



(11)

EP 4 383 011 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43)

Date de publication:
12.06.2024 Bulletin 2024/24

(51)

Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 13/02 (2006.01) G04B 15/08 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01) G04B 19/04 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)

(21)

Numéro de dépôt: 22211862.2

(22)

Date de dépôt: 07.12.2022

(52)

Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 15/14; G04B 13/028; G04B 15/08;
G04B 19/042; G04D 3/0069

(84)

Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71)

Demandeur: Patek Philippe SA Genève
1204 Genève (CH)
(72) Inventeur: Fournier, Rémy
1228 Plan-les-Ouates (CH)
(74) Mandataire: Micheli & Cie SA
Rue de Genève 122
Case Postale 61
1226 Genève-Thônex (CH)

(54)

PIÈCE DE MICROMÉCANIQUE HORLOGÈRE ET SON PROCÉDÉ DE FABRICATION

(57)

Pièce de micromécanique horlogère (1) à base de silicium, comprenant une face supérieure (11), une face inférieure opposée à la face supérieure (11) et des parois latérales (12) reliant la face supérieure (11) à la face inférieure, les parois latérales (12) formant le contour de la pièce de micromécanique horlogère (1), le contour comprenant une arête supérieure à l'intersection en-

tre les parois latérales (12) et la face supérieure (11) et une arête inférieure à l'intersection entre les parois latérales (12) et la face inférieure, le contour comprenant au moins une portion chanfreinée (121) dans laquelle l'arête supérieure comporte un chanfrein, et au moins une portion à angle droit (122) dans laquelle l'arête supérieure est à angle droit.

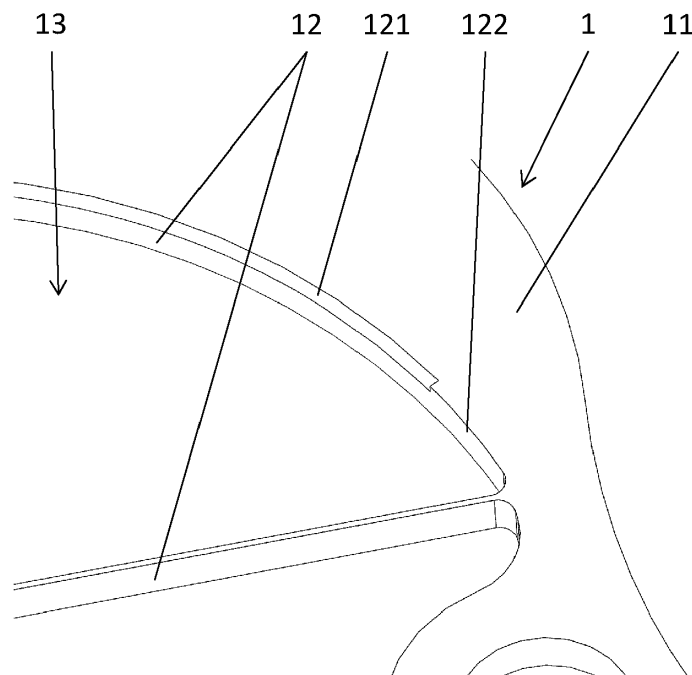


Figure 1

Description

[0001] La présente invention concerne une pièce de micromécanique horlogère à base de silicium et son procédé de fabrication. La présente invention concerne en particulier une pièce de micromécanique horlogère à base de silicium formée par gravure ionique réactive d'un substrat à base de silicium.

[0002] Il est connu de réaliser des pièces de micromécanique horlogère par micro-usinage d'un substrat de silicium mono- ou polycristallin. Le document de brevet EP 0 732 635 A1, par exemple, décrit la réalisation d'une ancre d'échappement en silicium. Le micro-usinage du silicium consiste en grande partie en des opérations de gravure. Pour donner aux pièces la forme désirée, on se sert généralement d'un masque de gravure qu'on a préalablement formé et structuré sur la surface de la plaquette de silicium.

[0003] La technique de gravure la plus répandue est appelée gravure ionique réactive profonde (ou DRIE, Deep Reactive Ion Etching) qui consiste à soumettre un substrat à base de silicium à une phase d'attaque suivie d'une phase de passivation et à répéter cette séquence jusqu'à obtenir, à partir du motif du masque, une gravure anisotrope, c'est-à-dire sensiblement verticale, dans une couche supérieure du substrat. La séquence formée d'une phase de gravure suivie d'une phase de passivation est répétée un grand nombre de fois jusqu'à obtenir une ouverture qui traverse verticalement de part en part la couche supérieure du substrat, dont l'épaisseur est de de l'ordre d'une centaine à quelques centaines de micromètres.

[0004] Un tel procédé est décrit par exemple dans le brevet US 5,501,893 au nom de Robert Bosch GmbH, qui propose de graver des profils à flancs quasiment verticaux dans un substrat en silicium en faisant alterner les étapes de dépôt d'une couche de passivation inerte et de gravure par plasma. Les étapes de dépôt de la couche de passivation et celles de gravure font toutes appel à des composés fluorés, de sorte qu'elles se déroulent dans un même contexte chimique. Chaque étape dure quelques secondes, la couche de passivation est formée sur toute la surface du substrat, de sorte que ce dernier est protégé contre toute gravure subséquente. Durant l'étape de gravure qui suit, le bombardement par des ions qui sont accélérés verticalement désintègre la partie de la couche de passivation qui se trouve au fond des profils mais pas celle qui recouvre les flancs de ceux-ci. Le fond des profils est ainsi très vite exposé à la gravure réactive.

[0005] Un inconvénient de la gravure verticale selon le procédé DRIE est que les arêtes à angle droit des pièces ainsi réalisées sont sensibles aux égrisures, par exemple lors du chassage de la pièce sur un axe.

[0006] Un autre inconvénient est l'aspect semi-fini des pièces dont les arêtes ne sont pas chanfreinées contrairement à ce qui est l'usage pour les pièces de micromécanique horlogère.

[0007] Un but de la présente invention est de proposer une pièce de micromécanique à base de silicium dont le niveau de finition satisfait aux exigences de l'industrie horlogère.

[0008] Un autre but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication permettant de réaliser des pièces de micromécaniques horlogère à base de silicium ayant des arêtes partiellement chanfreinées.

[0009] Ces buts et d'autres avantages sont atteints à l'aide d'une pièce de micromécanique horlogère à base de silicium comprenant une face supérieure, une face inférieure opposée à la face supérieure et des parois latérales reliant la face supérieure à la face inférieure, les parois latérales formant le contour de la pièce de micromécanique horlogère, le contour comprenant une arête supérieure à l'intersection entre les parois latérales et la face supérieure et une arête inférieure à l'intersection entre les parois latérales et la face inférieure, le contour comprenant au moins une portion chanfreinée dans laquelle l'arête supérieure comporte un chanfrein, et au moins une portion à angle droit dans laquelle l'arête supérieure est à angle droit.

[0010] Le fait que l'arête supérieure de la pièce de micromécanique soit partiellement chanfreinée permet de conférer à la face supérieure de la pièce, qui est généralement celle qui reste visible lorsque la pièce est intégrée dans un mouvement horloger, un niveau de finition encore jamais atteint pour des pièces de micromécanique en silicium qui sont difficilement usinables mécaniquement. Cela permet aussi de protéger certaines portions sensibles de l'arête supérieure contre les égrisures, dues par exemple à des contraintes mécaniques sur la pièce. Un autre avantage de chanfreiner au moins partiellement les arêtes visibles de la pièce de micromécanique est que cela permet d'éviter la formation de bourrelets de peinture sur les arêtes lorsque la pièce en silicium est peinte après sa formation. En effet, le phénomène de capillarité tend à retenir la peinture sur les arêtes de la pièce en silicium, ce qui crée un effet visuel de bourrelet qui est atténué, voire supprimé, lorsque l'arête est chanfreinée.

[0011] De préférence, la face supérieure et la face inférieure de la pièce de micromécanique horlogère sont essentiellement planes. De préférence également, les parois latérales sont essentiellement verticales et l'angle du chanfrein de la ou des portions chanfreinées par rapport à la verticale est compris entre 10 degrés et 45 degrés, plus préférentiellement entre 30 degrés et 45 degrés.

[0012] La hauteur du chanfrein de la ou des portions chanfreinées mesurée dans la direction de la hauteur de la paroi latérale correspondante, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire au plan de la face supérieure de la pièce, est par exemple comprise entre 20 micromètres et 50 micromètres.

[0013] L'épaisseur de la pièce de micromécanique horlogère est par exemple comprise entre 80 micromètres et 300 micromètres, par exemple 150 micromètres.

[0014] Optionnellement, l'arête inférieure de la pièce comporte un chanfrein dont l'angle par rapport à la verticale est compris entre 5 degrés et 12 degrés. Cela permet un chassage plus aisé de la pièce sur un axe, par exemple.

[0015] La pièce de micromécanique horlogère appartient par exemple au groupe comprenant un sautoir, en particulier un sautoir à raideur négative, une ancre, une aiguille et une roue.

[0016] Les buts évoqués plus haut et d'autres avantages sont atteints en outre à l'aide d'un procédé de fabrication par gravure ionique réactive d'une telle pièce de micromécanique horlogère, le procédé comprenant la mise à disposition d'un substrat à base de silicium, la formation d'un premier masque sur une surface supérieure du substrat, le premier masque comprenant des premiers ajourages pour exposer à la gravure les emplacements de la surface supérieure du substrat correspondant à la ou aux portions chanfreinées, la formation d'un deuxième masque sur la surface supérieure du substrat, le deuxième masque comprenant des deuxièmes ajourages pour exposer à la gravure les emplacements de la surface supérieure du substrat correspondant à l'ensemble du contour de la pièce de micromécanique horlogère, une première étape de gravure du substrat à travers les premiers ajourages pour graver le chanfrein de la ou des portions chanfreinées, le retrait du premier masque, une deuxième étape de gravure du substrat à travers les deuxièmes ajourages pour former les parois latérales, le retrait du deuxième masque, le détachement de la pièce de micromécanique du substrat.

[0017] Selon une forme d'exécution du procédé de l'invention, la formation du deuxième masque est réalisée après la première étape de gravure et le retrait du premier masque. Le premier masque et le deuxième masque sont alors par exemple formés tous deux en dioxyde de silicium. Alternativement, le premier masque est formé par exemple en résine photosensible et le deuxième masque est formé par exemple en dioxyde de silicium.

[0018] Selon une autre forme d'exécution du procédé de l'invention, la formation du deuxième masque est réalisée avant la formation du premier masque et avant les première et deuxième étapes de gravure. Le premier masque est formé par exemple en résine photosensible et le deuxième masque est formé par exemple en dioxyde de silicium.

[0019] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit illustrée par les figures, où :

- la figure 1 montre un détail d'une pièce de micromécanique horlogère selon l'invention ;
- la figure 2 illustre schématiquement un substrat pour la fabrication d'une pièce de micromécanique horlogère selon l'invention ;
- les figures 3 à 8 illustrent schématiquement des étapes de fabrication d'une pièce de micromécanique horlogère selon une forme d'exécution préférentielle

de l'invention ;

- les figures 9 et 10 illustrent schématiquement des étapes de fabrication d'une pièce de micromécanique horlogère selon une autre forme d'exécution de l'invention.

[0020] En référence à la figure 1, la pièce de micromécanique horlogère 1 de l'invention dont seule une partie est représentée, est une pièce à base de silicium fabriquée par gravure ionique réactive à partir d'un substrat à base de silicium, par exemple à partir d'un substrat de silicium sur isolant (SOI, Silicon On Insulator). La pièce de micromécanique horlogère 1 est essentiellement plane avec une face supérieure 11 correspondant à la face supérieure du substrat dans lequel la pièce de micromécanique horlogère 1 a été découpée, et une face inférieure opposée à la face supérieure, non visible sur la figure 1. Une ou plusieurs parois latérales 12, de préférence essentiellement verticales, relie la face supérieure 11 à la face inférieure et forment ainsi le contour de la pièce. Le contour de la pièce de micromécanique horlogère 1 tel que défini dans la présente demande comprend le contour extérieur de la pièce ainsi que les éventuels contours intérieurs bordant des éventuels jours 13 fonctionnels et/ou esthétiques de la pièce de micromécanique horlogère 1. Selon l'invention, le contour de la pièce de micromécanique horlogère 1 comprend une ou plusieurs portions chanfreinées 121 dans lesquelles l'arête supérieure, qui est à l'intersection de la paroi 12 correspondante et de la face supérieure 11, est chanfreinée, et une ou plusieurs portions à angle droit 122 dans lesquelles l'arête supérieure est à angle droit.

[0021] Typiquement, l'épaisseur de la pièce de micromécanique 1 est comprise entre 80 et 300 micromètres ; l'épaisseur de la pièce est par exemple de 150 micromètres. D'autres épaisseurs sont cependant possibles pour la pièce de micromécanique 1 dans le cadre de l'invention, notamment des épaisseurs supérieures à 150 micromètres, par exemple en raison de contraintes techniques et/ou mécaniques liées à l'utilisation de la pièce de micromécanique 1. Le chanfrein de la ou des portions chanfreinées 121 est de préférence rectiligne, voire légèrement concave ou légèrement convexe. L'angle moyen que forme le chanfrein avec la verticale, c'est-à-dire avec le reste de la paroi latérale 12, est compris entre 10 degrés et 45 degrés, de préférence entre 30 degrés et 45 degrés. La hauteur du chanfrein mesurée verticalement, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire à la face supérieure 11, est de préférence comprise entre 20 micromètres et 30 micromètres.

[0022] La pièce de micromécanique de l'invention est par exemple un sautoir, par exemple un sautoir à raideur négative, une ancre, une aiguille, une roue, ou toute autre pièce de micromécanique horlogère.

[0023] De préférence, plusieurs pièces de micromécanique 1, de préférence identiques, sont gravées simultanément sur une même plaquette de substrat, ou wafer. Pour des raisons de simplification, le procédé de fabri-

cation selon l'invention est décrit ci-dessous en relation avec une pièce de micromécanique. L'homme du métier comprendra cependant qu'il s'applique simultanément et de la même manière à toutes les pièces fabriquées à partir de la même plaquette.

[0024] Le substrat 2 à base de silicium, illustré schématiquement à la figure 2, comprend par exemple du silicium monocristallin, du silicium monocristallin dopé, du silicium polycristallin, du silicium polycristallin dopé, du silicium poreux, de l'oxyde de silicium, du quartz, de la silice, du nitrure de silicium ou du carbure de silicium. Lorsqu'il est sous phase cristalline, le silicium peut avoir n'importe quelle orientation cristalline. Le substrat 2 à base de silicium est par exemple du SOI comportant une couche supérieure 21 en silicium, une couche intermédiaire 22 en oxyde de silicium et une couche inférieure 23 en silicium. Selon d'autres formes d'exécution non représentées, le substrat à base de silicium comporte une couche de silicium sur une base en un matériau différent, par exemple en métal.

[0025] Selon le procédé de l'invention, le substrat est soumis à deux étapes de gravure successives : une première étape de gravure pour former les chanfreins de la ou des portions chanfreinées de la pièce de micromécanique et une deuxième étape pour former les parois latérales de la pièce. Durant la première étape de gravure, le substrat est recouvert d'un premier masque comprenant des premiers ajourages pour exposer à la gravure uniquement les zones de la surface supérieure du substrat 2 correspondant aux portions du contour de la pièce devant être chanfreinées. Durant la deuxième étape de gravure, le substrat est recouvert d'un deuxième masque comprenant des deuxièmes ajourages pour exposer à la gravure tout le contour. Après la deuxième étape de gravure, la pièce de micromécanique ainsi formée est détachée de manière connue de la plaquette.

[0026] Selon une forme d'exécution préférentielle du procédé de l'invention illustrée schématiquement par les figures 3 à 8, le premier masque 31 est formé de manière connue sur le substrat 2 à partir d'un matériau capable de résister à la gravure. Le premier masque 31 comprenant les premiers ajourages 310 est par exemple formé à partir de dioxyde de silicium ou en résine photosensible sur la partie supérieure de la couche supérieure 21 en silicium. Selon l'invention, le premier masque 31 ne découvre que les emplacements correspondant aux portions chanfreinées 121 de la pièce à fabriquer, les emplacements correspondant aux portions à angle droit 122 de la pièce à fabriquer étant recouverts par le premier masque 31.

[0027] Une fois le premier masque 31 formé à la surface du substrat 2, la première étape de gravure pour graver des parois obliques dans une partie de l'épaisseur du substrat 2 à partir des premiers ajourages 310 est réalisée dans une chambre de gravure. Les parois obliques ainsi gravées formeront le ou les chanfreins de la pièce de micromécanique.

[0028] La première étape de gravure est une étape de

gravure essentiellement isotropique qui permet la formation, dans les zones de la couche supérieure 21 du substrat 2 qui sont exposées à la gravure à travers les premiers ajourages 310, de cuvettes dont les parois s'étendent légèrement sous le premier masque 31 selon un angle ouvert et une orientation de préférence sensiblement rectiligne. La détermination de la forme et de l'angle des parois obliques détermine la forme et l'angle des chanfreins de la pièce de micromécanique à fabriquer. La première étape de gravure est de préférence réalisée en mélangeant dans la chambre de gravure du gaz de gravure, par exemple de l'hexafluorure de soufre (SF₆), et du gaz de passivation, par exemple de l'octafluorocyclobutane (C₄F₈). La proportion entre le gaz de gravure et le gaz de passivation permet de déterminer l'angle des parois obliques ainsi gravées. De préférence, l'angle des parois obliques par rapport à la verticale est compris entre 10° et 45°, de manière encore plus préférentielle entre 35° et 45°. Le mode d'introduction des gaz dans la chambre de gravure, typiquement de manière puisée, permet de contrôler la direction de la gravure et ainsi définir la forme des parois obliques, par exemple rectilignes, ou légèrement convexes ou concaves.

[0029] Suite à la première étape de gravure, le premier masque est retiré de préférence de manière connue du substrat 2 (figure 5).

[0030] Avant la deuxième étape de gravure 32, un deuxième masque de gravure comprenant des deuxièmes ajourages 320 est formé de préférence de manière connue sur le substrat à partir d'un matériau capable de résister à la gravure (figure 6). Le deuxième masque 32 est par exemple formé à partir de dioxyde de silicium sur la partie supérieure de la couche supérieure 21 en silicium du substrat 2. Selon l'invention, le deuxième masque 32 découvre tous les emplacements correspondant aux contours de la pièce à fabriquer, découvrant ainsi les emplacements correspondant aux portions chanfreinées 121 et les emplacements correspondant aux portions à angle droit 122. Le deuxième masque 32 recouvre les emplacements de la surface supérieure du substrat 2 qui correspondent à la face supérieure de la pièce à fabriquer.

[0031] Selon cette forme d'exécution du procédé de l'invention, le retrait du premier masque et la formation du deuxième masque 32 sont de préférence réalisés hors de la chambre de gravure.

[0032] Une fois le deuxième masque 32 formé à la surface du substrat 2, la deuxième étape de gravure pour graver des parois verticales à partir des deuxièmes ajourages 320 dans toute l'épaisseur de la couche supérieure 21 en silicium du substrat 2, est réalisée dans une chambre de gravure. La deuxième étape de gravure permet ainsi de former le contour de la pièce de micromécanique. La deuxième étape de gravure est par exemple réalisée dans la même chambre de gravure que la première étape de gravure.

[0033] En référence à la figure 7, la deuxième étape de gravure est essentiellement anisotropique et permet

ainsi de former des parois 12 sensiblement verticales à partir des deuxièmes ajourages 320 du deuxième masque 32, de préférence de manière connue en alternant des phases de gravure durant lesquelles le substrat 2 est exposé au gaz de gravure, et des phases de passivation durant lesquelles le substrat 2 est exposé au gaz de passivation.

[0034] La deuxième étape de gravure est optionnellement terminée par une phase de gravure un peu plus longue que les précédentes de manière à accentuer la gravure dans la partie inférieure des parois latérales et ainsi former une arête inférieure légèrement oblique, schématiquement illustrée à la figure 8. Une telle arête inférieure légèrement oblique, avec un angle de préférence entre 5° et 10° par rapport à la verticale, est avantageuse par exemple si la pièce de micromécanique ainsi fabriquée doit être chassée par exemple sur un axe, pour éviter des égrisures de l'arête inférieure lors du chassage. La formation de cette arête inférieure légèrement oblique par prolongation de la dernière étape de gravure est communément appelée notching. Alternativement, la deuxième étape de gravure est optionnellement terminée par une phase de gravure isotropique similaire à la première étape de gravure afin de créer également sur les arêtes inférieures de la pièce un chanfrein tel que décrit plus haut en relation avec les portions chanfreinées.

[0035] Suite à la deuxième étape de gravure, la pièce de micromécanique horlogère 1 est libérée de préférence de manière connue du deuxième masque et du substrat 2. Une étape de désoxydation est par exemple réalisée afin de retirer le deuxième masque en oxyde de silicium et, éventuellement, une partie de la couche intermédiaire 22 en oxyde de silicium. Puis une étape de libération du substrat 2 de la pièce de micromécanique est réalisée par exemple à l'aide d'une attaque chimique sélective pour désagréger la couche intermédiaire 22.

[0036] Selon le procédé de l'invention, la première étape de gravure et la deuxième étape de gravure peuvent être réalisées dans la même chambre de gravure à l'aide des mêmes gaz de gravure et de passivation, mais selon des protocoles différents, par exemple des temps d'exposition à chaque gaz différents, des mélanges gazeux différents, etc. afin d'obtenir un résultat différent à chaque étape de gravure.

[0037] Selon la forme d'exécution du procédé de l'invention décrite plus haut, entre la première étape de gravure et la deuxième étape de gravure, le premier masque exposant uniquement les portions chanfreinées du contour de la pièce est retiré et le deuxième masque exposant le contour complet de la pièce est formé sur le substrat. Le substrat est ainsi retiré de la chambre de gravure après la première étape de gravure et réintroduit dans la ou une chambre de gravure après la formation du deuxième masque.

[0038] Selon une autre forme d'exécution du procédé de l'invention illustrée schématiquement par les figures 9 et 10, le premier masque 31 et le deuxième masque

32 sont formés tous les deux sur le substrat 2 avant la première étape de gravure. Le deuxième masque 32 est formé de manière connue sur le substrat 2 à partir d'un matériau capable de résister aux étapes de gravure du procédé. Le deuxième masque 32 est par exemple formé à partir de dioxyde de silicium. Le deuxième masque 32 est formé sur la surface supérieure du substrat 2. Selon l'invention, le deuxième masque 32 découvre tous les emplacements de la couche supérieure 21 en silicium correspondant au contour de la pièce à fabriquer, découvrant ainsi les emplacements correspondant à la ou aux portions chanfreinées 121 et les emplacements correspondant à la ou aux portions à angle droit 122.

[0039] Le premier masque 31 est ensuite formé sur la surface supérieure du substrat 2 portant déjà le deuxième masque 32. Le premier masque 31 est donc formé au moins partiellement sur le deuxième masque 32. Le premier masque 31 est formé sur le substrat 2 à partir d'un matériau capable de résister aux étapes de gravure du procédé, mais pouvant être retiré dans la chambre de gravure et sans endommager le deuxième masque 32. Le premier masque 31 est par exemple formé à partir d'une résine photosensible. Selon l'invention, le premier masque 31 comprend les premiers ajourages 310 qui permettent de n'exposer à la gravure que les emplacements correspondant à la ou aux portions chanfreinées 121 du contour de la pièce à fabriquer, les emplacements correspondant à la ou aux portions à angle droit 122 du contour de la pièce à fabriquer étant recouverts par le premier masque 31.

[0040] Une fois le deuxième masque 32 et le premier masque 31 formés à la surface du substrat 2, la première étape de gravure essentiellement isotrope pour graver des parois obliques est réalisée dans une chambre de gravure afin de former les arêtes chanfreinées de la pièce de micromécanique, comme expliqué plus haut.

[0041] Suite à la première étape de gravure, le premier masque 31 est retiré dans la chambre de gravure, par exemple à l'aide de plasma d'oxygène. De l'oxygène est introduit dans la chambre de gravure, qui va dissoudre le premier masque en résine photorésistante.

[0042] Une fois le premier masque 31 retiré du substrat 2 (figure 10), la deuxième étape de gravure pour graver les parois 12 verticales à partir des deuxièmes ajourages 320 du deuxième masque 32 est réalisée dans la chambre de gravure, formant ainsi le contour de la pièce de micromécanique, comme expliqué plus haut. La deuxième étape de gravure étant essentiellement anisotrope, les parois obliques formées durant la première étape de gravure, qui sont au moins partiellement couvertes par le deuxième masque 32, ne sont pratiquement pas affectées par la deuxième étape de gravure.

[0043] Comme expliqué précédemment, la deuxième étape de gravure est optionnellement terminée par une phase de notching : une phase de gravure un peu plus longue que les précédentes de manière à créer une arête inférieure légèrement oblique. Alternativement, la deuxième étape de gravure est optionnellement termi-

née par une phase de gravure isotropique similaire à la première étape de gravure afin de créer également sur les arêtes inférieures de la pièce un chanfrein tel que décrit plus haut en relation avec les portions chanfreinées.

[0044] Suite à la deuxième étape de gravure, la pièce de micromécanique est libérée de préférence de manière connue du deuxième masque et du substrat. Une étape de désoxydation est par exemple réalisée afin de retirer le deuxième masque en dioxyde de silicium et, éventuellement, une partie de la couche intermédiaire en oxyde de silicium. Puis une étape de libération du substrat de la pièce de micromécanique est réalisée par exemple à l'aide d'une attaque chimique sélective pour désagréger la couche intermédiaire.

[0045] De manière connue, la pièce de micromécanique horlogère 1 de l'invention à base de silicium peut être soumise à des opérations de finition, par exemple des traitements de surface, pour améliorer sa résistance physique et/ou son aspect esthétique.

[0046] Le procédé de fabrication selon l'invention permet de produire une pièce de micromécanique horlogère dont l'aspect esthétique correspond aux critères de l'industrie horlogère en ce que sa face supérieure présente un niveau de finition supérieur à celui des pièces de micromécanique horlogère à base de silicium de l'art antérieur. La combinaison de la première étape de gravure essentiellement isotrope à travers le premier masque, et de la deuxième étape de gravure essentiellement anisotrope à travers le deuxième masque avec des ajourages différents de ceux du premier masque, permet d'obtenir une pièce dont l'arête supérieure est partiellement chanfreinée, permettant ainsi de mettre en valeur, et également de protéger des égrisures, certaines portions choisies de la pièce. Ce chanfreinage partiel de l'arête supérieure de la pièce de micromécanique en silicium ainsi produite permet également d'atténuer, voire d'éviter complètement, la formation de bourrelets de peinture, au moins sur les portions chanfreinées, lorsque la pièce est peinte après sa fabrication.

Revendications

1. Pièce de micromécanique horlogère (1) à base de silicium, comprenant une face supérieure (11), une face inférieure opposée à la face supérieure (11) et des parois latérales (12) reliant la face supérieure (11) à la face inférieure, les parois latérales (12) formant le contour de la pièce de micromécanique horlogère (1), le contour comprenant une arête supérieure à l'intersection entre les parois latérales (12) et la face supérieure (11) et une arête inférieure à l'intersection entre les parois latérales (12) et la face inférieure, le contour comprenant au moins une portion chanfreinée (121) dans laquelle l'arête supérieure comporte un chanfrein, et au moins une portion à angle droit (122) dans laquelle l'arête supérieure est

à angle droit.

2. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon la revendication précédente, dans laquelle la face supérieure (11) et la face inférieure sont essentiellement planes.
3. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon l'une des revendications 1 et 2, dans laquelle les parois latérales (12) sont essentiellement verticales et dans laquelle l'angle du chanfrein de la au moins une portion chanfreinée par rapport à la verticale est compris entre 10 degrés et 45 degrés, plus préférentiellement entre 30 degrés et 45 degrés.
4. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle la hauteur du chanfrein de la au moins une portion chanfreinée (121) mesurée dans la direction de la hauteur de la paroi latérale (12) correspondante est comprise entre 20 micromètres et 50 micromètres.
5. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle l'épaisseur de la pièce de micromécanique horlogère (1) est comprise entre 80 micromètres et 300 micromètres.
6. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon la revendication 5, dans laquelle l'épaisseur de la pièce de micromécanique horlogère (1) est de 150 micromètres.
7. Pièce de micromécanique horlogère (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle la pièce de micromécanique horlogère (1) appartient au groupe comprenant un sautoir, une ancre, une aiguille et une roue.
8. Procédé de fabrication par gravure ionique réactive d'une pièce de micromécanique horlogère (1) selon l'une des revendication 1 à 6, comprenant :

- la mise à disposition d'un substrat (2) à base de silicium ;
- la formation d'un premier masque (31) sur une surface supérieure du substrat (2), le premier masque (31) comprenant des premiers ajourages (310) pour exposer à la gravure les emplacements de la surface supérieure du substrat (2) correspondant à la au moins une portion chanfreinée (121) ;
- la formation d'un deuxième masque (32) sur la surface supérieure du substrat (2), le deuxième masque (32) comprenant des deuxièmes ajourages (320) pour exposer à la gravure les emplacements de la surface supérieure du substrat (2) correspondant à l'ensemble du contour de la pièce de micromécanique horlogère

- (1) ;
- une première étape de gravure du substrat (2)
à travers les premiers ajourages (310) pour gra-
ver le chanfrein de la au moins une portion chan-
freinée (121) ; 5
- le retrait du premier masque (31) ;
- une deuxième étape de gravure du substrat
(2) à travers les deuxièmes ajourages (320) pour
former les parois latérales (12) ;
- le retrait du deuxième masque (32) ; 10
- le détachement de la pièce de micromécanique
(1) du substrat (2).
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la for-
mation du deuxième masque (32) est réalisée après 15
la première étape de gravure et le retrait du premier
masque (31).
10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel le pre-
mier masque (31) et le deuxième masque (32) sont 20
formés en dioxyde de silicium.
11. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la for-
mation du deuxième masque (32) est réalisée avant 25
la formation du premier masque (31) et avant les
première et deuxième étapes de gravure.
12. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 11,
dans lequel le premier masque (31) est formé en 30
résine photosensible et le deuxième masque (32)
est formé en dioxyde de silicium.

35

40

45

50

55

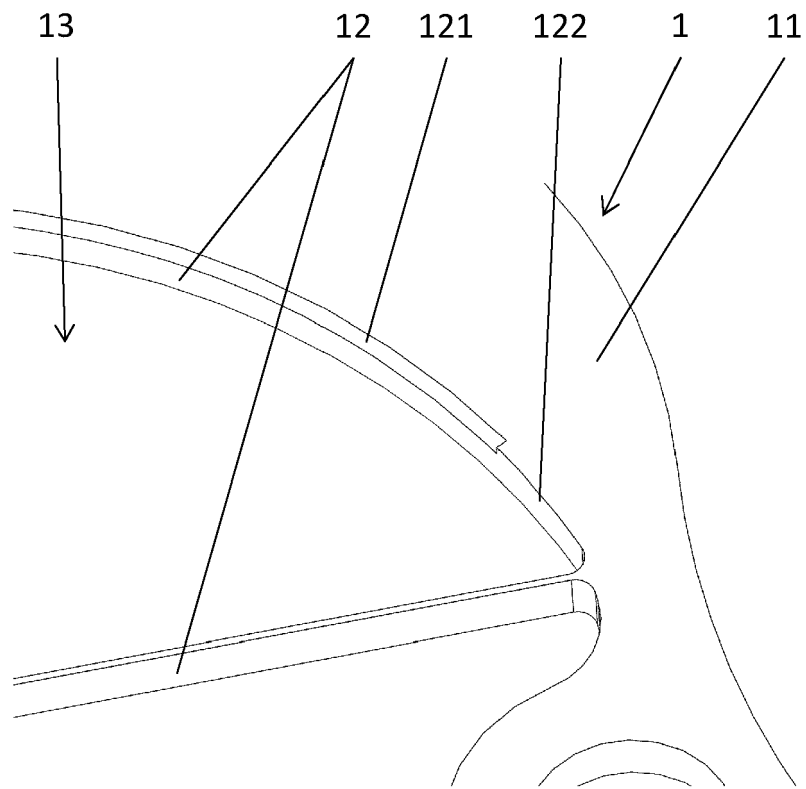


Figure 1

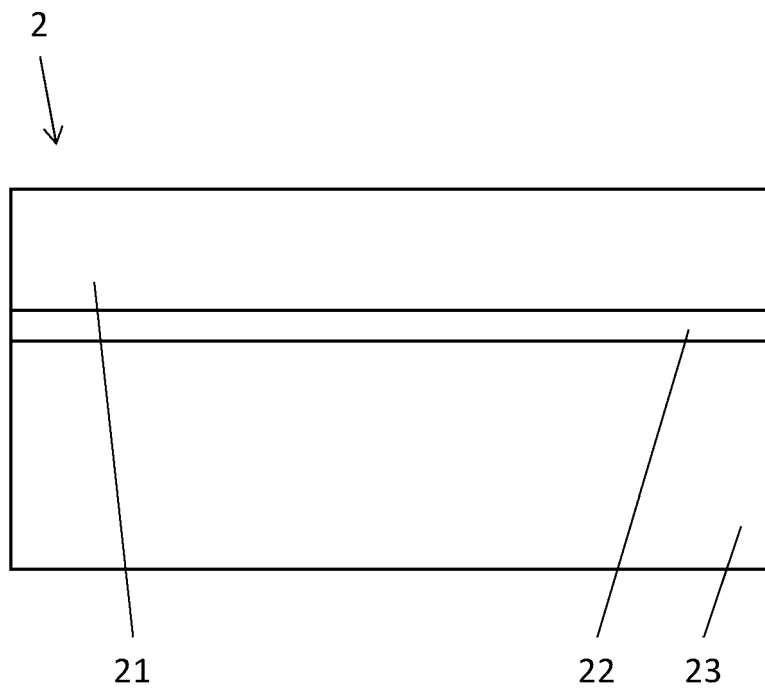


Figure 2

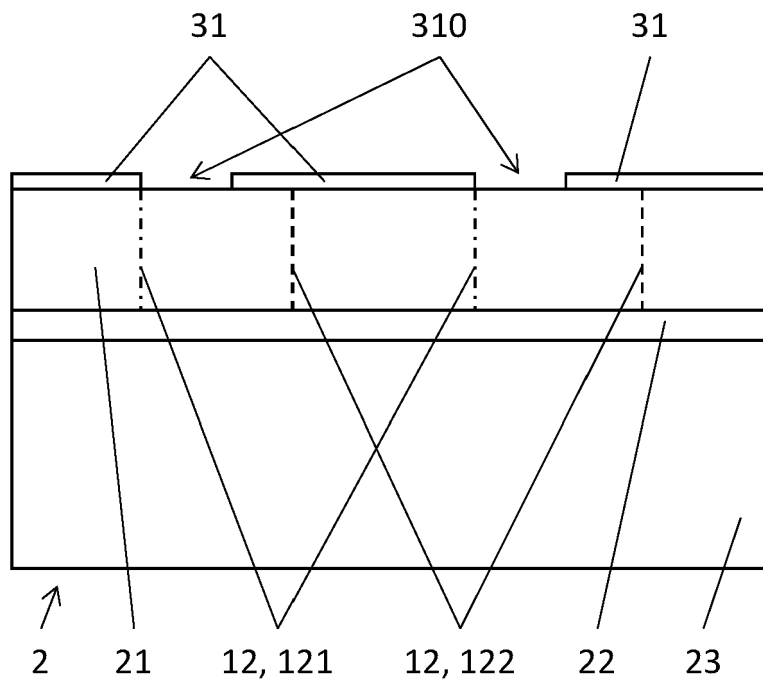


Figure 3

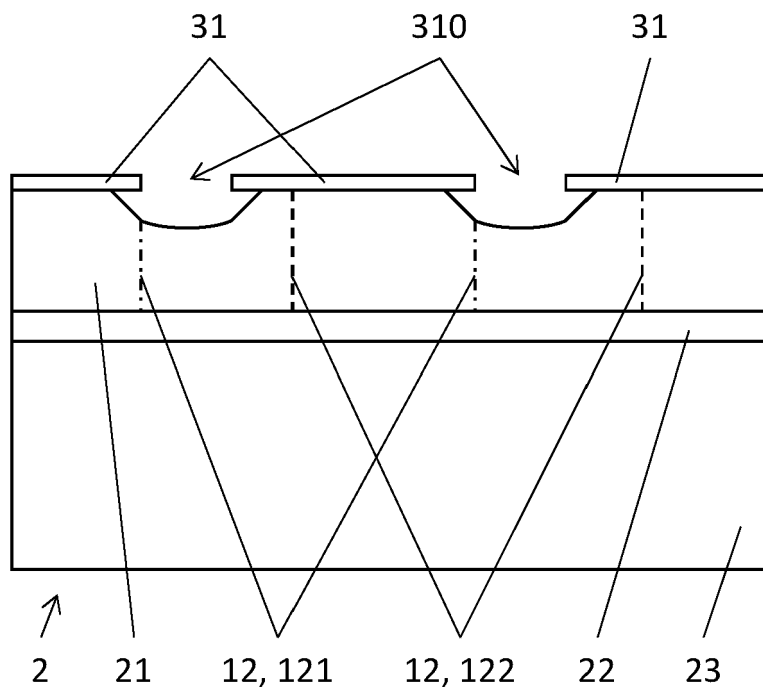


Figure 4

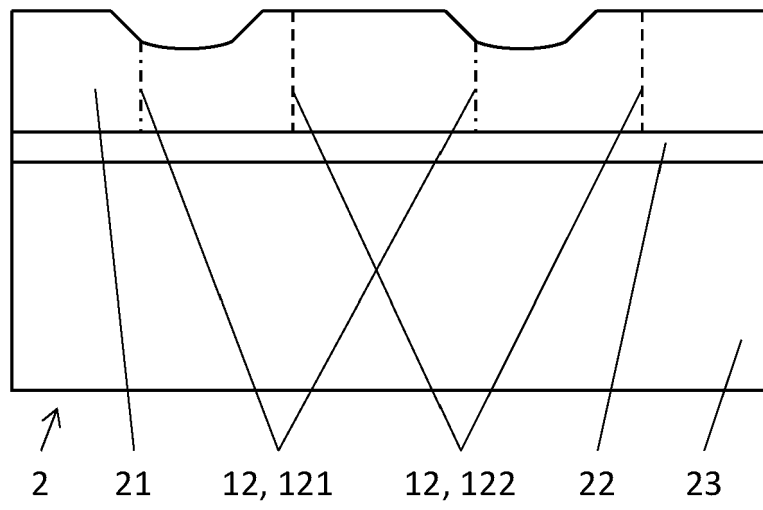


Figure 5

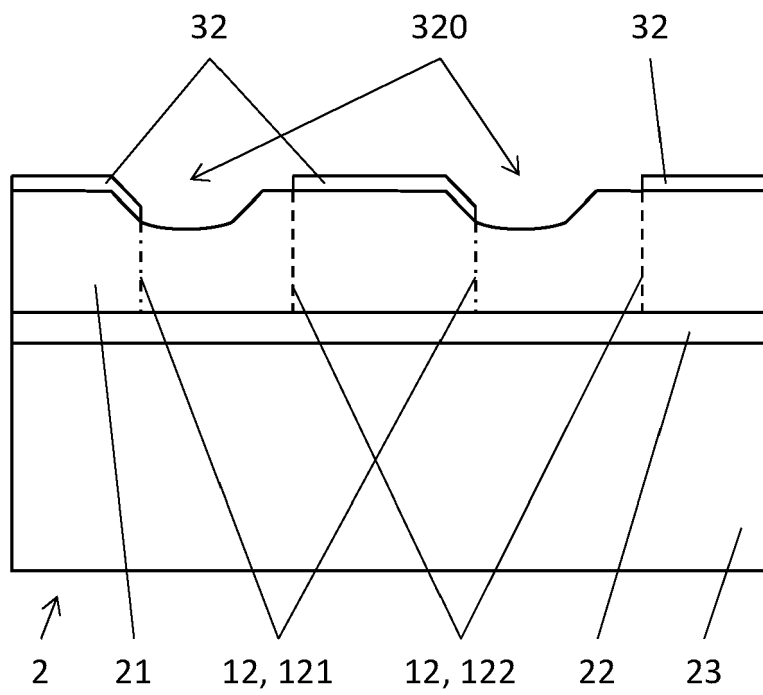


Figure 6

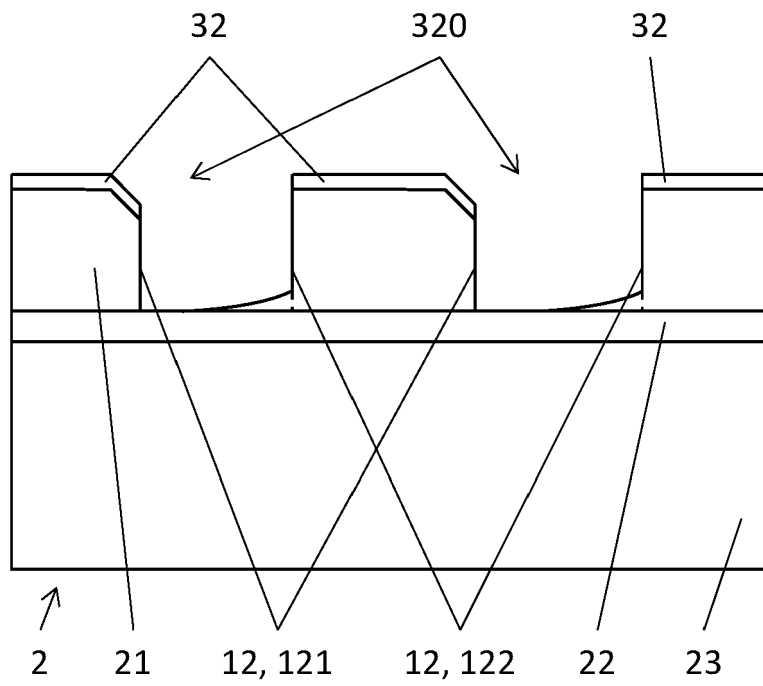


Figure 7

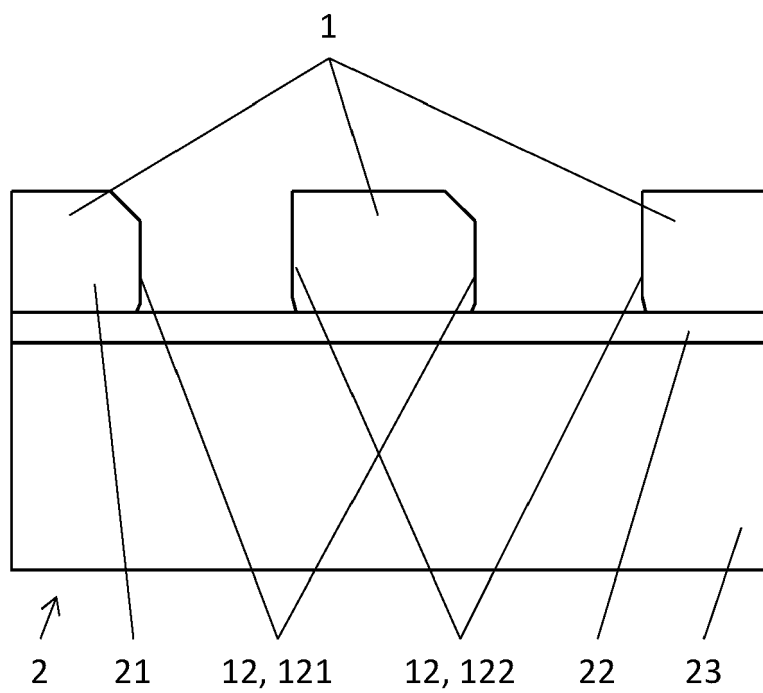


Figure 8

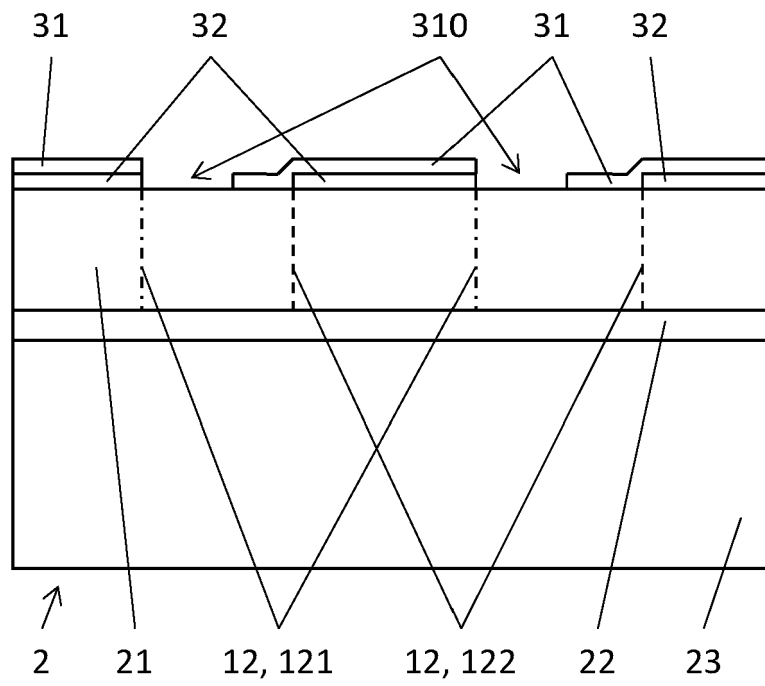


Figure 9

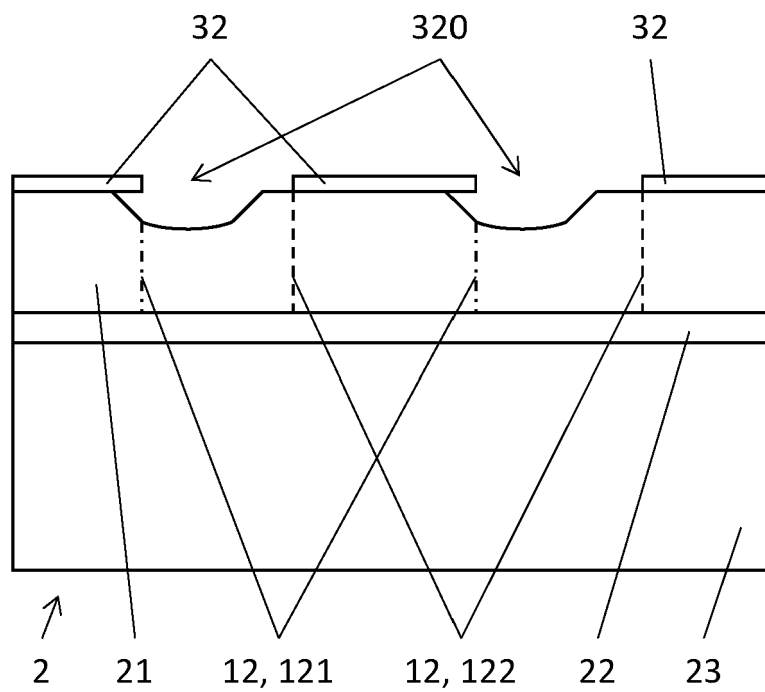


Figure 10



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 21 1862

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	CH 710 795 A2 (MASTER DYNAMIC LTD [HK]) 31 août 2016 (2016-08-31)	1, 2, 7	INV. G04B13/02
Y	* alinéas [0032] - [0034]; figures 3B, 4B *	8-12	G04B15/08
A	* alinéa [0024] *	3-6	G04B15/14 G04B19/04

X	EP 2 727 880 B2 (GFD GES FUER DIAMANTPRODUKTE MBH [DE] ET AL.) 7 août 2019 (2019-08-07)	1-6	ADD. G04D3/00
	* alinéas [0009], [0012], [0020] *		

X	EP 2 107 434 A1 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES E [CH] ET AL.) 7 octobre 2009 (2009-10-07)	1-5	
A	* alinéas [0040], [0042] *	6, 7	

Y	US 2002/138049 A1 (ALLEN MARK G [US] ET AL) 26 septembre 2002 (2002-09-26)	8-12	
	* alinéas [0093], [0094]; figures 2, 3 *		

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 16 mai 2023	Examineur Cavallin, Alberto
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 21 1862

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

16-05-2023

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CH 710795 A2	31-08-2016	CH 710795 A2	31-08-2016
		CN 105892259 A	24-08-2016
		EP 3056948 A1	17-08-2016
		HK 1209578 A2	01-04-2016
		HK 1222462 A1	30-06-2017
		HK 1224386 A1	18-08-2017
		TW 201702439 A	16-01-2017
		US 2016238994 A1	18-08-2016
		WO 2016131377 A1	25-08-2016

EP 2727880 B2	07-08-2019	AUCUN	

EP 2107434 A1	07-10-2009	AUCUN	

US 2002138049 A1	26-09-2002	AU 767122 B2	30-10-2003
		CA 2330207 A1	16-12-1999
		EP 1086214 A1	28-03-2001
		JP 2002517300 A	18-06-2002
		US 2002138049 A1	26-09-2002
		WO 9964580 A1	16-12-1999

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0732635 A1 [0002]
- US 5501893 A [0004]