



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 718 549 A2

(51) Int. Cl.: G04B 13/02 (2006.01)  
G04B 17/32 (2006.01)  
G04D 3/00 (2006.01)  
G04B 43/00 (2006.01)

**Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein**

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

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00415/21

(71) Requérant:  
Acrotec R&D SA, Route de l'Europe 7  
2017 Boudry (CH)

(22) Date de dépôt: 20.04.2021

(72) Inventeur(s):  
Philippe Jacot, 2022 Bevaix (CH)  
Ivan Calderon, 2014 Bole (CH)

(43) Demande publiée: 31.10.2022

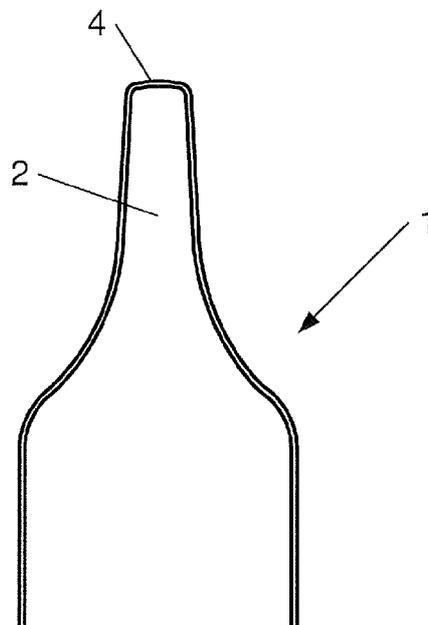
(74) Mandataire:  
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété  
intellectuelle, Rue des Noyers 11  
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Composant horloger et procédé de fabrication d'un tel composant horloger.**

(57) La présente invention concerne un composant horloger (1) comprenant au moins une partie (2) constituée de carbure de silicium, la surface externe de ladite partie (2) étant recouverte d'au moins une couche de graphène (4).

La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel composant horloger (1), ledit procédé comprenant :

- une étape de fabrication d'une pièce brute du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium ;
- une étape de réalisation d'une ébauche du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium au moins par usinage de la pièce brute obtenue à l'étape a) ;
- une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de carbure de silicium afin d'obtenir au moins une partie constituée de carbure de silicium (2) finie; et
- une étape de formation d'au moins une couche de graphène (4) sur la surface externe d'au moins la partie constituée de carbure de silicium (2) finie obtenue à l'étape c) afin d'obtenir ledit composant horloger (1).



## Description

### Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un composant horloger comprenant au moins une partie réalisée en carbure de silicium.

[0002] La présente invention concerne également un mouvement horloger et une pièce d'horlogerie comprenant un tel composant horloger.

[0003] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel composant horloger.

### Etat de la technique

[0004] De tels composants horlogers comprenant une partie réalisée en carbure de silicium ont été développés dans les dernières années. Notamment, le carbure de silicium a été proposé pour réaliser des axes de pivotement horlogers, et plus particulièrement des axes de balancier, en raison de ses propriétés amagnétiques, pour remplacer les axes de pivotements traditionnels, réalisés en acier.

[0005] La fabrication d'un axe de pivotement horloger traditionnel en acier consiste, à partir d'une barre en acier trempable, à réaliser des opérations de décolletage de précision pour définir différentes surfaces actives (portée, épaulement, pivots etc.) puis à soumettre l'axe décolleté à des opérations de traitement thermique comprenant au moins une trempe pour améliorer la dureté de l'axe et un ou plusieurs revenus pour en améliorer la ténacité. Les opérations de traitements thermiques sont suivies d'une opération de roulage des pivots des axes, opération qui consiste à polir les pivots pour les amener aux dimensions requises. Au cours de cette opération de roulage, la dureté ainsi que la rugosité des pivots sont encore améliorées via un écrouissage de surface. On obtient ainsi, en fin de processus, un axe présentant des pivots aux dimensions, dureté et rugosité requises. Il est à noter que le roulage peut difficilement être mis en oeuvre avec des matériaux dont la dureté est supérieure à 600 HV.

[0006] Les axes de pivotement horlogers, et notamment les axes de précision tels que les axes de balancier, utilisés classiquement dans les mouvements d'horlogerie mécaniques, sont réalisés dans des nuances d'aciers de décolletage qui sont généralement des aciers martensitiques au carbone incluant du plomb et des sulfures de manganèse pour améliorer leur usinabilité. Un acier de ce type connu, désigné 20 AP, est typiquement utilisé pour ces applications. Des alternatives sans plomb comme la nuance Finemac sont aussi utilisées.

[0007] Ce type de matériau a l'avantage d'être facilement usinable, en particulier d'être apte au décolletage et présente, après des traitements de trempe et de revenu adéquats, des propriétés mécaniques élevées très intéressantes pour la réalisation d'axes de pivotement horlogers. Ces aciers présentent en particulier une résistance à l'usure et une dureté après traitement thermique élevées. Typiquement la dureté des pivots d'un axe réalisé en acier 20 AP peut atteindre une dureté de surface dépassant les 700 HV après traitement thermique et roulage.

[0008] Bien que fournissant des propriétés mécaniques satisfaisantes pour les applications horlogères décrites ci-dessus, ce type de matériau présente l'inconvénient d'être magnétique et de pouvoir perturber la marche d'une montre après avoir été soumis à un champ magnétique, et ce notamment lorsque ce matériau est utilisé pour la réalisation d'un axe de balancier coopérant avec un balancier spiral en matériau ferromagnétique. On notera également que ces aciers martensitiques sont également sensibles à la corrosion.

[0009] Pour tenter de remédier à ces inconvénients, une solution a été proposée, consistant à utiliser des aciers inoxydables austénitiques qui présentent la particularité d'être amagnétiques, c'est-à-dire du type paramagnétique, diamagnétique ou antiferromagnétique, dont la perméabilité magnétique relative est inférieure ou égale à 1.01.

[0010] Toutefois, ces aciers austénitiques présentent une structure cristallographique ne permettant pas de les tremper et d'atteindre des duretés et donc des résistances à l'usure compatibles avec les exigences requises pour la réalisation d'axes de pivotement horlogers. Un moyen d'augmenter la dureté de ces aciers est l'écrouissage, toutefois cette opération de durcissement ne permet pas d'obtenir des duretés supérieures à 500 HV pour ce type de matériau. Par conséquent, dans le cadre de pièces nécessitant une grande résistance à l'usure par frottement et devant avoir des pivots ne présentant pas ou peu de risques de casse ou de déformation, l'utilisation de ce type d'aciers reste limitée.

[0011] Une autre solution proposée a consisté à déposer sur les axes de pivotement des couches dures de matériaux tels que le carbone amorphe connu sous la dénomination anglaise «diamond like carbone (DLC). Or, on a constaté des risques importants de délamination de la couche dure et donc la formation de débris qui peuvent circuler à l'intérieur du mouvement horloger et venir perturber le fonctionnement de ce dernier, ce qui n'est pas satisfaisant.

[0012] Une autre approche a été envisagée pour remédier aux inconvénients des aciers inoxydables austénitiques, à savoir le durcissement superficiel de ces axes de pivotement par nitruration, carburation ou nitrocarburation. Toutefois ces traitements sont connus pour entraîner une perte importante de la résistance à la corrosion en raison de la réaction de l'azote et/ou du carbone avec le chrome de l'acier et la formation de nitrure de chrome et/ou de carbure de chrome causant un appauvrissement localisé de la matrice en chrome, ce qui est préjudiciable pour l'application horlogère souhaitée.

[0013] Une opération supplémentaire de dépôt de Ni chimique semble nécessaire afin de pallier ces problèmes de corrosion, ce qui complique et renchérit fortement le processus de fabrication.

[0014] D'autres approches existent encore, comme les réalisations en alliages de titane, métal dur, certains oxydes, ou céramiques telles que le carbure de silicium comme décrit ci-dessus. Toutefois l'utilisation de ces matériaux ne permet pas d'obtenir des performances satisfaisantes propres aux composants horlogers, autres que l'amagnétisme.

[0015] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients en proposant un composant horloger, et plus particulièrement un axe de pivotement amagnétique, présentant les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de résistance à l'usure et aux chocs requises dans le domaine horloger, mais également limitant la sensibilité aux champs magnétiques.

[0016] Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de fabrication d'un tel composant horloger, notamment un axe de pivotement amagnétique, et plus particulièrement un axe de précision, permettant une réalisation extrêmement simple et économique.

#### **Divulgation de l'invention**

[0017] A cet effet, l'invention concerne un composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium.

[0018] Selon l'invention, la surface externe de ladite partie constituée de carbure de silicium est recouverte d'au moins une couche de graphène.

[0019] D'une manière particulièrement avantageuse, le composant horloger est constitué entièrement de carbure de silicium, la surface externe dudit composant horloger étant recouverte d'au moins une couche de graphène.

[0020] Avantageusement, ledit composant horloger est agencé pour former un axe de pivotement, de préférence un axe de balancier, la partie constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène de l'axe de pivotement étant agencée pour former un pivot prévu à au moins une extrémité dudit axe de pivotement.

[0021] Ainsi, la dureté de surface de ladite partie du composant horloger selon l'invention, et notamment la dureté des pivots, est celle du carbure de silicium, atteignant et même dépassant des valeurs de 2000 HV.

[0022] De plus, l'utilisation d'au moins une couche de graphène à la surface de ladite partie permet de grandement améliorer les propriétés de rigidité et la limite élastique du composant horloger selon l'invention, par rapport à un composant horloger connu.

[0023] En outre, le coefficient de frottement du graphène étant très faible, ladite partie, et notamment le pivot, peut présenter un coefficient de frottement inférieur ou égal à 0.2 sans lubrification.

[0024] De plus, le carbure de silicium est amagnétique et le graphène présente une grande résistance à la corrosion.

[0025] De ce fait, dans le cas d'un axe de pivotement, toutes les performances d'un axe de pivotement amagnétique actuel se trouvent améliorées.

[0026] La présente invention concerne également un mouvement horloger et une pièce d'horlogerie comprenant un composant horloger tel que défini ci-dessus.

[0027] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un composant horloger tel que défini ci-dessus, ledit procédé comprenant :

- a) une étape de fabrication d'une pièce brute du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium ;
- b) une étape de réalisation d'une ébauche du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium au moins par usinage de la pièce brute obtenue à l'étape a) ;
- c) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de carbure de silicium afin d'obtenir au moins une partie constituée de carbure de silicium finie; et
- d) une étape de formation d'au moins une couche de graphène sur la surface externe d'au moins la partie constituée de carbure de silicium finie obtenue à l'étape c).

[0028] Le procédé selon l'invention permet de diminuer notablement le temps de production et de réduire le nombre d'opérations nécessaires pour la fabrication d'un composant horloger, et notamment un axe de pivotement, réalisé dans un matériau amagnétique tout en présentant les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de résistance à l'usure et aux chocs requises dans le domaine horloger, par comparaison avec les composants horlogers fabriqués traditionnellement à partir de différents alliages métalliques. De façon remarquable, le procédé selon l'invention permet d'éviter les opérations de roulage.

### Brève description des dessins

[0029] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématisée d'un pivot d'un axe de pivotement selon l'invention; et
- la figure 2 est une représentation schématique des étapes d'un procédé selon l'invention.

### Modes de réalisation de l'invention

[0030] En référence à la figure 1, la présente invention concerne un composant horloger 1 comprenant au moins une partie 2 constituée de carbure de silicium, c'est-à-dire intégralement en carbure de silicium.

[0031] Selon l'invention, la surface externe de ladite partie 2 est recouverte d'au moins une couche de graphène 4. Ainsi, la partie 2 comprend un coeur de carbure de silicium et au moins une couche de graphène 4 extérieure, de préférence directement au contact du coeur de carbure de silicium.

[0032] Avantagusement, le composant horloger est constitué entièrement de carbure de silicium, toute sa surface externe étant alors entièrement recouverte d'au moins une couche de graphène. Le carbure de silicium étant amagnétique, le composant horloger selon l'invention présente alors l'avantage d'être amagnétique afin de limiter sa sensibilité aux champs magnétiques.

[0033] Un tel composant horloger est par exemple un axe de pivotement, un mobile, un ressort, notamment un ressort spiral.

[0034] Avantagusement, la partie 2 présente une surface de révolution, telle qu'une surface cylindrique ou conique.

[0035] D'une manière avantageuse, ledit composant horloger 1 est agencé pour former un axe de pivotement horloger. Dans ce cas, ladite partie 2 de l'axe de pivotement, constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène, est agencée pour former un pivot prévu à au moins une extrémité dudit axe de pivotement. Ces pivots sont destinés à venir chacun pivoter dans un palier, typiquement dans un orifice d'une pierre ou rubis.

[0036] Ladite partie 2, notamment lorsqu'elle se présente sous la forme d'un pivot, présente un diamètre extérieur inférieur ou égal à 200  $\mu\text{m}$ , de préférence inférieur ou égal à 100  $\mu\text{m}$ , préférentiellement inférieur ou égal à 90  $\mu\text{m}$ , et plus préférentiellement inférieur ou égal à 70  $\mu\text{m}$ .

[0037] De préférence, l'axe de pivotement horloger est un axe de balancier, comportant une pluralité de sections de diamètres différents, définissant classiquement des portées et des épaulements arrangés le long d'un tigeon entre deux portions d'extrémité définissant les deux pivots, une seule extrémité étant représentée ici sur la figure 1. Bien évidemment, d'autres types d'axes de pivotement horlogers sont envisageables comme par exemple des axes de mobiles horlogers, typiquement des pignons d'échappement, ou encore des tiges d'ancre. Les pièces de ce type présentent au niveau du corps des diamètres inférieurs de préférence à 2 mm, et des pivots de diamètre inférieur de préférence à 0.2 mm comme décrit ci-dessus, avec une précision de quelques microns.

[0038] De préférence, l'ensemble de l'axe de pivotement est réalisé intégralement en carbure de silicium recouvert de graphène. Toutefois, la partie 2 en carbure de silicium recouvert de graphène peut être limitée au pivot et au tigeon.

[0039] L'invention est décrite ici dans le cadre d'une application à un axe de pivotement dans lequel au moins le pivot constitue la partie 2, mais il est précisé que toute la suite de la description s'applique à tout composant horloger selon l'invention.

[0040] Le carbure de silicium est polycristallin ou monocristallin. De préférence, le carbure de silicium utilisé dans l'invention est monocristallin.

[0041] Selon les variantes, il est possible d'avoir une ou plusieurs couches de graphène 4.

[0042] D'une manière préférée, la couche de graphène 4 est une couche de graphène natif qui a été obtenue par croissance.

[0043] La couche de graphène 4 peut également être une couche de graphène déposée qui a été obtenue par un dépôt „externe“ de graphène, de préférence directement sur le carbure de silicium ou sur une autre couche de graphène déjà présente.

[0044] Les deux variantes peuvent être combinées de sorte qu'il est possible de prévoir au moins une couche de graphène natif à la surface d'au moins la partie 1, et au moins une couche de graphène déposée sur ladite couche de graphène natif.

[0045] De préférence, la couche de graphène 4 présente une épaisseur comprise entre 0.5 nm et 20 nm, de préférence entre 1 nm et 10 nm, et préférentiellement entre 1 nm et 5 nm, bornes incluses.

[0046] D'une manière particulièrement avantageuse, la partie 2, et de préférence tout le composant horloger 1, selon l'invention, présente une dureté de surface supérieure ou égale à 2000 HV, et de préférence supérieure ou égale à 2500 HV, du fait de l'utilisation de carbure de silicium. Les méthodes d'essais de dureté Vickers sont définies dans les normes suivantes ASTM C1327 et ISO 6507.

**[0047]** D'une manière particulièrement avantageuse, la partie 2, et de préférence tout le composant horloger 1, selon l'invention présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 µm, de préférence inférieure ou égale à 0.1 µm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses. La rugosité Ra est définie selon la norme ISO 4287.

**[0048]** La couche ou les couches de graphène 4 permettent d'augmenter les propriétés tribologiques du composant horloger, notamment en réduisant de façon très drastique le coefficient de frottement. Le composant horloger selon l'invention est donc une pièce lubrifiée à vie.

**[0049]** La couche ou les couches de graphène 4 permettent également d'augmenter les propriétés mécaniques du composant horloger, notamment du fait que le graphène est au minimum 100 fois plus rigide que l'acier et tolère des déformations élastiques extrêmement élevées.

**[0050]** De ce fait, d'une manière particulièrement avantageuse, la partie 2, et de préférence tout le composant horloger 1, selon l'invention présente un coefficient de frottement très faible, inférieur ou égal à 0.2, de préférence inférieur ou égal à 0.1.

**[0051]** De plus, d'une manière particulièrement avantageuse, la partie 2, et de préférence tout le composant horloger 1, selon l'invention présente une ténacité supérieure ou égale à 6 MPa.m<sup>1/2</sup> et une résistance à la traction Rm supérieure ou égale à 600 MPa.

**[0052]** D'une manière particulièrement avantageuse, la partie 2, et de préférence tout le composant horloger 1, selon l'invention présente un module de Young supérieur ou égal à 300 GPa.

**[0053]** Le module d'Young, la ténacité et la résistance à la traction sont mesurés et calculés par des essais de traction-compression connus de l'homme du métier.

**[0054]** Outre le fait d'être amagnétique, le carbure de silicium est résistant à la corrosion.

**[0055]** Ainsi, outre le fait d'être amagnétique, au moins la partie 2, et de préférence le composant horloger 1, selon l'invention présente toutes les performances satisfaisantes propres aux composants horlogers pour lesquels on recherche, en surface, une dureté supérieure à 750 HV afin de résister à l'usure, un coefficient de frottement faible pour limiter la lubrification, un état lisse (Ra < 0.5 µm) pour le frottement et l'isochronisme, une résistance à la corrosion, et pour lesquels on recherche un coeur présentant une rigidité, une ténacité et une résistance à la rupture Rm élevées (haute limite élastique).

**[0056]** L'invention se rapporte également au procédé de fabrication d'un composant horloger tel que décrit ci-dessus. Le procédé selon l'invention comporte avantageusement les étapes suivantes, décrites en relation avec la figure 2 :

- a) une étape de fabrication d'une pièce brute du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium ;
- b) une étape de réalisation d'une ébauche du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium au moins par usinage de la pièce brute obtenue à l'étape a) ;
- c) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de carbure de silicium afin d'obtenir au moins une partie constituée de carbure de silicium finie, c'est-à-dire qui présente sa configuration finale en termes de dimensions, de rugosité et de géométrie; et
- d) une étape de formation d'au moins une couche de graphène 4 sur la surface externe d'au moins la partie constituée de carbure de silicium finie obtenue à l'étape c) afin d'obtenir le composant horloger 1 selon l'invention.

**[0057]** On considère que la couche de graphène, au vu de son épaisseur, ne modifie pas les dimensions et la géométrie du composant obtenu à l'étape c), ni sa rugosité.

**[0058]** Lorsque le composant horloger est agencé pour former un axe de pivotement, ladite partie 2 constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène 4 est agencée pour former au moins un pivot prévu à au moins une extrémité dudit axe de pivotement.

**[0059]** Avantagusement, ladite partie 2 constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène 4 constitue le composant horloger dans son entier, de sorte que le composant horloger obtenu est en carbure de silicium entièrement couvert d'au moins une couche de graphène 4.

**[0060]** D'une manière avantageuse, l'étape a) est réalisée par des méthodes d'usinage par laser, par jet d'eau ou toute autre méthode d'enlèvement de matière appropriée. De préférence, la pièce brute du composant horloger 1 est constituée entièrement de carbure de silicium.

**[0061]** D'une manière avantageuse, l'usinage réalisé lors de l'étape b) pour produire les ébauches est un usinage par enlèvement de matière, en utilisant des méthodes semblables à celles de l'étape a). Ces ébauches sont produites si né-

cessaire avec les cotes nécessaires pour obtenir un composant horloger présentant au final les caractéristiques géométriques recherchées, en tenant compte de toutes les étapes du procédé.

[0062] Vient ensuite l'étape c) de reprise et finition du composant horloger par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de carbure de silicium.

[0063] Dans la présente description, on appelle usinage sans force un usinage non conventionnel selon lequel il n'y a pas d'action mécanique transmise par contact direct et effort entre un outil et la pièce, contrairement à un usinage conventionnel où il existe un contact direct entre l'outil et la pièce et dans lequel d'importantes forces de coupe sont impliquées. Un usinage sans force est donc un usinage sans contact direct entre la pièce à usiner et un outil d'usinage qui serait susceptible d'exercer un effort ou une contrainte sur ladite pièce.

[0064] D'une manière avantageuse, l'usinage de précision sans force réalisé lors de l'étape c) est un tournage par femto laser, un tournage électrochimique ECM, ou un tournage par électroérosion (par exemple EDM par fil).

[0065] Les opérations d'usinage de cette étape se font avantageusement par microusinage au laser pulsé femto seconde avec un laser de longueurs d'onde comprises par exemple entre 200 nm et 2000 nm, de préférence entre 400 nm et 1 000 nm, bornes incluses. Les paramètres du laser peuvent être par exemple : puissance moyenne entre 1 W et 100 W, énergie par pulse entre 20 µJ et 4000 µJ, fréquence entre 100 kHz et 1000 kHz, durée d'impulsion entre 100 fs et 2 ps.

[0066] Grâce à l'usinage de précision sans force par femto laser, cette opération de finition permet d'atteindre des états de surface avec une rugosité Ra de préférence inférieure ou égale à 100 nm. De préférence, au moins la partie constituée de carbure de silicium finie obtenue à l'étape c) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 µm, et de préférence inférieure ou égale à 0.1 µm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses, ce qui permet d'éviter les opérations de roulage.

[0067] Ainsi, de manière particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention ne comprend aucune étape de roulage, notamment après l'étape c) ou l'étape d) puisque la partie constituée de carbure de silicium finie obtenue à l'étape c) présente déjà les dimensions, la dureté et la rugosité requises, qui sont traditionnellement obtenues seulement après une opération de roulage.

[0068] De préférence, l'étape d) de formation d'au moins une couche de graphène est réalisée par croissance de graphène thermique natif sur la surface du composant, selon un procédé choisi parmi le groupe comprenant un chauffage sous vide, un chauffage (par exemple avec une source de lumière) sous atmosphère inerte (par exemple argon), ou par toute autre méthode appropriée. La génération de couches multiples de graphène natif peut se faire également par exemple par des procédés faisant appel à l'hydrogène.

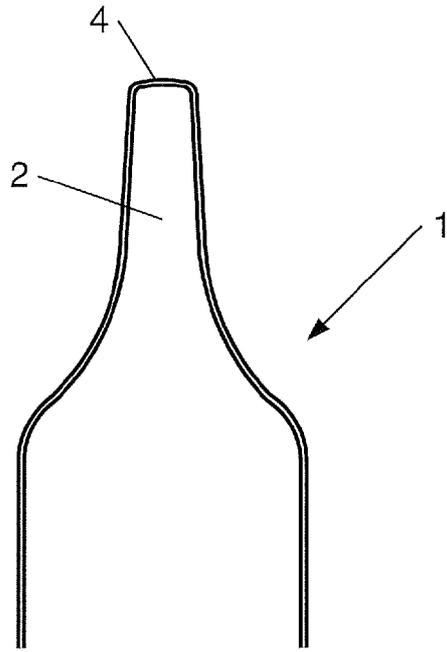
[0069] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir un composant horloger amagnétique présentant des propriétés mécaniques améliorées, notamment la rigidité, capable d'assurer une lubrification à vie, de manière simple et économique. En effet, le procédé selon l'invention permet de supprimer l'opération de roulage traditionnellement utilisée, de sorte que le nombre d'opérations nécessaires à la fabrication du composant horloger est réduit, le temps de production étant considérablement diminué.

## Revendications

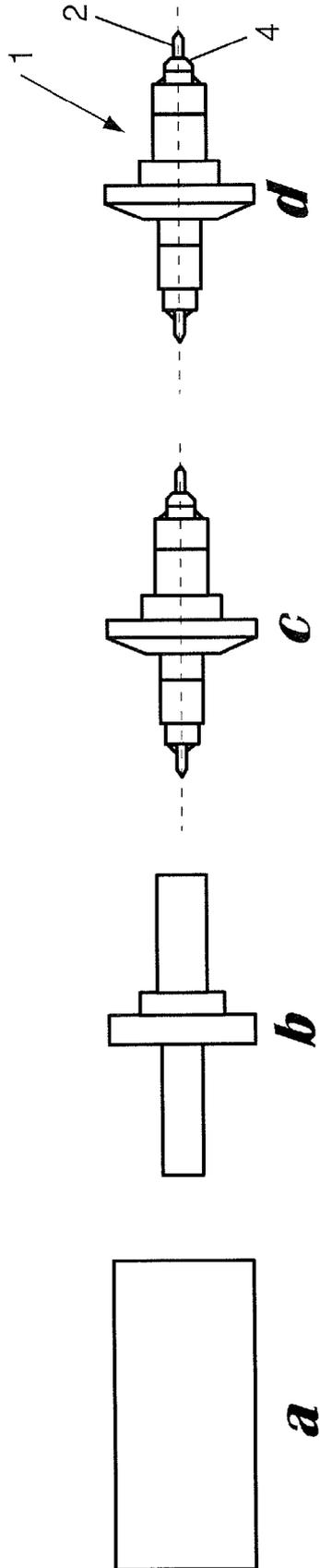
1. Composant horloger (1) comprenant au moins une partie (2) constituée de carbure de silicium, caractérisé en ce que la surface externe de ladite partie (2) est recouverte d'au moins une couche de graphène (4).
2. Composant horloger (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué entièrement de carbure de silicium, et en ce que sa surface externe est recouverte d'au moins une couche de graphène (4).
3. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le carbure de silicium est monocristallin.
4. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche de graphène (4) est une couche de graphène natif qui a été obtenue par croissance.
5. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche de graphène (4) est une couche de graphène déposée qui a été obtenue par dépôt de graphène.
6. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche de graphène (4) présente une épaisseur comprise entre 0.5 nm et 20 nm, de préférence entre 1 nm et 10 nm, et préférentiellement entre 1 nm et 5 nm.
7. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 µm, et de préférence inférieure ou égale à 0.1 µm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

## CH 718 549 A2

8. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente une dureté de surface supérieure ou égale à 2000 HV, et de préférence supérieure ou égale à 2500 HV.
9. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente un coefficient de frottement inférieur ou égal à 0.2, de préférence inférieur ou égal à 0.1.
10. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente une ténacité supérieure ou égale à 6 MPa.m<sup>1/2</sup> et une résistance à la traction Rm supérieure ou égale à 600 MPA.
11. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente un module de Young supérieur ou égal à 300 GPa.
12. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie (2) présente un diamètre extérieur inférieur à 200 µm, de préférence inférieur à 100 µm, préférentiellement inférieur à 90 µm, et plus préférentiellement inférieur à 70 µm.
13. Composant horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour former un axe de pivotement, de préférence un axe de balancier.
14. Composant horloger (1) selon la revendication 13, caractérisé en ce que ladite partie (2) constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène (4) de l'axe de pivotement est agencée pour former un pivot prévu à au moins une extrémité dudit axe de pivotement.
15. Mouvement horloger comprenant un composant horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 14.
16. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger selon la revendication 15 ou un composant horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 14.
17. Procédé de fabrication d'un composant horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 14, comprenant:
  - a) une étape de fabrication d'une pièce brute du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium ;
  - b) une étape de réalisation d'une ébauche du composant horloger comprenant au moins une partie constituée de carbure de silicium au moins par usinage de la pièce brute obtenue à l'étape a) ;
  - c) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de carbure de silicium afin d'obtenir au moins une partie constituée de carbure de silicium (2) finie; et
  - d) une étape de formation d'au moins une couche de graphène sur la surface externe d'au moins la partie constituée de carbure de silicium (2) finie obtenue à l'étape c).
18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'étape a) est réalisée par usinage par enlèvement de matière.
19. Procédé selon l'une des revendications 17 à 18, caractérisé en ce que l'usinage réalisé lors de l'étape b) est un usinage par enlèvement de matière.
20. Procédé selon l'une des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que l'usinage de précision sans force réalisé lors de l'étape c) est un tournage par femto laser, un tournage électrochimique, ou un tournage par électroérosion.
21. Procédé selon l'une des revendications 17 à 20, caractérisé en ce qu'au moins la partie constituée de carbure de silicium (2) finie obtenue à l'étape c) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 µm, et de préférence inférieure ou égale à 0.1 µm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.
22. Procédé selon l'une des revendications 17 à 21, caractérisé en ce qu'il ne comprend aucune étape de roulage après l'étape c) ou l'étape d).
23. Procédé selon l'une des revendications 17 à 22, caractérisé en ce que l'étape d) de formation d'au moins une couche de graphène (4) est réalisée par croissance de graphène natif, selon un procédé choisi parmi le groupe comprenant un chauffage sous vide et un chauffage sous atmosphère inerte.
24. Procédé selon l'une des revendications 17 à 23, caractérisé en ce que la couche de graphène (4) présente une épaisseur comprise entre 0.5 nm et 20 nm, de préférence entre 1 nm et 10 nm, et préférentiellement entre 1 nm et 5 nm.
25. Procédé selon l'une des revendications 17 à 24, caractérisé en ce que le composant horloger est agencé pour former un axe de pivotement, ladite partie (2) constituée de carbure de silicium recouverte d'au moins une couche de graphène (4) de l'axe de pivotement étant agencée pour former au moins un pivot prévu à au moins une extrémité dudit axe de pivotement.



***Fig. 1***



**Fig. 2**