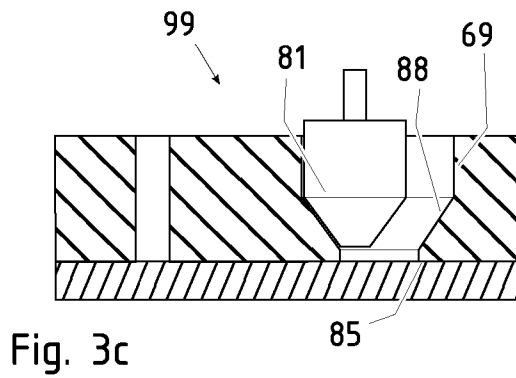
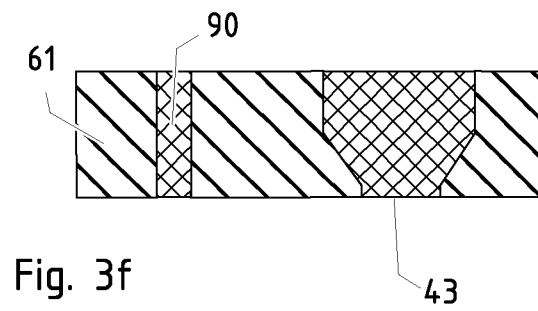
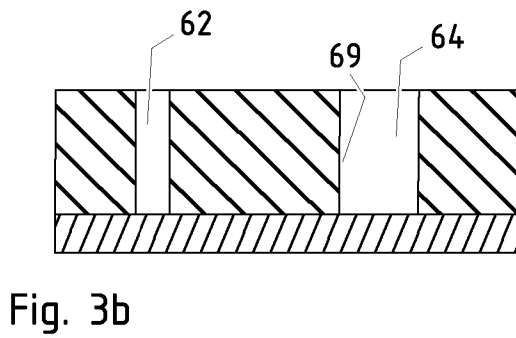
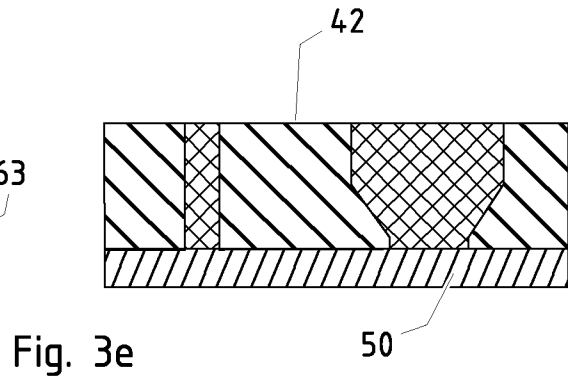
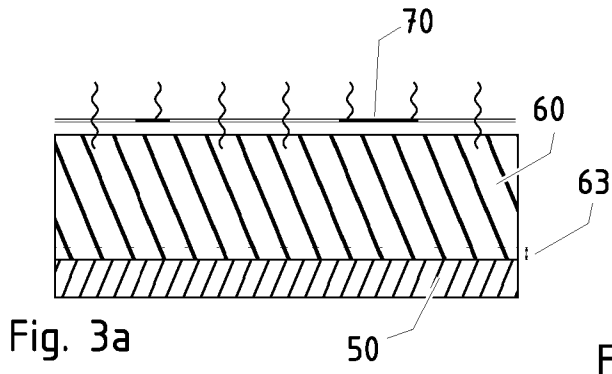


Fig. 1h





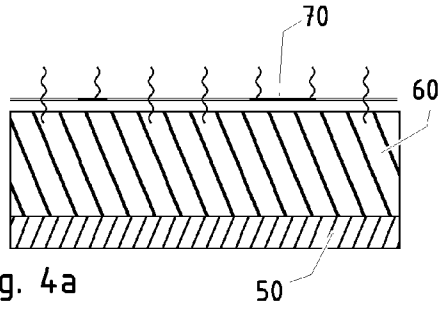


Fig. 4a

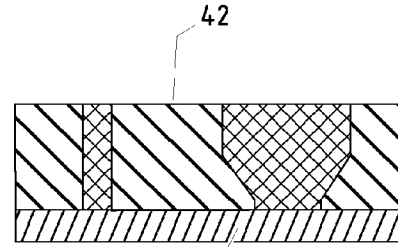


Fig. 4f

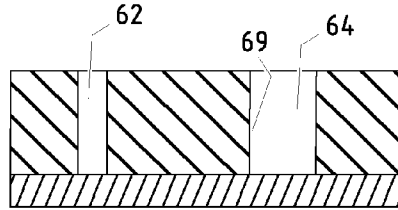


Fig. 4b

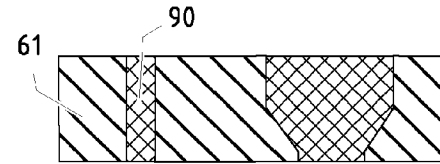


Fig. 4g

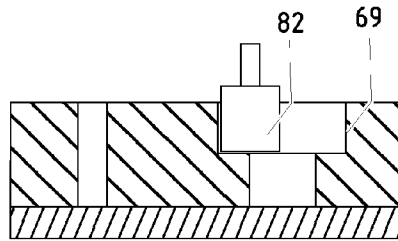


Fig. 4c

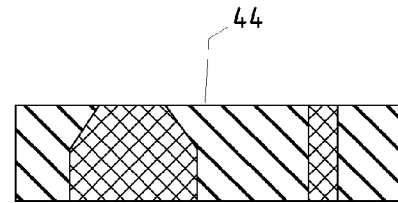


Fig. 4h

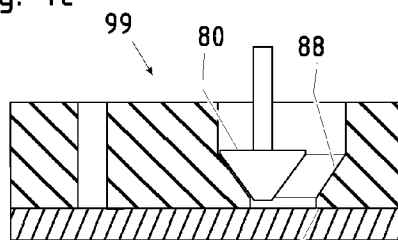


Fig. 4d

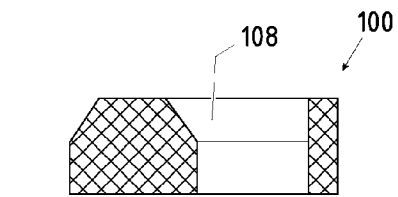


Fig. 4i

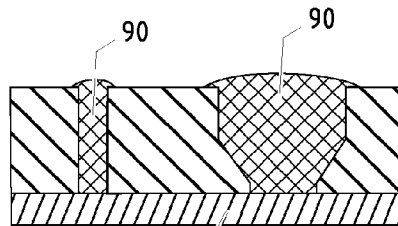


Fig. 4e

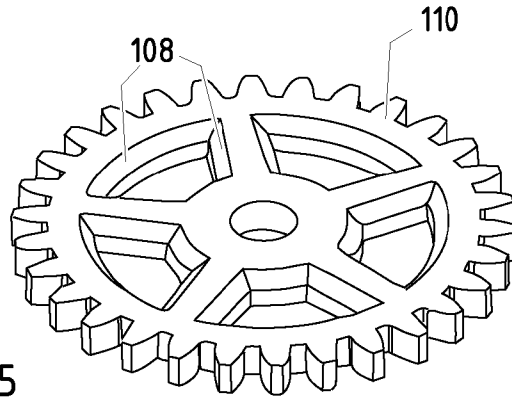


Fig. 5

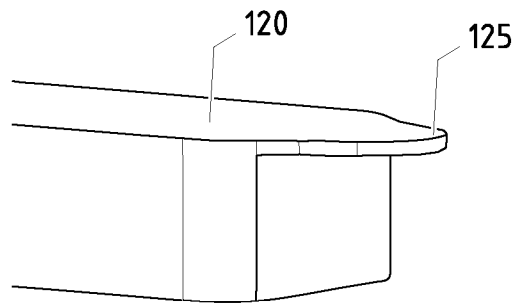


Fig. 6

PRIOR ART

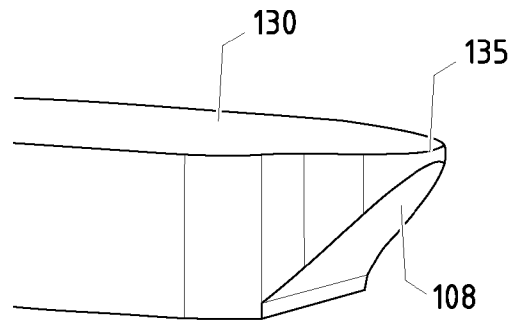


Fig. 7

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE		COTE DU DOSSIER DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE	
		Mimote-4-CH	
Demande nationale n°		Date du dépôt	
5822023		01-06-2023	
Pays du dépôt		Date de priorité revendiquée	
CH			
Déposant (Nom)			
Mimotec SA			
Date de la requête d'une recherche de type international		Numéro donné par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international	
23-06-2023		SN84076	
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)			
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB			
Voir rapport de recherche			
II. DOMAINES RECHERCHES			
Documentation minimale consultée			
Système de classification		Symboles de la classification	
IPC		Voir rapport de recherche	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés			
III. <input type="checkbox"/> IL A ETE ESTIME QUE CERTAINES REVENDICATIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)			
IV. <input type="checkbox"/> ABSENCE D'UNITE DE L'INVENTION (Observations sur la feuille supplémentaire)			

Form PCT/ISA 201 A (11/2000)

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

CH 5822023

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G03F7/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G03F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X Y A	EP 3 453 787 B1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 19 février 2020 (2020-02-19) * figures 1-8; tableau 1 *	1, 5-8, 10, 11 2, 3, 9, 12 4
X Y	----- KR 100 943 157 B1 (KIM CHANG HYEON [KR]; LEE CHANG KYOO [KR]) 17 février 2010 (2010-02-17) * alinéas [0018] - [0034]; figures 2-6 * ----- -/--	1, 2, 4-8 3, 9-13
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
° Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent	"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
		"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
		"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
		"&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée	Date d'expédition du rapport de recherche de type international	
29 septembre 2023		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Roesch, Guillaume	

1

Formulaire PCT/ISA/201 (deuxième feuille) (Janvier 2004)

page 1 de 2

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No
CH 5822023

C.(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DAVIES M A ET AL: "Application of precision diamond machining to the manufacture of micro-photonics components", PROCEEDINGS OF SPIE, IEEE, US, vol. 5183, 1 janvier 2003 (2003-01-01), pages 94-108, XP002495543, DOI: 10.1117/12.506373 ISBN: 978-1-62841-730-2	2, 3, 13
A	* pages 94-96 *	1, 4-12
Y	EP 3 789 825 B1 (MIMOTEC S A [CH]) 6 avril 2022 (2022-04-06) * alinéas [0040] - [0048] *	9-13

1

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n°

CH 5822023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3453787	B1	19-02-2020	AUCUN
KR 100943157	B1	17-02-2010	AUCUN
EP 3789825	B1	06-04-2022	EP 3789825 A1 10-03-2021 EP 4012498 A1 15-06-2022