

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
09 novembre 2017 (09.11.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/191408 A1

(51) Classification internationale des brevets :

G01C 19/64 (2006.01) *G04F 5/14* (2006.01)
B01J 3/03 (2006.01) *B01J 3/00* (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01) *C23C 8/10* (2006.01)
G01V 7/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2017/051049

(22) Date de dépôt international :

02 mai 2017 (02.05.2017)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1654064 04 mai 2016 (04.05.2016) FR

(71) **Déposants :** INSTITUT D'OPTIQUE [FR/—] ; 2 avenue Augustin Fresnel RD128, 91127 PALAISEAU Cedex (FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR] ; 3 rue Michel-Ange, 75794 PARIS Cedex 16 (FR). UNIVERSITE DE BORDEAUX [FR/FR] ; 35 place Pey Berland, 33000 BORDEAUX (FR). UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE [FR/FR] ; 4 place Jussieu, 75252 PARIS CEDEX 05 (FR). OBSERVATOIRE DE PARIS [FR/FR] ; 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 PARIS (FR).

(72) **Inventeurs :** CANUEL, Benjamin ; Résidence Parc de Suzon, Bat A, Appt 7, 159 rue de Suzon, 33400 TALENCE (FR). LANDRAGIN, Arnaud ; 29A rue Aristide Briand, ORSAY 91400 (FR).

(54) Title: PUMPED-DOWN OPTICAL APPARATUS AND METHOD FOR OBTAINING A PUMPED-DOWN OPTICAL APPARATUS

(54) Titre : INSTALLATION OPTIQUE SOUS VIDE ET PROCEDE D'OBTENTION D'UNE INSTALLATION OPTIQUE SOUS VIDE

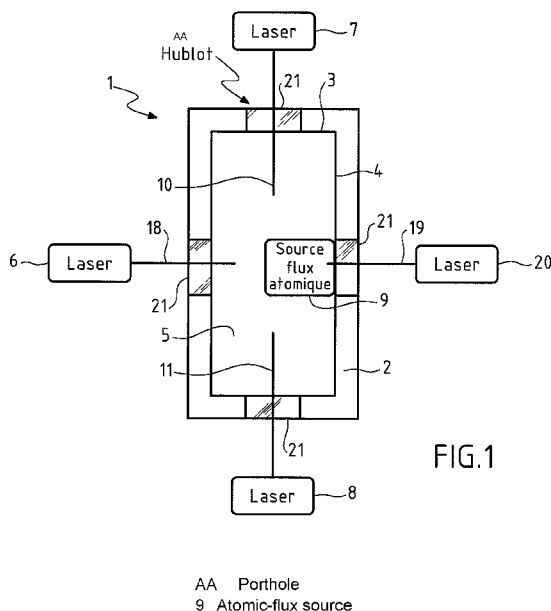


FIG.1

(57) **Abstract:** The invention relates to a pumped-down optical apparatus (1) including a vacuum chamber (2), the vacuum chamber including walls bounding a sealably closed interior space (5), wherein an internal surface of the walls (3, 4) includes a layer of oxidized metal alloy, the metal alloy including at least one metal chosen from the list consisting of: titanium, copper, steel and aluminium, the pumped-down optical apparatus furthermore including a porthole able to transmit a laser beam (10, 11) emitted by an optical source (7, 8) at a wavelength of the optical source, the oxidized metal alloy being able to absorb the wavelength of the optical source (7, 8) so that the total reflectivity of the internal surface of the wall (3, 4) is lower than 0.5 for the wavelength of the optical source. The invention also relates to a method for obtaining the pumped-down optical apparatus.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne une installation optique sous vide (1) comportant une enceinte à vide (2), l'enceinte à vide comportant des parois délimitant un espace intérieur (5) fermé de manière étanche dans laquelle une surface interne des parois (3, 4) comporte une couche d'alliage métallique oxydé, l'alliage métallique comportant au moins un métal choisi parmi la liste consistant en : titane, cuivre, acier et aluminium, l'installation optique sous vide comportant en outre un hublot apte à transmettre un faisceau laser (10, 11) émis par une source optique (7, 8) à une longueur d'onde de la source optique, l'alliage métallique oxydé étant apte à absorber la longueur d'onde de la source optique (7, 8) afin que la réflectivité totale de la surface interne de la paroi (3, 4) soit inférieure à 0.5 pour la

(74) **Mandataire : ABELLO, Michel** ; 9 RUE ANATOLE DE LA FORGE, 75017 PARIS (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

INSTALLATION OPTIQUE SOUS VIDE ET PROCEDE D'OBTENTION D'UNE INSTALLATION OPTIQUE SOUS VIDE

Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des installations optiques sous vide
5 comportant des lasers, par exemple pour le refroidissement d'atomes ou l'interférométrie atomique.

Arrière-plan technologique

Des appareils de mesure de précisions, notamment basées sur
10 l'interférométrie atomique ou la métrologie optique de précision, nécessitent une mise sous vide des enceintes utilisées dans ces appareils afin d'isoler les mesures des perturbations extérieures. Des problèmes de lumière parasite réfléchie par les parois intérieures des enceintes à vide ainsi utilisées peuvent impacter la sensibilité et l'exactitude des mesures. Cependant, amoindrir les problèmes de lumière
15 parasite est délicat car il faut assurer la bonne tenue au vide des éléments utilisés pour cet amoindrissement. Il est notamment connu des peintures absorbantes à disposer sur les parois de l'enceinte à vide pour réduire la réflectivité de la lumière parasite. Ces peintures ne donnent pas satisfaction quant à leur tenue au vide pour les utilisations en ultra vide, à environ 10^{-9} mbar. Par ailleurs, les peintures
20 absorbantes compatibles au vide telles que des peintures au graphite sont peu compatibles avec la réalisation de systèmes optiques, du fait de leur caractère pulvérulent. Il est également connu d'utiliser des baffles absorbantes compatibles avec l'ultravide à disposer dans l'enceinte à vide, mais l'utilisation de ces baffles est complexe car elle nécessite de modéliser précisément la lumière parasite dans
25 l'enceinte. De tels baffles peuvent par exemple être réalisés en verre absorbant.

Résumé

Une idée à la base de l'invention est de fournir une installation optique sous vide dont l'enceinte à vide est de fabrication simple, présente une réflectivité de la lumière parasite amoindrie et est compatible avec l'ultravide. Notamment,
30 l'installation optique sous vide selon l'invention ne nécessite pas de modélisation complexe de la propagation de la lumière parasite à l'intérieur de l'enceinte à vide.

Certains aspects de l'invention viennent du constat qu'un alliage métallique oxydé présente une réflectivité amoindrie.

Selon un mode de réalisation, l'invention fournit une installation optique sous vide comportant une enceinte à vide, l'enceinte à vide comportant des parois
5 délimitant un espace intérieur fermé de manière étanche dans laquelle une surface interne des parois comporte une couche d'alliage métallique oxydé, l'alliage métallique comportant au moins un métal choisi parmi la liste consistant en : titane, cuivre, acier et aluminium, l'installation optique sous vide comportant en outre un hublot apte à transmettre dans l'enceinte à vide un faisceau laser émis par une
10 source optique à une longueur d'onde de la source optique, l'alliage métallique oxydé étant apte à absorber la longueur d'onde de la source optique afin que la réflectivité totale de la surface interne de la paroi soit inférieure à 0.5 pour la longueur d'onde de la source optique

Grâce à ces caractéristiques, des photons parasites d'une source optique
15 de la longueur d'onde utile pour l'interrogation des atomes sont absorbés par la surface interne de l'enceinte et ne nuisent pas à des mesures d'interférométrie atomique.

Préférentiellement, la réflectivité totale de la surface interne de la paroi est inférieure à 0.15. La réflectivité totale est la somme de la réflectivité spéculaire et de
20 la réflectivité diffuse, c'est-à-dire le ratio entre l'intensité lumineuse réfléchie par la paroi et l'intensité lumineuse incidente sur la paroi.

Selon des modes de réalisation, une telle installation optique sous vide peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

Selon un mode de réalisation, la longueur d'onde de la source optique
25 correspond à une raie d'absorption du Césium ou du Rubidium.

Selon un mode de réalisation, la longueur d'onde de la source optique est sélectionnée dans la liste consistant en 780nm et 852nm.

Dans un mode de réalisation préférentiel, la longueur d'onde de la source optique est 780nm.

30 Selon un mode de réalisation, l'enceinte est en outre monobloc.

Selon un mode de réalisation, les dimensions de l'enceinte sont en outre environ de 50 cm de large et de quelques centimètres d'épaisseur.

Selon un mode de réalisation, l'enceinte est en outre de forme sensiblement cubique.

Selon un mode de réalisation, les parois sont entièrement constituées de l'alliage métallique.

- 5 Alternativement, les parois sont fabriquées dans un autre matériau et revêtues d'une couche de l'alliage métallique sur les parois intérieures.

Selon un mode de réalisation, l'alliage métallique est le Ti6Al4V.

- Selon un mode de réalisation, l'installation optique sous vide comporte en outre une source d'émission d'atomes de césium ou de rubidium disposée dans
10 l'espace interne.

Selon un mode de réalisation, l'oxydation de l'alliage métallique est produite par traitement thermique à une température comprise entre 300°C et 700°C, préférentiellement à une température voisine de 400°C.

- Certains aspects de l'invention viennent du constat qu'un alliage métallique
15 placé à haute température sous air s'oxyde.

- L'invention fournit en outre une utilisation de l'installation optique telle que décrite ci-dessus, pour réaliser un appareil de mesure sélectionné dans la liste consistant en une horloge atomique à atomes refroidis, un capteur inertiel à atomes refroidis et un gravimètre à atomes refroidis, et un dispositif de métrologie optique
20 de précision.

L'invention fournit en outre un procédé de fabrication d'une enceinte à vide, comportant les étapes:

- fournir un élément de paroi d'enceinte à vide ou une enceinte à vide comportant un alliage métallique oxydable sur au moins une surface
25 intérieure, l'alliage métallique comportant au moins un métal choisi parmi la liste consistant en : titane, cuivre, acier et aluminium,
- placer l'élément de paroi d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide dans un four apte à imposer une température d'oxydation comprise dans l'intervalle de température de 300°C à 700°C, préférentiellement une température voisine
30 de 400°C,
- maintenir la température d'oxydation de sorte à oxyder une surface intérieure de l'élément de paroi d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide

pendant une durée suffisante pour que la réflectivité totale de ladite surface intérieure chute à une valeur inférieure à 0.5 à une longueur d'onde optique prédéterminée.

Selon des modes de réalisation, un tel procédé peut comporter une ou
5 plusieurs des caractéristiques suivantes.

Dans un mode de réalisation, le procédé comporte en outre l'étape de mesurer la réflectivité totale du métal oxydé à l'aide d'une sphère intégrante.

Selon un mode de réalisation avantageux, le procédé comporte une étape de prétraitement consistant à, préalablement à l'étape de placer l'élément de paroi
10 d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide dans le four, nettoyer ladite surface intérieure.

Grâce à ces caractéristiques, l'oxydation est homogène et donc la réflectivité totale sur la paroi intérieure traitée est également homogène.

Selon un mode de réalisation, nettoyer ladite surface intérieure comprend placer ladite surface intérieure dans un bain d'agent chimique.

15 Selon un mode de réalisation, nettoyer ladite surface intérieure comprend en outre rincer à l'aide d'un second agent chimique ladite surface intérieure après l'avoir retirée du bain d'agent chimique, qui est un premier agent chimique.

Selon un mode de réalisation, le premier agent chimique est un agent tensio-actif dénommé DECON dilué dans de l'eau distillée. Préférentiellement, le
20 premier agent chimique est dilué à 3% dans l'eau distillée.

Selon un mode de réalisation, le second agent chimique est de l'acétone. Préférentiellement, le second agent chimique est de l'acétone pure.

Selon un mode de réalisation, ladite surface intérieure est maintenue dans le bain d'agent chimique pendant une durée sélectionnée dans la plage de 12h à
25 72h. Préférentiellement, ladite surface intérieure est maintenue dans le bain d'agent chimique pendant une durée de deux jours.

Selon un mode de réalisation, l'étape de rincer à l'aide d'un second agent chimique ladite surface intérieure est effectuée pendant une durée sélectionnée dans la plage de 30 minutes à 6h. Préférentiellement, la durée est de 2h.

Selon un mode de réalisation, nettoyer ladite surface intérieure comprend placer ladite surface intérieure dans un bain à ultrasons pendant une durée de bain d'ultrasons. Cette étape peut être effectuée une ou plusieurs fois avant et/ou après le bain d'agent chimique et/ou le rinçage de second agent chimique.

5 Préférentiellement, la durée de bain d'ultrasons est de quelques minutes.

Grâce à ces caractéristiques, la réflectivité globale d'une enceinte à vide peut être abaissée très fortement de façon homogène.

Brève description des figures

L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques
10 et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.

- La Figure 1 est un schéma d'une installation optique sous vide selon un mode de réalisation de l'invention.
- 15 • La Figure 2 est un schéma d'un procédé d'obtention d'un élément d'enceinte à vide selon un mode de réalisation de l'invention.
- La Figure 3 est un graphique de mesure de la réflectivité moyenne d'un disque en alliage de titane soumis à une température constante de 400°C en fonction du temps.

20

Description détaillée de modes de réalisation

En référence à la figure 1, une installation optique 1 selon l'invention est représentée. L'installation optique 1 comporte une enceinte 2 sous vide ayant des parois réalisées en alliage de titane. Les parois définissent un espace intérieur 5
25 fermé de manière étanche. La surface interne des parois 3, 4 est traitée. Le traitement de la surface interne des parois 3, 4 est un traitement absorbant, encore appelé anti-réfléchissant.

Différentes sources laser 6, 7, 8, et 20 sont disposées à l'extérieur de l'installation optique 1 et émettent des faisceaux lasers 18, 10, 11, et 19.

30 Les faisceaux lasers 18, 10, 11, et 19 sont transmis à l'intérieur de l'enceinte à l'aide de plusieurs hublots 21 transparents et étanches. Les faisceaux

lasers 18, 10, 11 et 19 sont mis en forme sous vide avec différents systèmes optiques (non représentés). Une source d'atomes de Rubidium 9 est également disposée dans l'espace intérieur 5. La longueur d'onde de 780 nm des faisceaux lasers 18, 10, 11, et 19 est choisie afin d'être résonnante avec la transition D2 du

5 Rubidium.

Le faisceau laser 19 sert au refroidissement des atomes de Rubidium. Les faisceaux laser 10 et 11 servent à l'interrogation des atomes de Rubidium. Le faisceau laser 18 sert à la détection des atomes de Rubidium.

La phase d'interrogation consiste en la construction d'un interféromètre

10 atomique en provoquant des transitions Raman dans les atomes de Rubidium avec les faisceaux laser 10 et 11.

La détection consiste en une mesure de fluorescence des atomes induite par le faisceau laser 18. La fluorescence est détectée par une ou plusieurs photodiodes placées en dehors de l'enceinte.

15 Le traitement de la surface interne des parois 3, 4 permet que les longueurs d'onde à 780nm soient absorbées à 87% par les surfaces internes des parois 3, 4. De la lumière parasite réfléchie par la surface interne des parois 3, 4 viendrait perturber les mesures en l'absence du traitement. La lumière parasite peut être issue de différentes provenances.

20 Notamment, la lumière parasite peut provenir des imperfections des sources laser 6, 7, 8 et 20 et des systèmes optiques sous vide (non représentés) et impacter les performances de l'installation optique 1.

Ce traitement est donc particulièrement avantageux pour augmenter la sensibilité des mesures

25 Le traitement selon l'invention est particulièrement simple à mettre en œuvre, économique et compatible au vide. Il permet de diminuer la réflectivité de la surface interne des parois 3, 4 de l'enceinte 2 ou de n'importe quel sous-ensemble mécanique de l'enceinte à vide 2 réalisé en alliage de titane à la longueur d'onde de 780nm des faisceaux lasers 10, 11, 18 et 19.

30 Un tel sous-ensemble mécanique peut être par exemple un support optique, un support de fixation d'un laser, des baffles ou toute autre pièce réalisée en alliage de titane (non représentées).

Ce traitement permet notamment d'absorber efficacement les photons parasites finissant sur les surfaces internes 3, 4 des parois de l'enceinte 2, et sur les éventuelles surfaces traitées de sous-ensembles mécaniques disposés dans l'espace intérieur 5 de l'enceinte à vide 2, tels par exemple les systèmes optiques 5 sous vide (non représentés), et ainsi de diminuer d'une manière globale les problèmes de lumière parasite dans l'installation optique 1.

Le traitement selon l'invention consiste principalement en une oxydation des surfaces des parois 3, 4 de l'enceinte à vide 2. Il peut également comprendre l'oxydation de tout sous-ensemble mécanique de l'enceinte à vide 2.

10 Cette oxydation peut être avantageusement réalisée par un traitement thermique sous air, comme décrit ultérieurement.

L'installation optique 1 selon l'invention est particulièrement avantageuse lorsqu'elle est utilisée pour réaliser un capteur à interférométrie atomique.

D'autres éléments peuvent être disposés dans l'enceinte 2.

15 Des photodiodes (non représentées) sont situées hors de l'enceinte et mesurent le flux lumineux provenant de l'enceinte. L'invention permet de réduire le flux lumineux parasite incident sur ces photodiodes.

Par exemple, l'invention convient notamment à la réalisation d'un capteur inertielle à atome lent. Dans un tel capteur, les faisceaux lasers 10 et 11 des lasers 7 et 8 sont contrapropageants et dirigés vers le flux d'atomes émis par la source de flux atomique 9. Le faisceau laser 19 est divisé en trois paires de faisceaux contrapropageants permettant le refroidissement des atomes.

L'invention permet alors de supprimer la lumière parasite émise lors du processus de refroidissement qui peut perturber le procédé de mesure.

25 Un autre capteur inertielle à atomes lents dans lequel l'utilisation de l'invention peut être particulièrement avantageuse pour améliorer la sensibilité des mesures est décrit dans FR2928725. Dans ce capteur inertielle, l'enceinte à vide 2 comporte un seul laser 7 émettant un faisceau laser 10 et un système optique sous vide constitué d'un réflecteur. Le faisceau laser 10 est émis dans la direction du
30 réflecteur de sorte à produire des réflexions multiples qui assurent à la fois le refroidissement des atomes, les mesures interférométriques par transition Raman et la détection de l'état atomique. L'invention permet alors de supprimer la lumière

parasite émise dans ces différentes phases, qui est due majoritairement à la lumière parasite émise par le réflecteur.

L'invention peut également être particulièrement avantageuse pour améliorer la sensibilité d'un capteur interférométrique à atomes froids tel que décrit dans FR2826446. Dans un tel capteur, les faisceaux lasers 10, 11 des lasers 7, 8 provoquent des interactions successives avec des atomes lents émis par la source de flux atomique afin de provoquer des transitions Raman. Les interactions provoquent une séparation spatiale des atomes lents selon deux trajectoires. Une rotation du capteur interférométrique provoque un déphasage entre les deux trajectoires et le signal d'interférence est observé par une mesure du nombre d'atomes dans un état interne particulier, par exemple à l'aide d'un laser accordé à la résonance et provoquant la formation d'une image de fluorescence atomique sur une photodiode. L'invention permet alors de supprimer la lumière parasite des faisceaux lasers 10, 11 et 18 qui peut perturber les mesures de fluorescence sur la photodiode.

L'enceinte sous vide 1 est obtenue par un procédé de fabrication décrit en référence à la figure 2.

Un tel procédé comporte une première étape 12 qui consiste à fournir un élément d'enceinte à vide ou une enceinte à vide monobloc ayant des propriétés décrites ci-dessous.

Dans certains cas, l'enceinte à vide 2 n'est pas monobloc mais constituée d'éléments d'enceinte à assembler. Par exemple, l'enceinte à vide 2 comporte des parois de l'enceinte à vide 2 à assembler les unes aux autres et/ou des sous-ensembles mécaniques additionnels à assembler, notamment des éléments de fixation des systèmes optiques sous vide (non représentés) et de la source de flux atomique.

Qu'elle soit monobloc ou non, l'enceinte à vide 2 présente des parois qui définissent l'espace intérieur 5.

Tous les éléments à assembler présentant des surfaces de parois qui sont destinées à être disposées à l'intérieur de l'espace intérieur 5, notamment les surfaces intérieures 3 et 4 des parois de l'enceinte à vide 2, peuvent bénéficier d'un traitement absorbant procuré par deux étapes 13 et 14 qui seront décrites ultérieurement. Ce traitement absorbant vise à diminuer la réflectivité des surfaces

de parois qui sont destinées à être disposées à l'intérieur de l'espace intérieur 5 des éléments à assembler, pour les longueurs d'onde à 780 nm. En d'autres termes, le traitement vise à ce que les surfaces précitées absorbent davantage la lumière parasite à la longueur d'onde de 780 nm.

- 5 Pour bénéficier d'un tel traitement, les surfaces précitées doivent être constituées d'un alliage métallique oxydable. Les parois et les éventuels éléments peuvent également être intégralement constitués de cet alliage métallique.

Notamment, l'alliage de titane présente les propriétés lui permettant d'absorber, lorsqu'il est oxydé, les photons parasites à 780nm. L'alliage de titane est
10 donc compatible pour la fabrication de l'enceinte à vide 2 d'une installation optique 1 comportant une source de flux atomique 9 de Rubidium, qui nécessite que les lasers 6, 7, 8 et 20 émettent des faisceaux lasers 18, 10, 11 et 19 à 780 nm.

Afin que le traitement soit homogène, les surfaces précitées doivent en outre être débarrassées d'éventuelles impuretés.

- 15 Notamment, elles peuvent avoir subi un prétraitement. Le prétraitement consiste à placer les pièces à traiter dans un bain de DECON pendant 2 jours puis à les rincer quelques heures à l'acétone. Avant le bain de DECON et avant de rincer à l'acétone, les récipients contenant l'agent chimique et les échantillons sont placés quelques minutes dans un bain à ultrasons.

- 20 Lors d'une seconde étape 13 du procédé, l'élément d'enceinte à vide 2 ou l'enceinte à vide 2 entière est placée dans un four. Le four est un four pouvant atteindre et maintenir constante une température d'oxydation comprise entre 200°C et 600°C, préférentiellement 400°C. Le four n'est pas sous vide, mais sous air. Par exemple, le four peut être un four de laboratoire.

- 25 Une troisième étape 14 du procédé consiste à imposer et à maintenir la température d'oxydation de sorte à oxyder sous air au moins les surfaces de parois 3, 4 constituées de l'alliage métallique de l'élément d'enceinte à vide ou de l'enceinte à vide 2 pendant une certaine durée.

- Une quatrième étape 15 du procédé consiste à mesurer la réflectivité totale
30 des surfaces de parois 3, 4 constituées de l'alliage métallique à l'aide d'une sphère intégrante. En effet, le traitement subi par les surfaces de parois 3, 4 constituées de l'alliage métallique par les étapes 13 et 14 du procédé ont conduit à une oxydation

des surfaces de parois 3, 4. Cette oxydation a pour conséquence de diminuer la réflectivité de l'alliage métallique, donc des surfaces de parois 3,4.

En effet , il a été constaté que la réflectivité de l'alliage métallique chutait lorsque son oxydation augmentait.

- 5 Il a été également constaté que l'oxydation de l'alliage métallique augmentait lorsque la durée de traitement thermique augmentait.

Pour déterminer la durée de traitement thermique nécessaire pour obtenir une réflectivité de l'alliage métallique inférieure à un seuil, des mesures de réflectivité peuvent être réalisées successivement au cours de la durée pendant
10 laquelle l'élément d'enceinte à vide 2 subit le traitement thermique. Si la réflectivité n'a pas atteint le seuil choisi, il convient alors de réitérer les étapes 13, 14 et 15 jusqu'à ce que la valeur de réflectivité ait atteint le seuil.

La figure 3 est un graphique de mesure de la réflectivité moyenne à la longueur d'onde de 780 nm d'un disque en alliage de titane soumis à une
15 température constante de 400°C en fonction du temps. Le disque utilisé est un disque de Ti-6Al-4V de 30 mm de diamètre sur 4 mm d'épaisseur. La réflectivité du disque est mesurée dans une sphère intégrante. Cette réflectivité est décroissante en fonction du temps. La réflectivité du disque de Ti-6Al-4V avant oxydation présente des valeurs comprises entre 70% et 80%. La réflectivité totale présente
20 une valeur de 35 % après une durée de plus d'une journée, comme relevé sur le point de mesure 16. La réflectivité totale chute à 13 % après quatre jours de traitement thermique, comme indiqué par le point de mesure 17.

Ainsi, une durée de traitement thermique de 4 jours à 400°C est suffisante pour faire chuter à 13% la réflectivité d'un élément d'enceinte à vide 2 dont au
25 moins la surface de paroi 3, 4 est réalisée en Ti-6Al-4V.

Le procédé d'obtention d'une installation optique et l'installation optique obtenue décrit ci-dessus peuvent être également envisagés pour d'autres longueurs d'onde que 780 nm en modulant la température et la durée du traitement.

Le procédé d'obtention d'une installation optique et l'installation optique
30 obtenue décrit ci-dessus peuvent être également envisagés pour d'autres sources de flux atomique que la source de flux atomique 9 de Rubidium. Par exemple, pour des sources de flux atomique de Césium.

Le procédé d'obtention d'une installation optique et l'installation optique obtenue décrit ci-dessus peuvent être également envisagés pour d'autres matériaux que l'alliage de titane, par exemple pour des matériaux amagnétiques pouvant être également envisagés pour la réalisation d'enceintes à vide ou de sous-ensembles
5 mécaniques d'enceinte à vides, comme l'acier 316, différents alliages d'Aluminium ou de Cuivre.

Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec plusieurs modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs
10 combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

L'usage du verbe « comporter », « comprendre » ou « inclure » et de ses formes conjuguées n'exclut pas la présence d'autres éléments ou d'autres étapes que ceux énoncés dans une revendication. L'usage de l'article indéfini « un » ou « une » pour un élément ou une étape n'exclut pas, sauf mention contraire, la
15 présence d'une pluralité de tels éléments ou étapes.

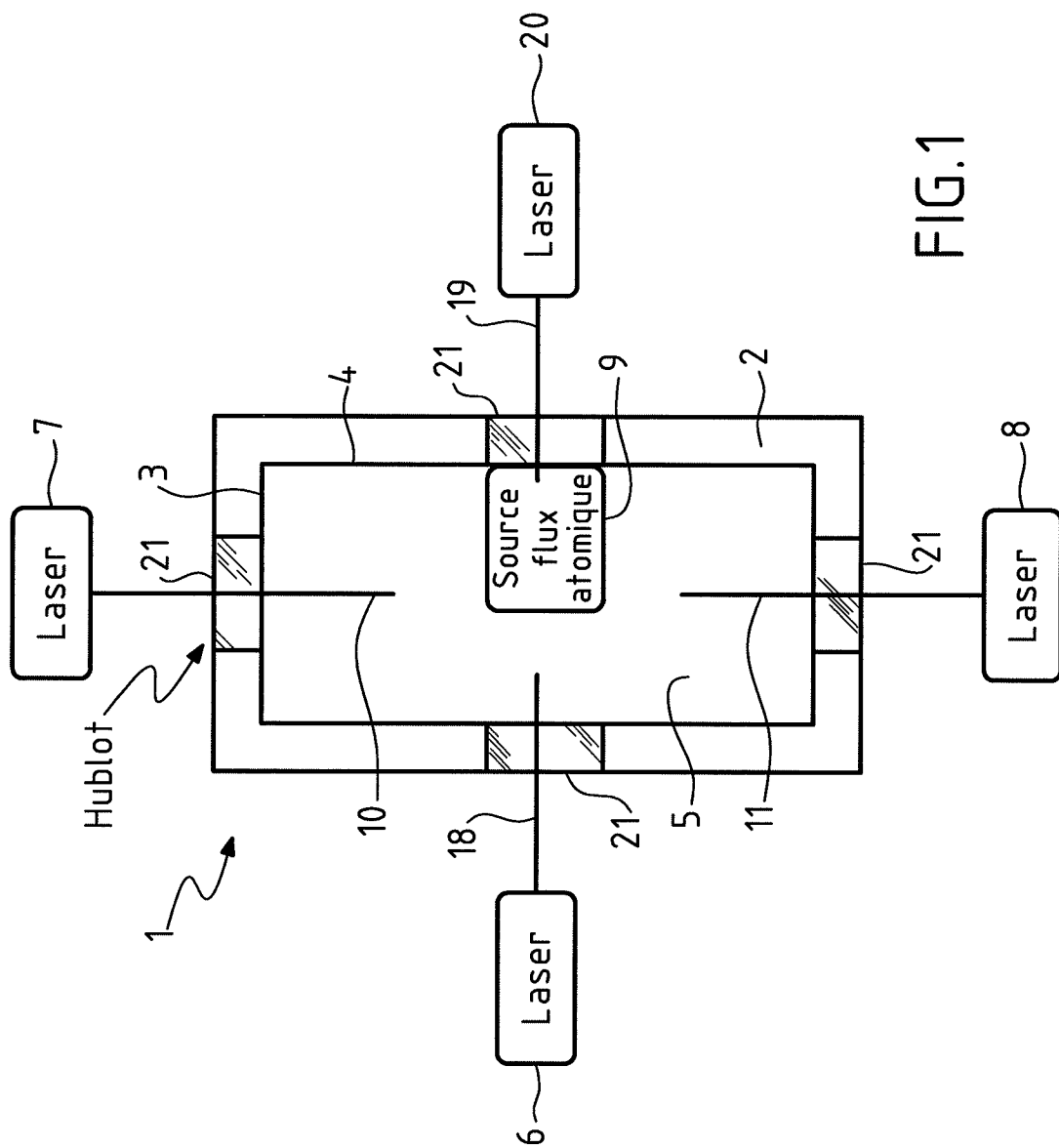
Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

REVENDICATIONS

1. Installation optique sous vide (1) comportant une enceinte à vide (2),
l'enceinte à vide (2) comportant des parois délimitant un espace intérieur (5)
fermé de manière étanche dans laquelle une surface interne des parois (3,
5 4) comporte une couche d'alliage métallique oxydé, l'alliage métallique
comportant au moins un métal choisi parmi la liste consistant en : titane,
cuivre, acier et aluminium, l'installation optique sous vide (1) comportant en
outre un hublot (21) apte à transmettre dans l'enceinte à vide (2) un faisceau
laser (10, 11) émis par une source optique (7, 8) à une longueur d'onde de la
10 source optique, l'alliage métallique oxydé étant apte à absorber la longueur
d'onde de la source optique afin que la réflectivité totale de la surface interne
de la paroi soit inférieure à 0.5 pour la longueur d'onde de la source optique.
2. Installation optique sous vide selon la revendication 1, dans laquelle la
longueur d'onde de la source optique correspond à une raie d'absorption du
15 Césium ou du Rubidium.
3. Installation optique sous vide selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la
longueur d'onde de la source optique (7, 8) est sélectionnée dans la liste
consistant en 780nm et 852nm.
4. Installation optique sous vide selon l'une quelconque des revendications 1 à
20 3, dans laquelle les parois sont entièrement constituées de l'alliage
métallique.
5. Installation optique sous vide (1) selon l'une quelconque des revendications
1 à 4, dans laquelle l'alliage métallique est le Ti6Al4V.
6. Installation optique sous vide (1) selon l'une quelconque des revendications
25 1 à 5, comportant en outre une source d'émission d'atomes (9) de césium ou
de rubidium disposée dans l'espace interne.
7. Utilisation de l'installation optique (1) selon l'une quelconque des
revendications 1 à 6, pour réaliser un appareil de mesure sélectionné dans
la liste consistant en une horloge atomique à atomes refroidis, un capteur
30 inertiel à atomes refroidis et un gravimètre à atomes refroidis, et un dispositif
de métrologie optique de précision.
8. Procédé de fabrication d'une enceinte à vide (2), comportant les étapes:
 - fournir un élément de paroi d'enceinte à vide ou une enceinte à vide (2)
comportant un alliage métallique oxydable sur au moins une surface

intérieure, l'alliage métallique comportant au moins un métal choisi parmi la liste consistant en : titane, cuivre, acier et aluminium,

- placer l'élément de paroi d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide (2) dans un four apte à imposer une température d'oxydation comprise dans l'intervalle de température de 300°C à 700°C, préférentiellement une température voisine de 400°C,
 - maintenir la température d'oxydation de sorte à oxyder une surface intérieure de l'élément de paroi d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide (2) pendant une durée suffisante pour que la réflectivité totale de ladite surface intérieure chute à une valeur inférieure à 0.5 à une longueur d'onde optique prédéterminée.
- 5
- 10
9. Procédé selon la revendication 8, comportant en outre mesurer la réflectivité totale de la surface intérieure à l'aide d'une sphère intégrante.
10. Procédé selon la revendication 9, comportant en outre nettoyer ladite surface intérieure, préalablement à placer l'élément de paroi d'enceinte à vide ou l'enceinte à vide (2) dans un four.
- 15



2/2

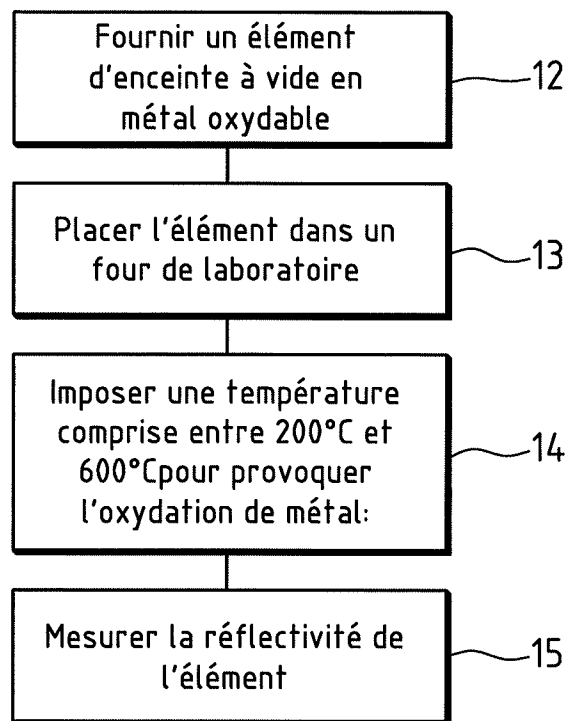


FIG.2

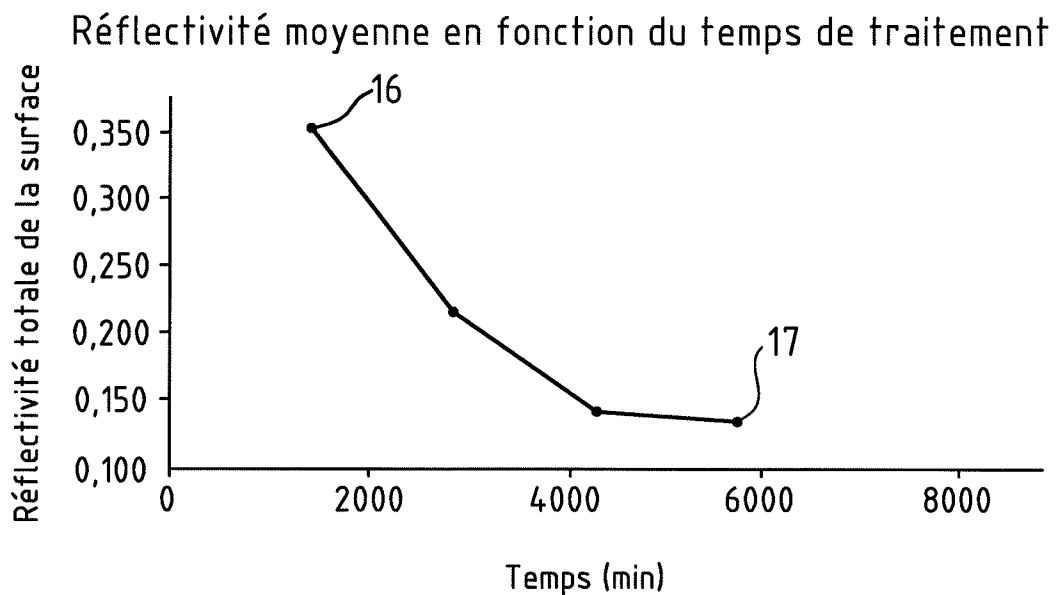


FIG.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/051049

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	G01C19/64 B01J3/00	B01J3/03 C23C8/10
	H01L21/67	G01V7/00
		G04F5/14
ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
G01C B01J H01L G01V G04F C03C G02B B23K B32B C23C F27B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 2 829 925 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 28 January 2015 (2015-01-28) paragraphs [0014] - [0022]; claim 1; figure 1B	1-7
Y	EP 0 913 367 A1 (ASAHI GLASS CO LTD [JP]) 6 May 1999 (1999-05-06) paragraph [0006]	1-7
A	FR 2 779 983 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 24 December 1999 (1999-12-24) page 8, line 31 - page 9, line 1 page 14, lines 34-35	8-10
A	FR 1 405 264 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 9 July 1965 (1965-07-09) page 2, right-hand column - page 3; claims 1,2	8-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
19 July 2017		26/07/2017
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer de la Rosa Rivera, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2017/051049

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 2829925	A2	28-01-2015	CN	104330590 A		04-02-2015
			EP	2829925 A2		28-01-2015
			JP	2015023276 A		02-02-2015
			US	2015022816 A1		22-01-2015

EP 0913367	A1	06-05-1999	EP	0913367 A1		06-05-1999
			TW	415922 B		21-12-2000
			US	6358617 B1		19-03-2002
			WO	9747564 A1		18-12-1997

FR 2779983	A1	24-12-1999	DE	69903568 D1		21-11-2002
			DE	69903568 T2		26-06-2003
			EP	1105247 A1		13-06-2001
			FR	2779983 A1		24-12-1999
			US	6478214 B1		12-11-2002
			WO	9967047 A1		29-12-1999

FR 1405264	A	09-07-1965	BE	663311 A		17-08-1965
			CH	436227 A		31-05-1967
			DE	1521702 B		12-03-1970
			ES	312863 A1		16-08-1969
			FR	1405264 A		09-07-1965
			GB	1066134 A		19-04-1967
			LU	48575 A1		12-07-1965
			NL	6506059 A		15-11-1965
			US	3343999 A		26-09-1967

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051049

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01C19/64 B01J3/03 H01L21/67 G01V7/00 G04F5/14 B01J3/00 C23C8/10		
ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01C B01J H01L G01V G04F C03C G02B B23K B32B C23C F27B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 2 829 925 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 28 janvier 2015 (2015-01-28) alinéas [0014] - [0022]; revendication 1; figure 1B -----	1-7
Y	EP 0 913 367 A1 (ASAHI GLASS CO LTD [JP]) 6 mai 1999 (1999-05-06) alinéa [0006] -----	1-7
A	FR 2 779 983 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 24 décembre 1999 (1999-12-24) page 8, ligne 31 - page 9, ligne 1 page 14, lignes 34-35 -----	8-10
A	FR 1 405 264 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 9 juillet 1965 (1965-07-09) page 2, colonne de droite - page 3; revendications 1,2 -----	8-10
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 19 juillet 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 26/07/2017
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé de la Rosa Rivera, E

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2017/051049

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2829925	A2	28-01-2015	CN 104330590 A	04-02-2015
			EP 2829925 A2	28-01-2015
			JP 2015023276 A	02-02-2015
			US 2015022816 A1	22-01-2015

EP 0913367	A1	06-05-1999	EP 0913367 A1	06-05-1999
			TW 415922 B	21-12-2000
			US 6358617 B1	19-03-2002
			WO 9747564 A1	18-12-1997

FR 2779983	A1	24-12-1999	DE 69903568 D1	21-11-2002
			DE 69903568 T2	26-06-2003
			EP 1105247 A1	13-06-2001
			FR 2779983 A1	24-12-1999
			US 6478214 B1	12-11-2002
			WO 9967047 A1	29-12-1999

FR 1405264	A	09-07-1965	BE 663311 A	17-08-1965
			CH 436227 A	31-05-1967
			DE 1521702 B	12-03-1970
			ES 312863 A1	16-08-1969
			FR 1405264 A	09-07-1965
			GB 1066134 A	19-04-1967
			LU 48575 A1	12-07-1965
			NL 6506059 A	15-11-1965
			US 3343999 A	26-09-1967
