

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 708 998 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 31/08** (2006.01)
G04B 13/02 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 02079/13

(22) Date de dépôt: 16.12.2013

(43) Demande publiée: 30.06.2015

(24) Brevet délivré: 31.08.2018

(45) Fascicule du brevet publié: 31.08.2018

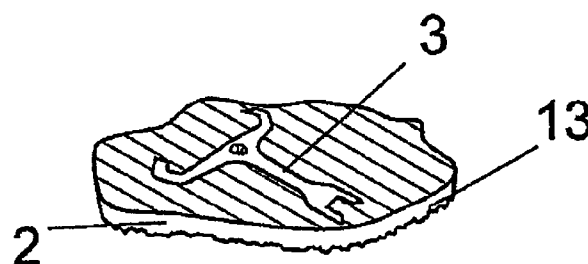
(73) Titulaire(s):
TGM Développement SA c/o Etude Tissot, Rue Neuve 8
2300 La Chaux-de-Fonds (CH)

(72) Inventeur(s):
Serguei Mikhailov, 2014 Bôle (CH)

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

(54) **Composant horloger et procédé pour réduire le coefficient de frottement d'un composant horloger.**

(57) L'invention concerne un composant horloger dont au moins une partie de la surface comporte un des matériaux parmi les matériaux du groupe suivant: Diamant, DLC «diamond like carbon», carbone amorphe, oxyde de silicium, nitrure de silicium, carbure de silicium. Ladite partie de la surface étant lubrifiée au moyen d'un lubrifiant hygroscopique.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un composant horloger lubrifié, par exemple un mouvement de montre ou une partie de mouvement de montre.

Etat de la technique

[0002] Les pièces mécaniques pour mouvements de montre mécaniques sont le plus souvent réalisées en métal. Les pièces mobiles, par exemple les axes, les roues, les pignons, l'ancre d'échappement, la roue d'échappement, le balancier et le spiral sont fréquemment réalisés en acier, ou en acier elinvar pour le spiral.

[0003] Le coefficient de frottement de l'acier est cependant relativement important, ce qui provoque des pertes d'énergie importantes par frottement notamment au niveau de l'échappement et du rouage. Le frottement a donc pour effet de réduire la durée de marche de la montre, et de provoquer une usure rapide des composants.

[0004] Afin de réduire ce coefficient de frottement, on emploie fréquemment des huiles et d'autres lubrifiants. Les huiles et lubrifiants ont cependant l'inconvénient de se dégrader et de s'étaler en quittant les pièces lubrifiées. Pour réduire cet étalement, il est donc connu d'effectuer un traitement de surface appelé épilavage et qui permet d'augmenter la lipophobicit   et donc de réduire l'étalement de lubrifiants horlogers gras sur des composants horlogers métalliques ou céramiques notamment.

[0005] Cette technologie est cependant difficile à appliquer sur des pièces très petites ou très fines; l'huile a tendance à quitter ces pièces qui sont difficiles à épilaver.

[0006] Afin d'atténuer ces inconvénients, certaines pièces subissant un frottement important, par exemple les paliers ou les palettes de l'ancre, sont souvent réalisées en rubis. On emploie aussi parfois la céramique pour certains roulements. Bien que relativement coûteux, ces matériaux ne présentent pas non plus un coefficient de frottement optimal.

[0007] Des recherches intensives ont été menées afin de remplacer ces matériaux conventionnels et d'éviter certains de leurs inconvénients. A titre d'exemple, le silicium est aujourd'hui utilisé de manière industrielle pour la fabrication des organes de l  chappement ou du spiral notamment. EP 732 635 A1 (CSEM) décrit une pièce micro-mécanique, par exemple une ancre pour mouvement d'horlogerie, découpée dans une plaque en silicium par attaque au moyen d'un gaz plasma autour d'un masque de forme ménagé préalablement sur la face de la plaque.

[0008] Le silicium a l'avantage d'être facile à usiner, de manière reproductible, avec des technologies parfaitement ma  tr  s  es pour la fabrication de circuits intégrés ou de MEMS notamment. Il présente cependant un état de surface tribologique insuffisant et un coefficient de frottement relativement élevé.

[0009] Afin d'améliorer cet état de surface du silicium, et aussi de compenser la dérive thermique du module d'Young, il est connu de revêtir les pièces mécaniques fonctionnelles en silicium d'une couche d'oxyde de silicium (SiO  ), qui peut être obtenue par exemple par oxydation thermique dans un four.

[0010] Par ailleurs, CH 669 109 A1 (The Swatch Group R&D Ltd.) suggère d'améliorer cet état de surface en déposant une couche de carbone DLC («Diamond Like Carbon») sur le silicium. De manière similaire, US 2002/114 225 (Damasko) décrit notamment une ancre d  chappement en acier revêtu d'une couche DLC («Diamond Like Carbon»). US 2012/0 263 909 (Diamaze Microtechnology SA et al.) décrit un autre exemple de pièce mécanique revêtue de diamant ou d'une couche DLC.

[0011] Les revêtements DLC possèdent certaines des propriétés du diamant naturel, bien que leur structure cristalline soit différente. De manière générale, ces revêtements sont produits à l'aide d'un procédé de déposition de carbone par plasma, par arcs filtrés, par faisceaux ioniques, par pulvérisation cathodique etc. Ces procédés rapides, à haute énergie, ne permettent pas aux atomes de carbones de s'arranger selon la disposition cubique sp  3 typique du diamant; l'arrangement des atomes est globalement amorphe, avec un enchevêtrement de micro-structures cristallines orientées différemment les unes des autres.

[0012] Une pièce en acier ou en silicium revêtue d'une couche DLC présente donc des   tats de surface tribologiques qui sont améliorés, sans être parfaits.

[0013] Différents lubrifiants spécifiquement destinés à la lubrification de pièces recouvertes de DLC ont donc été proposés. Par exemple, JP-A-2008-56 735 décrit un mécanisme à basse friction avec des surfaces de glissement utilisant du diamant et une composition lubrifiante incluant un additif spécifique.

[0014] On connaît aussi en horlogerie des pièces mécaniques fonctionnelles avec un revêtement en carbone amorphe qui présente certains des avantages du DLC.

[0015] On connaît encore en mécanique des pièces revêtues de nitrure de silicium (SiN) ou de carbure de silicium (SiC).

[0016] On connaît par ailleurs des pièces micromécaniques fabriquées en diamant synthétique polycristallin. Ainsi, WO 2004/029 733 A2 (Fore Eagle Co. Ltd.) décrit des composants horlogers réalisés au moins partiellement dans ce matériau. Ce document énumère différents avantages du diamant, notamment sa dureté, un faible coefficient de frottement,

une bonne résistance aux chocs, une résistance mécanique élevée, un module d'élasticité élevé, un faible coefficient de dilatation thermique, la transparence et la capacité de ne pas se rayer.

[0017] EP 2 107 434 A1 décrit une pièce mécanique, notamment une roue d'ancre pour l'horlogerie, en silicium ou en diamant.

[0018] CH 701 369 décrit un ressort de barillet en diamant.

[0019] On connaît par ailleurs différentes méthodes de fabrication de diamant synthétique. US 8 088 221 B2 (Z. Shapiro) décrit un procédé de fabrication de diamant synthétique à basse température et relativement basse pression. EP 2 189 555 A2 (Appollo Diamond Inc.) décrit un autre procédé de production de diamant synthétique. Des procédés par déposition CVD ou par détonation d'explosifs ont aussi été suggérés.

[0020] Les pièces mécaniques recouvertes d'oxyde de silicium, de DLC, de carbone amorphe et surtout les pièces mécaniques entièrement en diamant, présentent un état tribologique grandement amélioré par rapport aux pièces en acier ou en silicium conventionnel; le coefficient de frottement est remarquablement bas.

[0021] Il existe cependant un besoin, notamment dans l'horlogerie de moyen de gamme et de haut de gamme, pour des composants horlogers présentant un coefficient de frottement encore plus bas que celui qui peut être obtenu avec le diamant ou les pièces recouvertes de DLC ou de carbone amorphe.

[0022] En particulier, il existe un besoin pour un lubrifiant spécifiquement adapté au diamant ou aux revêtements à base de DLC ou de carbone amorphe et qui permet de réduire davantage encore le coefficient de frottement.

Bref résumé de l'invention

[0023] Selon l'invention, au moins un de ces buts est atteint notamment au moyen d'une pièce mécanique fonctionnelle, notamment d'un composant horloger, selon la revendication 1.

[0024] Un lubrifiant hygroscopique est un lubrifiant qui a la particularité d'absorber l'eau, notamment l'humidité dans l'air, en formant des ions OH⁻.

[0025] Il a été observé que ces ions OH⁻ sont favorables à la lubrification sur les surfaces des matériaux indiqués.

[0026] Dans un mode de réalisation préférentiel, le lubrifiant est à base d'eau.

[0027] L'utilisation de lubrifiants à base d'eau dans une montre est tout à fait inattendue; il existe en effet un préjugé tenace contre la présence d'eau dans les montres.

[0028] On considère aussi souvent que les lubrifiants à base d'huile sont plus efficaces que les lubrifiants à base d'eau. Des expériences ont cependant démontré que sur les matériaux indiqués, les lubrifiants à base d'eau et de composants hygroscopiques sont nettement supérieurs aux composants à base d'huile.

[0029] En particulier, des tests ont cependant montré que la lubrification de pièces en diamant monocristallin, polycristallin et/ou revêtus de DLC, de carbone amorphe, ou de nitrure, carbure ou dioxyde de silicium avec un lubrifiant à base d'eau et d'un composant hygroscopique a pour effet de réduire de façon considérable le coefficient de frottement.

[0030] L'utilisation d'un composant fortement hygroscopique permet d'absorber l'humidité présente dans la montre en la concentrant dans le lubrifiant; cette humidité ne se répand donc pas dans tout le mouvement, et n'est donc pas préjudiciable pour la bonne marche du mouvement.

[0031] Le lubrifiant peut être composé à plus de 50% d'un composant hygroscopique.

[0032] Le composant hygroscopique du lubrifiant peut comporter du glycérol. Le composant hygroscopique du lubrifiant peut être constitué majoritairement de glycérol. Le lubrifiant peut être composé à plus de 95% de glycérol et d'eau.

[0033] Le glycérol est un composé de formule HOH₂C-CHOH-CH₂OH relativement économique.

[0034] Un avantage de l'utilisation de glycérol comme lubrifiant est d'obtenir une lubrification presque parfaite sur le diamant; le coefficient de frottement devient presque nul sur un diamant soigneusement poli.

[0035] Le glycérol et l'eau forment sur le diamant des groupes OH⁻ qui favorisent la lubrification.

[0036] Un autre avantage est que le lubrifiant se «régénère» naturellement avec l'humidité présente dans l'air de la montre. Sa dégradation est donc minime et réversible.

[0037] Le glycérol a en outre l'avantage d'absorber partiellement les chocs.

[0038] Le procédé et le lubrifiant décrits sont adaptés à la fabrication de pièces micromécaniques, notamment pour l'horlogerie.

[0039] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne une ancre d'échappement en diamant ou recouverte de DLC ou de carbone amorphe et lubrifiée avec un tel lubrifiant.

[0040] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne une palette pour ancre d'échappement en diamant ou recouverte de DLC ou de carbone amorphe ou d'oxyde de silicium et lubrifiée avec un tel lubrifiant.

[0041] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne une roue d'ancre d'échappement revêtue de l'un des matériaux indiqués et lubrifiée avec un tel lubrifiant.

[0042] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne une roue ou un pignon revêtu/e de l'un des matériaux indiqués et lubrifié avec un tel lubrifiant.

[0043] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne un ressort de barillet revêtu de l'un des matériaux indiqués et lubrifié avec un tel lubrifiant.

[0044] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne un palier revêtu de l'un des matériaux indiqués et lubrifié avec un tel lubrifiant.

[0045] Dans un mode de réalisation, l'invention concerne un amortisseur revêtu de l'un des matériaux indiqués et lubrifié avec un tel lubrifiant.

[0046] Le composant peut être entièrement ou partiellement revêtu de l'un des matériaux indiqués.

[0047] Le composant peut être intégralement dans l'un des matériaux indiqués.

[0048] Le composant peut être intégralement en diamant polycristallin ou préférentiellement intégralement en diamant monocristallin.

[0049] Le diamant monocristallin permet la fabrication de pièces d'une finesse extrême, par exemple de roues d'échappements ou d'autres pièces d'une épaisseur de 60, 40 ou même seulement 20 micromètres. Cette caractéristique permet de réduire l'épaisseur du mouvement et l'inertie des pièces en mouvement. Cela permet également d'augmenter la réserve de marche de la montre, et d'augmenter la fréquence d'oscillation de l'organe réglant.

[0050] La technique de lubrification décrite présente l'avantage d'être adaptée à la lubrification de telles pièces fines.

[0051] D'autre part, les diamants monocristallins polis ont généralement un état de surface plus lisse que les diamants polycristallins ou les revêtements DLC, dont la structure en grains ne permet pas d'obtenir une surface tribologique optimale.

[0052] Le composant est avantageusement une pièce mécanique fonctionnelle. Par pièce mécanique fonctionnelle, on entend dans la présente demande une pièce qui remplit une fonction mécanique, en sorte qu'il n'est pas possible de retirer cette pièce sans affecter au moins une fonction du mouvement de montre. Une pièce purement décorative, ou un élément d'habillage horloger, n'est donc pas considéré comme une pièce mécanique fonctionnelle.

[0053] Un composant est dit «réalisé intégralement en diamant» s'il est constitué par un seul cristal de diamant, sans substrat dans une autre matière, sans revêtement de surface et généralement sans assemblage. Des impuretés en faible quantité, par exemple moins de 3%, peuvent tout au plus être présentes notamment dans le cas de diamants naturels, mais aussi de diamants synthétiques. Les impuretés peuvent par exemple être constituées par un dopage.

[0054] Un diamant est considéré monocristallin s'il est constitué d'un seul cristal, ou essentiellement d'un seul cristal à l'exception d'un nombre limité de cristaux distincts, souvent plus petits que le cristal principal, non désirés mais qui résultent par exemple du processus de fabrication ou d'une cristallisation imparfaite autour des impuretés ou des bords.

[0055] Le composant peut être réalisé en diamant monocristallin naturel ou synthétique.

[0056] Les diamants synthétiques sont dans la vaste majorité des cas polycristallins; il est généralement considéré difficile de réaliser des diamants synthétiques monocristallins, surtout des diamants de grandes dimensions. Il a cependant été observé plus récemment que l'évolution des technologies permet de fabriquer des diamants synthétiques monocristallins de plus de 1 carat à des coûts relativement bas.

[0057] Des diamants synthétiques monocristallins peuvent par exemple être obtenus en faisant croître du carbone par déposition CVD autour d'une amorce en diamant monocristallin. L'amorce en diamant monocristallin peut être réutilisée pour faire croître successivement plusieurs diamants synthétiques monocristallins. Il est important que l'amorce soit en diamant monocristallin pour que la structure qui se dépose soit elle-même monocristalline. Le carbone peut être obtenu à partir de méthane dans un réacteur CVD.

[0058] Le diamant synthétique monocristallin peut aussi être obtenu par compression de carbone à haute pression et haute température. Cette solution résulte cependant en des coûts plus élevés, notamment pour la fabrication de diamants monocristallins de grandes dimensions.

[0059] Le diamant peut être dopé. Le dopage du diamant synthétique peut être obtenu lors de sa fabrication en ajoutant des impuretés dans le gaz du réacteur CVD. Le dopage du diamant peut aussi être obtenu par implantation d'ions au moyen d'un faisceau à haute énergie. Le dopage peut être homogène dans tout le volume du composant. Le dopage peut être limité à la surface, ou différent en surface et en profondeur. Le dopage peut être choisi de manière à contrôler la dureté et/ou la couleur et/ou l'élasticité et/ou la sensibilité du module d'Young à la température. Différents composants en diamant du même mouvement peuvent être dopés différemment.

[0060] Le composant peut comporter une âme métallique ou céramique ou silicium revêtue d'une enveloppe DLC ou en carbone amorphe.

[0061] Le composant peut comporter une âme métallique ou céramique ou silicium revêtue d'une enveloppe en oxyde de silicium. Dans ce cas, le lubrifiant hygroscopique peut être constitué par l'oxyde de silicium, ou par un composant supplémentaire tel que du glycérol ou un autre composant liquide sur l'oxyde de silicium.

[0062] L'invention concerne aussi un mouvement d'horlogerie comportant une ou plusieurs composants mécaniques fonctionnels en diamant monocristallin.

[0063] L'invention concerne par ailleurs également un procédé pour réduire le coefficient de frottement d'un composant horloger selon la revendication 17. Dans un mode de réalisation particulier, au moins une partie de la surface du composant horloger comporte un des matériaux dans le groupe suivant:

diamant;

DLC («Diamond Like Carbon»);

carbone amorphe;

oxyde de silicium;

nitrure de silicium;

carbure de silicium;

et le procédé comporte les étapes suivantes:

polissage d'au moins une portion de ladite partie de la surface de ladite pièce;

lubrification de ladite partie de la surface avec un lubrifiant à base d'eau et composé à plus de 50% d'un composant hygroscopique.

[0064] Le polissage peut être effectué avec un faisceau laser.

[0065] Le polissage peut être effectué avec un faisceau d'ions.

[0066] Le polissage peut être effectué avec des procédés électrochimiques.

[0067] L'état d'au moins une surface du composant est avantageusement traité à la fois par traitement thermique, par polissage mécanique et par rectification laser.

[0068] Le polissage peut être effectué uniquement ou différemment sur les surfaces latérales du composant soumises au frottement contre d'autres pièces.

[0069] De manière avantageuse, au moins une portion de ces surfaces est corrigée afin d'avoir un état tribologique meilleur qu'avant la correction.

[0070] Au moins une portion des faces latérales du composant peut être rectifiée au moyen d'un laser de manière à ce que cette portion soit sensiblement perpendiculaire aux faces inférieures et supérieures du composant.

[0071] Le procédé peut en outre comporter une étape de traitement thermique de la surface du composant avant lubrification en l'exposant à une température entre 600° et 750 °C, de préférence entre 650 et 680 °C. Cette opération permet de brûler le carbone sous forme de graphite produit par la découpe du diamant et qui subsiste éventuellement en surface. Ce traitement thermique permet en outre de polir le diamant, par brûlure des pointes en surface.

[0072] Le procédé peut en outre comporter une étape de nettoyage à l'essence du composant avant lubrification.

[0073] Le procédé peut comporter une étape de déposition de lubrifiant hygroscopique, puis d'introduction volontaire d'humidité dans une boîte de montre. Cette introduction d'humidité peut être effectuée par exemple par injection d'air avec un taux contrôlé d'humidité, par vaporisation, etc.

Brève description des figures

[0074] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles:

Les fig. 1A à 1E illustrent différentes étapes successives d'un procédé de fabrication d'un composant horloger selon l'invention.

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

[0075] Nous allons maintenant décrire à titre d'exemple différents aspects d'un procédé de fabrication d'un composant horloger fonctionnel selon l'invention.

[0076] La fig. 1A illustre un diamant monocristallin ou polycristallin 1 non taillé employé pour fabriquer une ou plusieurs composants selon l'invention. Le diamant monocristallin ou polycristallin peut être un diamant naturel ou un diamant synthétique, d'un poids avantageusement supérieur à 1 carat, de préférence supérieur à 3 carats.

[0077] Dans le cas d'un diamant naturel, il peut s'agir d'un diamant ayant une forme ou d'autres propriétés le rendant impropre à une valorisation pour un usage en joaillerie.

[0078] Un diamant monocristallin synthétique peut être produit par exemple au moyen d'un arc filtré afin de déposer du carbone sur une amorce de diamant monocristallin, sans apport d'hydrogène ou d'autres matériaux. Une autre possibilité est d'effectuer un dépôt CVD de carbone produit à partir d'un hydrocarbure tel que le méthane ou l'acétylène sur une amorce de diamant monocristallin. L'amorce peut être réutilisée après découpe de plaques dans la masse déposée au-dessus de l'amorce.

[0079] Une troisième possibilité, moins avantageuse, est de produire un diamant monocristallin synthétique en soumettant une source de carbone à une haute température et à une haute pression simultanée. D'autres procédés pourront être utilisés.

[0080] Le diamant monocristallin ainsi formé peut être dopé. Dans un mode de réalisation, le produit dopant peut être introduit au cours de la formation du diamant synthétique, par exemple en ajoutant des traces de produit dopant dans l'arc filtré respectivement dans le réacteur CVD. Dans un autre mode de réalisation, le produit dopant est ajouté après la formation du diamant synthétique, par exemple au moyen d'un faisceau d'ions à haute énergie. Le dopage peut être effectué de manière homogène dans toute la masse du diamant, et/ou uniquement en surface. Un premier dopage peut être effectué dans la masse et un dopage différent, par exemple avec un autre produit dopant et/ou avec une autre concentration, peut être effectué en surface.

[0081] Le dopage peut être sélectionné afin de modifier la dureté des pièces produites à partir de ce diamant; selon le produit dopant, il est possible d'augmenter ou de réduire cette dureté. Le dopage peut aussi être sélectionné de manière à contrôler la couleur du diamant. Le dopage peut être choisi de manière à contrôler le module d'Young du diamant. Le dopage peut être choisi de manière à réduire la sensibilité du module d'Young à la température, afin de produire des pièces dont la rigidité soit aussi indépendante que possible de la température. Le dopage peut être choisi de manière à réduire le coefficient de dilatation du diamant, afin de produire des pièces dont les dimensions soient aussi indépendantes que possible de la température.

[0082] Dans un mode de réalisation, le diamant est dopé avec des ions de bore. Différents diamants utilisés pour la production de différentes pièces dans une même montre peuvent être dopés différemment en fonction des propriétés recherchées.

[0083] Le dopage au bore effectué lors de la croissance organique du diamant synthétique a l'avantage de produire un diamant noir non radioactif, au contraire des procédés de dopage par introduction d'ions à haute énergie.

[0084] Le diamant monocristallin 1 est ensuite découpé comme illustré sur la fig. 1B, par exemple au moyen d'une scie à diamant, ou fendu à l'aide d'un marteau et d'une lame, d'un arc électrique, d'un faisceau ionique, ou de préférence découpé au moyen d'un laser de façon à obtenir une surface 10 plane. Le laser est avantageusement un laser piqué, par exemple un laser piqué à une fréquence de 5 à 40 GHz.

[0085] Dans le mode de réalisation illustré sur les figures, le diamant est découpé en tranche depuis un premier côté au moyen d'un premier faisceau laser 20. Le faisceau laser est pivoté au moyen d'un miroir mobile, de manière à émettre dans un cône avec un angle d'ouverture inférieur à 5°. Le diamant est ensuite attaqué depuis l'autre côté au moyen d'un autre faisceau laser 21 pivoté dans un cône. Il est aussi possible d'utiliser le même faisceau laser pour attaquer les deux côtés de la pièce, en la retournant entre les deux découpes. Cet usinage en cône permet d'élargir la zone d'ablation et d'éviter les mauvais états de surface et la destruction de la structure cristalline qui risque de se produire si l'ablation était effectuée dans un canal étroit, en provoquant une élévation de température excessive. Le procédé est comparable, toutes proportions gardées, à celui d'un bûcheron tronçonnant un tronc au moyen de deux entailles en biais depuis chaque côté du tronc.

[0086] La surface convexe ainsi produite par ce tronçonnage est ensuite rectifiée ou aplatie au moyen d'un faisceau laser orienté parallèlement à la surface de la plaque que l'on souhaite produire. La fréquence de pulsation de ce laser peut être par exemple entre 10 et 100 KHz, afin d'obtenir une découpe précise sans les problèmes de modifications de la structure cristalline causés par la haute énergie des lasers piqués plus rapidement.

[0087] Dans un premier mode de réalisation, le plan de coupe est déterminé afin d'obtenir une surface active de la pièce orientée selon le plan cristallin (111) qui est généralement le plus dur. Dans le cas d'une plaque destinée à la fabrication d'un ressort spiral horloger, le plan de coupe est de préférence parallèle au plan (111) du diamant. Dans le cas d'une plaque destinée à la fabrication de palettes pour ancre d'horlogerie, le plan de coupe est de préférence distinct du plan (111) et choisi de manière à permettre la découpe de palettes dont la surface d'impulsion, obtenue dans la tranche des plaques découpées, est parallèle au plan d'orientation cristalline (111).

[0088] Il a cependant été constaté dans le cadre de l'invention que même si le plan cristallin (111) est le plus dur, cette dureté décroît très brusquement en cas de légère déviation par rapport à ce plan idéal. Par exemple, une pièce découpée ou polie selon un plan qui dévie ne serait-ce que de quelques degrés par rapport au plan (111) présente une dureté et un état de surface nettement diminués. Il est cependant difficile, notamment dans le cadre d'une fabrication industrielle, de fabriquer des pièces comportant des surfaces orientées précisément selon le plan (111), sans aucune déviation.

[0089] Par conséquent, dans un mode de réalisation préférentiel, le plan de coupe est déterminé afin de d'obtenir une surface active de la pièce orientée sensiblement selon le plan cristallin (001) ou selon le plan (011); bien que moins durs

que le plan idéal (111), ces plans sont moins sensibles aux déviations par rapport à la surface idéale. Dans le cas d'une plaque destinée à la fabrication d'un ressort spiral horloger, le plan de coupe est de préférence sensiblement parallèle au plan (001) ou (011) du diamant. Dans le cas d'une plaque destinée à la fabrication de palettes pour ancre d'horlogerie, le plan de coupe est de préférence choisi de manière à permettre la découpe de palettes dont la surface d'impulsion, obtenue dans la tranche des plaques découpées, est sensiblement parallèle au plan d'orientation cristalline (001) ou (011). Sensiblement parallèle signifie ici que la déviation après polissage est au maximum de $\pm 5^\circ$.

[0090] Le plan (011) possède les meilleures propriétés tribologique – le coefficient de frottement est le plus bas.

[0091] Il est possible de maintenir le diamant 1 pendant la coupe par exemple en le cimentant ou en le collant sur un support temporaire.

[0092] La face brute 10 obtenue au terme de cette découpe est ensuite rectifiée et/ou polie de manière à obtenir une face plane polie 11 comme illustrée sur la fig. 1C.

[0093] La rectification de la face 11 peut être effectuée, comme indiqué, au moyen d'un laser, par exemple d'un laser puisé entre 10 et 100 KHz.

[0094] Le polissage de la face 11 peut être effectué sur une meule rotative couverte de poudre de diamant synthétique, par exemple de poudre de diamant polycristallin.

[0095] La rugosité de la face 11 peut aussi être réduite au moyen d'un faisceau d'ions à haute énergie parallèle à la surface.

[0096] Le diamant est ensuite découpé selon une nouvelle coupe parallèle à la première coupe, de manière à obtenir une plaque fine 2 comme illustrée sur la fig. 1D. Cette découpe délicate est avantageusement effectuée par laser pour éviter des chocs qui pourraient casser la plaque. Comme la découpe de la face supérieure, cette découpe peut être effectuée au moyen d'un ou deux faisceaux lasers déviés par un miroir pour produire une zone d'ablation conique.

[0097] Selon le type de pièce désiré, ce procédé permet de tailler des plaques de diamant extrêmement fines, par exemple des plaques d'une épaisseur inférieure à 400 micromètres, par exemple des plaques d'une épaisseur comprise entre 100 et 400 micromètres dans le cas de plaques destinées à l'usinage de palettes, et des plaques d'une épaisseur comprise entre 20 et 80 micromètres, par exemple de 60 micromètres dans le cas de fabrication de roues d'ancres ou d'ancres.

[0098] Cette caractéristique permet de fabriquer des pièces extrêmement légères et donc de réduire l'énergie nécessaire pour les mettre en déplacement.

[0099] La face inférieure 12 de la plaque 2 est relativement brute. Pour beaucoup d'applications, notamment en horlogerie, cet aspect non parfaitement poli est entièrement satisfaisant puisque cette face est non visible. Il est cependant envisageable en réalisant une pièce légèrement plus épaisse de polir également cette face 12, par exemple par polissage mécanique sur une meule et/ou laser. Dans un mode de réalisation, la pièce est tenue sans colle lors de son polissage, de préférence par vacuum. Il est ainsi possible de contrôler très précisément l'épaisseur de la pièce après polissage, sans que cette épaisseur ne dépende de l'épaisseur de la colle.

[0100] La plaque 2 produite peut être contrôlée visuellement afin d'éliminer les plaques qui présentent trop d'impuretés ou une structure non monocristalline. Dans un mode de réalisation, ce contrôle est effectué en illuminant la plaque avec une lumière polarisée faisant ressortir les imperfections. Le contrôle peut être manuel ou effectué à au moyen d'une caméra et d'un logiciel d'analyse d'images.

[0101] Au cours de l'étape illustrée sur la fig. 1E, la pièce 3 est découpée dans la surface de la plaque 2. Cette découpe est par exemple obtenue au moyen d'un faisceau laser perpendiculaire à l'une des surfaces 11, 12 ou au plan médian de la plaque 2. Dans l'exemple des figures, la pièce 3 ainsi découpée est une ancre d'échappement pour mouvement de montre. Il est aussi possible de réaliser d'autres pièces micromécaniques à l'aide du procédé décrit ci-dessus, par exemple une roue d'ancre ou un ressort spiral ou une autre roue. Plusieurs pièces différentes peuvent être découpées dans une seule plaque.

[0102] Le procédé de découpe dans une plaque 2 de la pièce 3 au moyen d'un laser a l'inconvénient de produire des flancs latéraux non perpendiculaires aux faces inférieures et supérieures. Le diamant étant plus ou moins transparent, la découpe est en fait obtenue par l'attaque du plasma produit par l'interaction entre la lumière laser et l'air. Il en résulte des flancs non perpendiculaires et peu lisses. Cette qualité de surface n'est généralement pas problématique pour des pièces 3 ou des portions de pièces 3 qui ne sont pas destinées à entrer en contact avec d'autres pièces. Dans certains cas, ces surfaces irrégulières sont cependant indésirables soit pour des raisons esthétiques, ou parce qu'il est nécessaire de contrôler avec précision la forme de la pièce et la quantité de matière, par exemple dans le cas d'un ressort-spiral. Dans le cas d'une pièce ou d'une portion de pièce destinée à entrer en contact avec d'autres composants du mouvement, il est donc souhaitable de contrôler le profil et l'état de surface des flancs 13. Ces exigences sont particulièrement importantes si la pièce 3 est une palette d'ancre, une portion d'ancre formant palette, ou une dent d'une roue d'ancre ou d'une autre roue.

[0103] Dans un tel cas, une opération optionnelle de rectification des flancs 13, ou d'au moins une portion de ces flancs, peut être effectuée au moyen d'un laser ou d'une meule afin d'obtenir des flancs latéraux plus lisses et perpendiculaires aux plans inférieurs et supérieurs. Dans le cas d'une palette, au moins la surface active peut être meulée au moyen d'une meule recouverte de poudre de diamant polycristallin. Dans le cas d'une roue d'ancre, la portion de chaque dent destinée à être mise en contact avec la palette peut être polie ou rectifiée au moyen d'un faisceau laser.

[0104] Les surfaces de la pièce 3 ainsi obtenue ne sont de préférence pas revêtues. Il arrive cependant que les surfaces soient recouvertes de traces de carbone graphité résultant de la destruction de la structure en diamant lors des opérations de découpe ou de polissage. Afin d'éliminer ces traces, il est possible dans le cadre de l'invention de soumettre la pièce 3 à un traitement thermique, par exemple en la laissant quelques secondes ou quelques minutes dans un four entre 600° et 750 °C, de préférence entre 650 et 680 °C; cette opération permet de brûler le graphite résiduel en surface sans affecter le carbone sous forme de diamant, et d'améliorer ainsi l'état de surface de la pièce. Elle permet aussi de polir la pièce par brûlure des pointes en surface.

[0105] La pièce produite peut aussi être polie au moyen d'un faisceau d'ions («ion etching»), par exemple d'un faisceau d'ions parallèle à la surface à polir. Dans un mode de réalisation, ce polissage ionique est effectué après le polissage par traitement thermique.

[0106] La pièce produite peut aussi être polie au moyen d'ultrasons. Elle peut être nettoyée à l'essence pour améliorer l'aspect du diamant.

[0107] Dans un autre mode de réalisation, le composant horloger est formé d'une âme métallique, par exemple en acier, en laiton, etc., céramique ou silicium revêtue d'une couche DLC («Diamond Like Carbon») ou en carbone amorphe.

[0108] Les pièces en diamant ainsi polies et nettoyées, ainsi que les pièces revêtues d'une couche DLC ou en carbone amorphe, présentent un état tribologique excellent avec un coefficient de frottement très réduit. Il a cependant été découvert dans le cadre de cette invention que l'utilisation, inédite en horlogerie, de lubrifiants à base d'eau permettait de réduire encore, et de manière spectaculaire, ce coefficient de frottement.

[0109] Dans un mode de réalisation préférentiel, la pièce ainsi produite est revêtue, de préférence après son montage, d'un lubrifiant composé à plus de 50% d'un composant hygroscopique, par exemple de glycérol et d'eau.

[0110] Des tests concluants ont été effectués avec un lubrifiant composé à plus de 90% de glycérol et d'eau, et avec un lubrifiant composé exclusivement de glycérol et d'eau. Ces tests démontrent par exemple que l'amplitude des oscillations du balancier augmente grâce à la lubrification avec le glycérol.

[0111] Des adjuvants ou un épilage peuvent cependant être prévus pour limiter l'étalement du glycérol.

[0112] Le procédé peut comporter la déposition de lubrifiant hygroscopique, par exemple de glycérol et/ou d'oxyde de silicium, sur une pièce, puis l'introduction contrôlée d'humidité dans une boîte de montre afin de créer des ions OH⁻ sur cette surface hygroscopique. Le taux d'humidité dans l'air de la boîte est avantageusement supérieur à 40%, de préférence compris entre 30% et 60%, par exemple entre 40% et 50%. Ce taux d'humidité supérieur à celui que l'on cherche habituellement à obtenir dans une boîte de montre permet à la fois de garantir une lubrification suffisante grâce au lubrifiant hygroscopique, tout en évitant une condensation trop rapide si la montre est exposée au froid.

Revendications

1. Composant horloger dont au moins une partie de la surface comporte un des matériaux parmi les matériaux du groupe suivant:
diamant;
DLC, «Diamond Like Carbon»;
carbone amorphe;
oxyde de silicium;
nitrure de silicium;
carbure de silicium;
ladite partie de la surface étant lubrifiée au moyen d'un lubrifiant hygroscopique.
2. Composant horloger selon la revendication 1, caractérisé en ce que ce lubrifiant est à base d'eau.
3. Composant horloger selon l'une des revendications 1 et 2, ledit lubrifiant étant composé à plus de 50% d'un composant hygroscopique.
4. Composant horloger selon la revendication 3, ledit composant hygroscopique comportant du glycérol.
5. Composant horloger selon la revendication 4, ledit composant hygroscopique étant composé majoritairement de glycérol.
6. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 5, ledit lubrifiant étant composé à plus de 90% de glycérol.
7. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 5, ledit lubrifiant étant composé à plus de 95% de glycérol et d'eau.
8. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, réalisée intégralement en diamant monocristallin.
9. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, réalisé intégralement en diamant polycristallin.
10. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, réalisé intégralement en diamant naturel.
11. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, réalisé intégralement en diamant synthétique.

12. Composant horloger selon l'une des revendications 8 à 11, ledit diamant étant dopé.
13. Composant horloger selon la revendication 12, comportant une ou plusieurs pièces mécaniques fonctionnelles en diamant monocristallin dopées différemment les unes des autres et lubrifiées avec ledit lubrifiant.
14. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, recouvert d'un revêtement DLC ou en carbone amorphe.
15. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 7, recouvert d'un revêtement en oxyde de silicium.
16. Composant horloger selon l'une des revendications 1 à 15, constitué par une palette d'ancre d'échappement, une roue d'échappement, une roue, un pignon, un ressort de barillet, un palier ou un amortisseur.
17. Procédé pour réduire le coefficient de frottement d'un composant horloger dont au moins une partie de la surface comporte un des matériaux dans le groupe suivant:
 - diamant;
 - DLC, «Diamond Like Carbon»;
 - carbone amorphe;
 - oxyde de silicium;
 - nitrure de silicium;
 - carbure de silicium;
 - le procédé comportant les étapes suivantes:
 - polissage d'au moins une portion de ladite partie de la surface de ladite pièce;
 - lubrification de ladite partie de la surface avec un lubrifiant hygroscopique.
18. Procédé selon la revendication 17, ledit lubrifiant étant à base d'eau.
19. Procédé selon la revendication 18, ledit lubrifiant étant composé à plus de 90% d'un composant hygroscopique et d'eau.
20. Procédé selon l'une des revendications 17 à 19, ledit composant hygroscopique comportant du glycérol.
21. Procédé selon la revendication 17, ledit lubrifiant étant composé majoritairement de glycérol.
22. Procédé selon l'une des revendications 17 à 21, comportant une étape de dépôt du lubrifiant hygroscopique sur ledit composant, et une étape d'introduction volontaire d'humidité dans une boîte de montre comportant ledit composant.
23. Procédé selon la revendication 22, dans lequel ladite introduction volontaire d'humidité comprend l'introduction d'air avec un taux d'humidité compris entre 30% et 60% dans ladite boîte, de préférence compris entre 40% et 50%.
24. Procédé selon l'une des revendications 17 à 23, ladite étape de polissage étant effectuée avec un faisceau laser, un faisceau d'ions et/ou d'électropolissage.
25. Procédé selon l'une des revendications 17 à 24, comprenant une étape de traitement thermique de la surface dudit composant avant lubrification en l'exposant à une température entre 600° et 750 °C, de préférence entre 650 et 680 °C.
26. Procédé selon l'une des revendications 17 à 25, comprenant une étape de nettoyage à l'essence dudit composant avant lubrification.

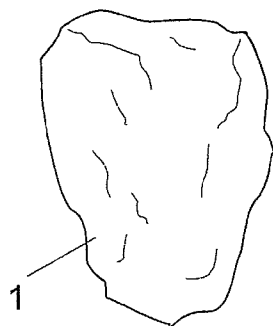


Fig. 1A

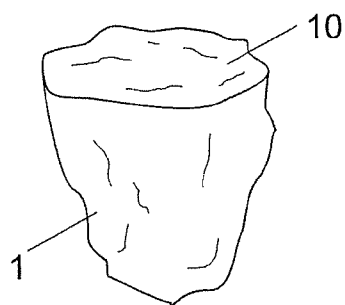


Fig. 1B

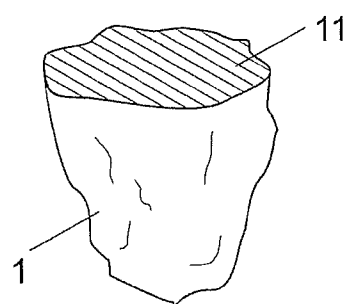


Fig. 1C

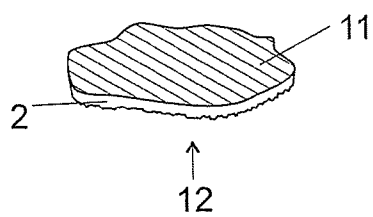


Fig. 1D

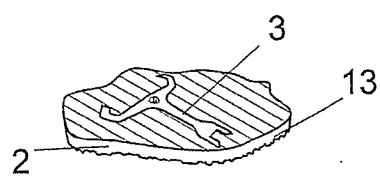


Fig. 1E