(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
2 juin 2016 (02.06.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/083003 A1

(51) Classification internationale des brevets :
*G02B 21/33* (2006.01) *G02B 21/34* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/073165

(22) Date de dépôt international :
7 octobre 2015 (07.10.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1461528 26 novembre 2014 (26.11.2014) FR

(71) Déposant : **UNIVERSITE PARIS-SUD** [FR/FR]; 15 rue Georges Clemenceau, F-91400 Orsay (FR).

(72) Inventeurs : **TFAYLI, Ali**; 18 rue Jules Chopin, F-91370 Verrieres-le-Buisson (FR). **QUATELA, Alessia**; 11 rue Auguste Rodin, F-91120 Palaiseau (FR). **BAILLET-GUFFROY, Arlette**; 6 rue Lacharrière, F-75011 Paris (FR).

(74) Mandataire : **PONTET ALLANO & ASSOCIES**; Parc Les Algorithmes, Bâtiment Platon, CS 70003 Saint-Aubin, F-91192 Gif sur Yvette cedex (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, 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, KN, KP, KR, 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), eurasien (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))*

WO 2016/083003 A1

**(54) Title** : DEVICE FOR A MICROSCOPE LENS AND METHOD FOR USING SUCH A DEVICE

**(54) Titre** : DISPOSITIF POUR OBJECTIF DE MICROSCOPE, ET PROCEDE D'UTILISATION D'UN TEL DISPOSITIF

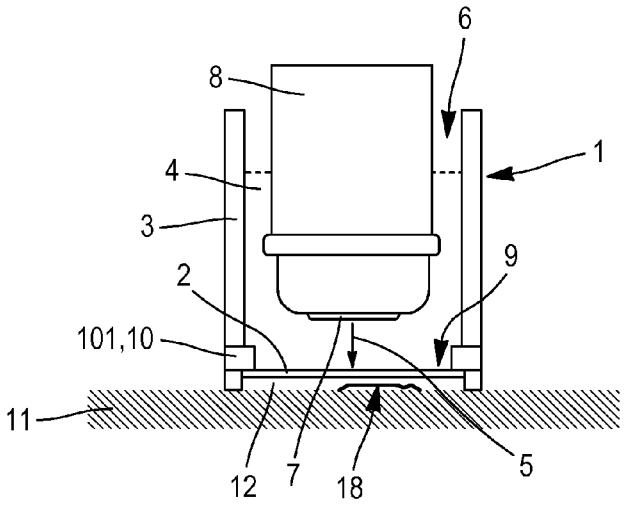



FIG. 4

**(57) Abstract** : The present invention relates to a device (1) for a microscope lens, wherein said device comprises: a slide (2), a container (3) arranged to hold liquid (4) and provided with two opposite ends aligned in an alignment direction (5), including one open end (6), provided for the insertion of a distal end (7) of a microscope lens (8), and one end (9) closed by the slide (2), a spacer (10) which is located on the opposite side of the slide (2) in relation to the container (3) and, when the spacer (10) is positioned against a planar surface of a sample (11), is arranged to form an intermediate space (12) between the slide (2) and the sample (11).

**(57) Abrégé** :

*[Suite sur la page suivante]*

La présente invention concerne un dispositif (1) pour objectif de microscope, comprenant : - une lame (2), - un réservoir (3) agencé pour contenir du liquide (4) et muni de deux extrémités opposées alignées le long d'une direction d'alignement (5), dont : o une extrémité ouverte (6), prévue pour l'insertion d'une extrémité distale (7) d'un objectif (8) de microscope, et o une extrémité fermée (9) par la lame (2), un dispositif d'espacement (10), situé du côté opposé de la lame (2) par rapport au réservoir (3), et agencé pour, lorsque le dispositif d'espacement (10) est placé contre une surface plane d'un échantillon (11), créer un espace intermédiaire (12) entre la lame (2) et l'échantillon (11).

«Dispositif pour objectif de microscope, et procédé d'utilisation d'un tel dispositif»

## Domaine technique

La présente invention concerne un dispositif pour objectif de microscope, et un procédé d'utilisation d'un tel dispositif.

Un tel dispositif permet à un utilisateur d'acquérir à partir d'un échantillon ou de transmettre à un échantillon un signal optique notamment avec moins d'artefact de détermination de position du plan focal de l'objectif dans l'échantillon et/ou une meilleure résolution et/ou une minimisation de perte de signal. Le domaine de l'invention est plus particulièrement, mais de manière non limitative, celui de la microscopie Raman, notamment pour la mesure d'épaisseur d'un échantillon et/ou de la profondeur d'un plan de focalisation.

## Etat de la technique antérieure

On connaît l'article de Tomba et al. intitulé « *Avoiding Coupling Fluid-Sample Interaction in Confocal Raman Depth Profiling with Immersion Objectives* » et paru en 2008 dans le volume 62, n°7, de la revue *Applied Spectroscopy*.

Cet article décrit un dispositif ayant pour objectif et pour résultat :

- d'éliminer toute interface d'air ou de gaz (de faible indice de réfraction, autour de 1) entre un objectif de microscope et un échantillon (d'indice de réfraction environ égal à 1,5), et
- de n'intercaler entre l'objectif et l'échantillon exclusivement des milieux ayant un indice de réfraction très proche de celui de l'échantillon (typiquement une huile de couplage d'indice 1,50 et un film en polyéthylène (PE) d'indice 1,51 pour un échantillon en polypropylène (PP) d'indice 1,49),

ceci afin de profiter au maximum de la bonne ouverture numérique de l'objectif de microscope et d'éviter des problèmes de résolution, de détermination de profondeur du plan de focalisation de l'objectif, et de réduction de l'intensité Raman avec l'augmentation de la profondeur de focalisation de l'objectif.

Le but de la présente invention est de proposer un dispositif permettant de s'affranchir de ces mêmes problèmes tout en permettant une meilleure adaptabilité du dispositif en fonction de différentes natures possibles de l'échantillon.

Un autre but de la présente invention est de proposer un procédé d'utilisation d'un tel dispositif.

## Exposé de l'invention

Cet objectif est atteint avec un dispositif pour objectif de microscope, comprenant :

- une lame,
- un réservoir agencé pour contenir du liquide et muni de deux extrémités opposées alignées le long d'une direction d'alignement, dont :
  - une extrémité ouverte, prévue pour l'insertion d'une extrémité distale d'un objectif de microscope, et
  - une extrémité fermée par la lame,
- un dispositif d'espacement, situé du côté opposé de la lame par rapport au réservoir, et agencé pour, lorsque le dispositif d'espacement est placé contre une surface plane d'un échantillon, créer un espace intermédiaire entre la lame et l'échantillon.

Le dispositif selon l'invention peut être dénué de moyens pour créer une dépression dans l'espace intermédiaire.

La lame est de préférence rigide, c'est-à-dire avec un module d'Young supérieur à 3 GPa (de préférence supérieur à 6 GPa, de manière préférentielle à 70 GPa), de préférence compris entre 3 GPa et 200 GPa (de préférence entre 6 GPa et 200 GPa, de préférence entre 70 GPa et 200 GPa).

Le dispositif d'espacement :

- peut comprendre des moyens pour régler une hauteur, le long de la direction d'alignement, de ce dispositif d'espacement, et/ou
- peut être un premier dispositif d'espacement et être interchangeable, et le dispositif selon l'invention peut en outre

être accompagné d'au moins un autre dispositif d'espacement de hauteur différente de celle du premier dispositif d'espacement.

La lame a de préférence une épaisseur supérieure ou égale à 100 micromètres, de préférence à 130 micromètres.

La lame peut avoir une épaisseur inférieure ou égale à 500 micromètres.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé d'utilisation d'un dispositif selon l'invention, caractérisé en ce que :

- on remplit le réservoir avec du liquide à immersion et on insère une extrémité distale d'un objectif de microscope dans le réservoir par l'extrémité ouverte du réservoir, de sorte que l'extrémité distale de l'objectif et la lame soient reliées par le liquide,
- on place le dispositif d'espacement contre une surface d'un échantillon ou autour de l'échantillon de manière à créer un espace intermédiaire entre la lame et l'échantillon,
- on transporte un signal optique à travers l'objectif, ce transport de signal optique comprenant une acquisition du signal en provenance de l'échantillon via l'objectif ou un acheminement du signal optique jusqu'à l'échantillon via l'objectif, de préférence avec une distance (non nulle) entre la lame et l'échantillon.

De préférence, le procédé selon l'invention ne comprend aucune dépressurisation dans l'espace intermédiaire entre la création de l'espace intermédiaire et le transport du signal.

De préférence, le procédé selon l'invention ne comprend aucune déformation de la lame entre la création de l'espace intermédiaire et le transport du signal.

De préférence :

- le procédé selon l'invention peut comprendre un réglage d'une hauteur, le long de la direction d'alignement, du dispositif d'espacement, et/ou
- le dispositif d'espacement peut être un premier dispositif d'espacement, et le procédé selon l'invention peut comprendre un

interchangement (ou remplacement) du premier dispositif d'espacement avec un autre dispositif d'espacement de hauteur différente de celle du premier dispositif d'espacement. Cette étape d'interchangement ou de remplacement est typiquement mis en œuvre avant l'étape de transport du signal optique à travers l'objectif.

L'écart de l'indice de réfraction du liquide, par rapport à l'indice de réfraction de la partie de l'échantillon dans lequel se trouve le plan focal de l'objectif au moment du transport du signal, est de préférence inférieur à vingt pour cent.

L'écart de l'indice de réfraction de la lame, par rapport à l'indice de réfraction de la partie de l'échantillon dans lequel se trouve le plan focal de l'objectif au moment du transport du signal, est de préférence inférieur à vingt pour cent.

L'indice de réfraction du liquide est de préférence compris entre 1,3 et 1,7.

La distance entre la lame et l'échantillon est :

- de préférence supérieure ou égale à 10 micromètres, et/ou
- de préférence inférieure ou égale à 1 millimètre.

le procédé selon l'invention peut comprendre une mesure d'une épaisseur de l'échantillon à partir de l'acquisition du signal.

## Description des figures et modes de réalisation

D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :

- la figure 1 illustre un objectif 80 et un échantillon 11 selon l'art antérieur,
- la figure 2 illustre une utilisation du montage la figure 1,
- la figure 3 illustre des données Raman acquises selon l'utilisation de l'objectif 80 des figures 1 et 2,
- la figure 4 est une vue de coupe de profil d'un premier mode de réalisation de dispositif 1 selon l'invention en cours d'utilisation sur un échantillon 11,

- la figure 5 est une vue de coupe de profil d'une première variante de dispositif selon l'invention de la figure 4,

- la figure 6 est une vue de coupe de profil d'une deuxième variante de dispositif selon l'invention de la figure 4 (cette deuxième variante étant combinable avec la première variante de la figure 5),

- la figure 7 illustre un mouvement de l'objectif 8 de dispositif 1 selon l'invention des figures 4 à 6,

- les figures 8 et 9 illustrent des données Raman obtenues avec le dispositif 1 selon l'invention des figures 4 à 6 pour une mesure d'épaisseur de l'échantillon 11,

- la figure 10 illustre des données Raman obtenues avec le dispositif 1 selon l'invention des figures 4 à 6 pour une détermination de la résolution à la surface supérieure de l'échantillon 11, et

- la figure 11 illustre des données Raman obtenues avec le dispositif 1 selon l'invention des figures 4 à 6 pour une détermination de résolution en profondeur, et

- la figure 12 est un tableau qui donne différentes valeurs d'un facteur de correction F entre le déplacement réel d' du plan de focalisation de l'objectif 8 et le déplacement nominal d du plan de focalisation de l'objectif 8.

Ces modes de réalisation étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites ou illustrées par la suite isolées des autres caractéristiques décrites ou illustrées (même si cette sélection est isolée au sein d'une phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, et/ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou à différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

La figure 1 représente l'état de l'art.

Les figures 1 et 2 illustrent un objectif 80 et un échantillon 11 (d'indice de réfraction $n_s$) séparés par de l'air d'indice $n_a$.

L'échantillon 11 est une couche de polymère de TOPAS 8007® avec une épaisseur de 165 µm mesurée avec un micromètre MITUTOYO (modèle 15610110).

L'objectif 80 est un objectif d'ouverture numérique égale à 0,9 et de référence MPLFLN100X d'Olympus.

En référence à la figure 2, lorsque l'on déplace l'objectif de microscope 80 le long de l'axe Z au-dessus de l'échantillon 11 entre deux positions 80a et 80b distants d'une distance d, le plan focal de l'objectif 80 se déplace dans l'échantillon 11 d'une distance d'.

d est différent de d'.

En outre, il n'y a pas de proportionnalité entre d et d'. Autrement dit, d' n'est pas une fonction affine de d, et il n'est pas simple de déterminer d' en fonction de d.

Un tel montage selon l'état de l'art antérieur, au fur et à mesure que le plan de focalisation de l'objectif 80 s'enfonce dans l'échantillon, pose des problèmes de plus en plus importants de résolution, de détermination de la profondeur du plan de focalisation de l'objectif 80, et de réduction de l'intensité Raman.

Par exemple, la figure 3 illustre le profil Raman confocal collecté avec cet objectif 80 sur l'échantillon 11 en déplaçant l'objectif 80 le long de l'axe Z. L'axe des abscisses du graphique de la figure 3 est la position nominale Δ en µm de l'objectif 80 le long de l'axe Z. Sur la base de ce profil, on arrive à une mesure erronée d'épaisseur de l'échantillon 11 égale à 89µm.

On va maintenant décrire, en référence aux figures 4 à 12, un premier mode de réalisation de dispositif ou embout ou capuchon 1 selon l'invention et un procédé selon l'invention d'utilisation de ce dispositif ou embout ou capuchon 1.

Le dispositif 1 selon l'invention va à l'encontre de l'enseignement technique de l'article de Tomba et al. intitulé « *Avoiding Coupling Fluid-Sample Interaction in Confocal Raman Depth Profiling with Immersion*

*Objectives* », et vainc les préjugés techniques de cet article selon lesquels il faut absolument éliminer tout air entre l'objectif de microscope et l'échantillon et il ne faut intercaler entre l'objectif et l'échantillon rien que des milieux ayant un indice de réfraction très proche de celui de l'échantillon (typiquement une huile de couplage d'indice 1,50 et un film PE d'indice 1,51 pour un échantillon en PP d'indice 1,49).

En référence aux figures 4 à 6, le dispositif 1 selon l'invention pour objectif de microscope, comprend une lame 2.

La lame 2 est plane. La lame 2 est une lame à double faces parallèles. Ainsi, on limite les effets optiques de cette lame.

Le dispositif 1 comprend un réservoir 3 agencé pour contenir du liquide 4, c'est-à-dire pour retenir le liquide 4 sans que le liquide 4 ne se répande à l'extérieur du réservoir 3.

Le réservoir 3 est muni de deux extrémités opposées alignées le long d'une direction d'alignement 5, dont :

- une extrémité ouverte 6, prévue pour l'insertion d'une extrémité distale 7 d'un objectif 8 de microscope, et
- une extrémité fermée 9 par la lame 2.

Le dispositif 1 comprend un dispositif d'espacement 10, situé du côté de la lame 2 opposé par rapport au réservoir 3, et agencé pour, lorsque le dispositif d'espacement 10 est placé contre une surface plane d'un échantillon 11, créer un espace intermédiaire 12 entre la lame 2 et l'échantillon 11.

Le dispositif 1 est dénué de moyens pour créer une dépression dans l'espace intermédiaire 12. Par dépression, on entend de préférence toute pression à l'intérieur de l'espace 12 inférieure à 0,8 atmosphère. Le dispositif 1 est dénué de moyens agencés pour aspirer un gaz en provenance de l'espace intermédiaire 12 ou au moins dénué de moyens agencés pour aspirer un gaz en provenance de l'espace intermédiaire 12 sans le remplacer par un autre gaz.

Le dispositif 1 est dénué de moyens pour déformer la lame 2.

La dispositif d'espacement 10 a une hauteur supérieure ou égale à 10 micromètres, de préférence inférieure ou égale à 1 millimètre.

Selon la variante envisagée, le dispositif d'espacement 10 peut être muni :

- de trous pour faire communiquer l'espace intermédiaire 12 avec l'atmosphère gazeuse environnante autour du dispositif 1, ou
- peut être fermé pour isoler l'espace intermédiaire 12 par rapport à l'atmosphère gazeuse environnante autour du dispositif 1 ; dans ce cas, le dispositif 1 peut comprendre des moyens pour remplacer le contenu de l'espace intermédiaire 12 (par exemple remplacer un contenu initial d'air par un gaz neutre ou tout autre gaz ou mélange de gaz avec lequel on souhaite mettre en contact l'échantillon 11).

La lame 2 est rigide. Ainsi, on assure le maintien du volume de l'espace intermédiaire 12.

La lame 2 a un module d'Young supérieur à E=3 GPa (de préférence supérieur à 6 GPa, de manière préférentielle à 70 GPa), de préférence compris entre 3 GPa et 200 GPa (de préférence entre 6 GPa et 200 GPa, de préférence entre 70 GPa et 200 GPa). Par exemple, le module d'Young du verre classique Schott® pour lamelles de microscopes (utilisable pour la lame 2) est de 72,9 GPa.

La lame a une épaisseur 16 supérieure ou égale à e=100 µm ou 130 µm (de préférence inférieure ou égale à 500 micromètres).

La lame 2 a un Coefficient de contrainte optique supérieur ou égal à $C=3,4.10^{-12}$ $m^2/N$

La lame 2 a un coefficient de poisson supérieur ou égal à µ=0,208

La lame 2 a un Module de cisaillement supérieur ou égal à G=30,1 $kN/mm^2$

La lame 2 a une dureté Knoop HK100 supérieur ou égal à 590.

La lame 2 est en verre ou en polymère.

Dans une première variante de ce mode de réalisation illustré sur la figure 5, le dispositif d'espacement 10 est interchangeable. Ainsi, sur la figure 4, le dispositif d'espacement 10 est un premier dispositif d'espacement 101 interchangeable. Le dispositif 1 est accompagné (par exemple sous la forme d'un « kit », typiquement sous sa forme

commercialisée) d'au moins un autre dispositif d'espacement 102 (de préférence de plusieurs autres dispositifs d'espacement) de hauteur (définie, comme toutes les autres hauteurs de cette description, parallèlement à la direction d'alignement 5 ou à l'axe optique de l'objectif 8 qui est parallèle à cette direction 5) différente de celle du premier dispositif d'espacement 101. Le dispositif d'espacement 101 interchangeable de la figure 4 peut ainsi être remplacé par le dispositif d'espacement 102 (plus haut) tel que représenté sur la figure 5, et inversement. Ceci permet une meilleure adaptabilité à l'échantillon 11 en fonction :

- des hauteurs des reliefs 18 de l'échantillon 11, ou
- de la hauteur de l'échantillon (par exemple dans une variante où sur les figures 4 à 6 la référence 11 serait un support (comme une lame de microscope) et la référence 18 l'échantillon posé sur ce support).
- de la distance focale de l'objectif 8 de microscope

Chaque dispositif d'espacement 10 parmi les différents dispositifs d'espacement interchangeables 101, 102, etc. peut par exemple être un anneau ou une rondelle en polymère et/ou métal anodisé et/ou verre.

Chaque dispositif d'espacement 10 parmi les différents dispositifs d'espacement interchangeables 101, 102, etc. est agencé pour être de préférence maintenu par une force mécanique (coincé, clipsé, ou serré) ou magnétique (aimantation) sur le réservoir 3 ou, de manière moins préférée, simplement posé ou mis en contact du réservoir 3.

Dans une deuxième variante de ce mode de réalisation illustré sur la figure 6, le dispositif d'espacement 10 comprend des moyens 13 pour régler (sans interchanger ce dispositif 10) une hauteur 14, le long de la direction d'alignement 5, de ce dispositif d'espacement 10. Ces moyens de réglage 13 sont agencés pour permettre différentes (de préférence au moins 5) valeurs non nulles et stables dans le temps de la hauteur 14 du dispositif d'espacement 10. Ceci permet une meilleure adaptabilité à l'échantillon 11 en fonction :

- des hauteurs des reliefs 18 de l'échantillon 11, ou

- de la hauteur de l'échantillon (par exemple dans une variante où sur les figures 4 à 6 la référence 11 serait un support (comme une lame de microscope) et la référence 18 l'échantillon posé sur ce support).
- de la distance focale de l'objectif 8 de microscope.

Le dispositif d'espacement 10 peut par exemple être une paire d'anneaux ou de rondelles 21, 22 munis de moyens pour écarter ces deux anneaux ou rondelles 21, 22 l'un par rapport à l'autre. Ces moyens de réglage 13 ou d'écartement peuvent par exemple comprendre :

- une vis micrométrique 19 qui tourne dans un pas de vis à travers l'anneau ou rondelle supérieur(e) 21 et dont la pointe vient en butée de l'anneau ou rondelle inférieur(e) 22, et
- au moins une (de préférence plusieurs) tige de guidage 20 libre de coulisser à travers l'anneau ou rondelle supérieur(e) 21 et qui est fixée à l'anneau ou rondelle inférieur(e) 22.

En tournant la vis 19, on écarte ou rapproche les anneaux ou rondelles 21, 22 (en fonction du sens de rotation de la vis 19), pendant que le mouvement de translation, parallèlement à la direction 5, de l'anneau ou rondelle supérieur(e) 21 par rapport à l'anneau ou rondelle inférieur(e) 22 est guidé par l'au moins une tige de guidage 20.

Ces deux variantes sont combinables. On peut ainsi avoir plusieurs dispositifs 101, 102, ... interchangeables, chaque dispositif 101, 102, … étant équipé des moyens de réglage 13 précédemment décrits.

Dans un procédé d'utilisation du dispositif 1 maintenant décrit, on procède aux étapes suivantes dans n'importe quel ordre :

- on remplit le réservoir 3 avec du liquide à immersion 4,
- on insère une extrémité distale 7 (i.e. l'extrémité prévue pour être orientée vers un échantillon 11 pour son observation) de l'objectif 8 de microscope dans le réservoir 3 par l'extrémité ouverte 6 du réservoir 3, de sorte que l'extrémité distale 7 de l'objectif 8 et la lame 2 soient reliées (de préférence uniquement) par le liquide 4,

- on place le dispositif d'espacement 10 contre une surface de l'échantillon 11 (ou autour de l'échantillon, par exemple dans une variante où sur les figures 4 à 6 la référence 11 serait un support (comme une lame de microscope) et la référence 18 l'échantillon posé sur ce support) de manière à créer l'espace intermédiaire 12 entre la lame 2 et l'échantillon 11.

L'espace intermédiaire 12 est un espace de gaz, de préférence d'air.

Ensuite, on transporte au moins un signal optique à travers l'objectif 8, ce transport d'au moins un signal optique comprenant :

- une acquisition d'un signal optique en provenance de l'échantillon 11 via l'objectif 8 (par exemple un signal de fluorescence de l'échantillon, un signal Raman de l'échantillon, un signal d'observation de l'échantillon en lumière blanche, etc.), et aussi de préférence une mémorisation (typiquement dans une mémoire informatique ou électronique) de données relatives à ce signal et/ou un affichage de ces données (typiquement sur un écran, ou sur un affichage digital ou sur un cadran analogique à aiguille, etc.) ; et/ou

- un acheminement d'un signal optique jusqu'à l'échantillon 11 via l'objectif 8, (par exemple un signal optique d'excitation de l'échantillon).

Lors de ce transport de l'au moins un signal optique à travers l'objectif 8 :

- il n'y a pas de contact entre l'échantillon 11 et la lame 2,
- c'est à dire que la lame 2 ne touche pas l'échantillon 11,
- autrement dit qu'il y a toujours une distance 15 (non nulle) entre la lame 2 et l'échantillon 11.

Lors de ce transport de l'au moins un signal optique à travers l'objectif 8, la partie de l'échantillon 11 sur lequel est projeté ce signal optique ou d'où provient ce signal optique n'est pas en contact de la lame 2 et même n'est pas en contact d'une quelconque partie du dispositif 1.

La lame 2 est transparente, c'est-à-dire qu'elle laisse passer au moins 50% (de préférence au moins 90%) de l'intensité lumineuse du signal optique.

Ce mode de réalisation de procédé selon l'invention ne comprend aucune dépressurisation (en particulier aucune aspiration de gaz ou aucune

aspiration de gaz sans le remplacer par un autre gaz) dans l'espace intermédiaire 12 entre l'étape de placement du dispositif d'espacement 10 (c'est-à-dire le moment de la création de l'espace intermédiaire 12) et le transport du signal optique. Par dépressurisation, on entend de préférence toute étape de diminution de la pression à l'intérieur de l'espace 12 à une valeur inférieure à 0,8 atmosphère.

On conserve le volume de l'espace intermédiaire 12 inchangé :

- entre l'étape de placement du dispositif d'espacement 10 (c'est-à-dire le moment de la création de l'espace intermédiaire 12) et le transport du signal optique, et
- pendant le transport du signal optique.

Ainsi, on améliore l'adaptabilité de l'invention à l'échantillon 11, notamment concernant :

- les effets négatifs de la pression de la lame 2 sur l'échantillon 11 si l'espace intermédiaire 12 n'existait pas, notamment pour les échantillons qui peuvent souffrir d'une pression ou les échantillons « mous » dont on veut éviter la déformation,
- les besoins de « respirer » de l'échantillon (par exemple échantillon biologique, de peau ou autre), d'être à l'air libre ou sous une certaine atmosphère.

Ainsi, le dispositif selon l'invention évite une interaction de la partie observée de l'échantillon 11 avec un élément extérieur tel qu'un liquide d'immersion, ou la lame 2, ce qui est important par exemple dans le cas de diffusion de lumière par de la peau. On évite ainsi de créer des interactions « non naturelles » avec l'échantillon 11 et donc de générer des artefacts de mesure, ce qui est important par exemple pour l'étude de l'absorption de médicaments ou de cosmétiques sur un échantillon 11 de peau.

Ce mode de réalisation de procédé selon l'invention ne comprend aucune déformation de la lame 2 entre la création de l'espace intermédiaire 12 et le transport du signal optique.

Selon une première variante, on peut interchanger différents dispositifs d'espacement 101, 102 comme expliqué précédemment. Cette

étape d'interchangement ou de remplacement est typiquement mis en œuvre avant l'étape de transport du signal optique à travers l'objectif.

Selon une deuxième variante, le procédé selon l'invention comprend un réglage de la hauteur 14, le long de la direction d'alignement 5, du dispositif d'espacement 10, cette étape de réglage étant réalisée via les moyens de réglage 13 comme expliqué précédemment.

L'indice de réfraction est utilisé dans la présente description pour parler de l'indice de réfraction.

Pour la longueur d'onde $\lambda_i$ du signal optique (cas monochromatique) ou au moins une longueur d'onde d'intérêt $\lambda_i$ du signal optique (cas polychromatique), l'écart de l'indice de réfraction $n_m$ du liquide 4 (à $\lambda_i$), par rapport à l'indice de réfraction $n_s$ (à $\lambda_i$) de la partie de l'échantillon 11 dans lequel se trouve le plan focal (position du plan focal à $\lambda_i$) de l'objectif 8 au moment du transport du signal, est inférieur à vingt pour cent :

$$\left|\frac{n_s - n_m}{n_s}\right| < 20\%$$

L'écart de l'indice de réfraction $n_g$ (à $\lambda_i$) de la lame 2, par rapport à l'indice de réfraction $n_s$ (à $\lambda_i$) de la partie de l'échantillon 11 dans lequel se trouve le plan focal (position du plan focal à $\lambda_i$) de l'objectif 8 au moment du transport du signal optique, est inférieur à vingt pour cent :

$$\left|\frac{n_s - n_g}{n_s}\right| < 20\%$$

L'indice de réfraction du liquide 4 est compris entre 1,3 et 1,7.

La distance 15 (i.e., sur tout le plan de la lame 2 orienté du côté de l'échantillon, la longueur du plus court segment reliant la lame 2 aux reliefs 18 de l'échantillon 11) entre la lame 2 et l'échantillon 11 est supérieure ou égale à 10 micromètres.

La distance 15 entre la lame 2 et l'échantillon 11 est inférieure ou égale à 1 millimètre.

En référence à la figure 7, lorsque l'on déplace l'objectif de microscope 8 le long de la direction 5 au-dessus de l'échantillon 11 entre

deux positions 8a et 8b distants d'une distance d, le plan focal de l'objectif 8 se déplace dans l'échantillon 11 d'une distance d'.

En référence à la figure 7, le déplacement réel $d'=P_SP_S'$ est relié au déplacement nominal d par l'équation (et donc la profondeur réelle Z du plan de focalisation de l'objectif 8 est reliée à la profondeur nominale Δ du plan de focalisation de l'objectif 8):

$$P_sP_s' = d.\frac{tg(\alpha_{im})}{tg(\alpha_s)}$$

Quand $n_m = n_s$, $a_m = a_s$, alors:

d = d'

Δ = Z

Autrement dit, dans le cas où :

- $n_s=n_m$ (et de préférence $n_s=n_g$) ou par approximation $\left|\frac{n_s - n_m}{n_s}\right| < 1\%$ (et de préférence $\left|\frac{n_s - n_g}{n_s}\right| < 1\%$), et
- l'espace intermédiaire est une lame (de gaz, ou de préférence d'air) à faces parallèles ce qui est vrai si :
    - la lame 2 est une lame à face parallèles, ou au moins la lame 2 a une face extérieure orientée vers l'échantillon 11 (c'est-à-dire la face de la lame 2 opposée par rapport au réservoir 3) qui est plane et perpendiculaire à l'axe optique (direction 5) de l'objectif 8, et
    - les reliefs 18 sont petits (typiquement quelques micromètres, leurs hauteurs étant volontairement très exagérées sur les figures 4 à 6 pour pouvoir les discerner) par rapport à la distance 15 entre la lame 2 et l'échantillon 11 (typiquement quelques dixièmes de millimètres),

alors d=d'.

Ainsi selon l'invention, on évite les problèmes de précision de positionnement du plan focal de l'objectif et de résolution au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans l'échantillon.

Dans le cas où :

- $n_s \neq n_m (\neq n_g)$, (typiquement $\left|\frac{n_s - n_m}{n_s}\right| < 20\%$, de préférence $\left|\frac{n_s - n_m}{n_s}\right| < 10\%$ ; et $\left|\frac{n_s - n_g}{n_s}\right| < 20\%$, de préférence $\left|\frac{n_s - n_m}{n_s}\right| < 10\%$)
- l'espace intermédiaire est une lame (de gaz, ou préférence d'air) à faces parallèles ce qui est vrai si :
    - la lame 2 est une lame à face parallèles, ou au moins la lame 2 a une face extérieure orientée vers l'échantillon 11 (c'est-à-dire la face de la lame 2 opposée par rapport au réservoir 3) qui est plane et perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif 8 (et donc à la direction 5), et
    - les reliefs 18 sont petits (typiquement quelques micromètres, leurs hauteurs étant volontairement très exagérées sur les figures 4 à 6 pour pouvoir les discerner) par rapport à la distance 15 entre la lame 2 et l'échantillon 11 (typiquement quelques dixièmes de millimètres),

alors $d \neq d'$ mais il existe une proportionnalité entre d et d'. Autrement dit, d' est une fonction affine de d, et il est simple de déterminer d' en fonction de d. Cette proportionnalité peut être prise en compte par un simple facteur de correction entre d et d' (ou entre Δ et Z). La figure 12 donne différentes valeurs de ce facteur de correction F pour $n_s = 1{,}52 \pm 0{,}01$ en fonction de l'ouverture numérique N.A. de l'objectif 8 (première colonne) et en fonction de la valeur de $n_m$ ($n_m$ = 1,333 pour la première colonne de valeur du facteur de correction ou $n_m = n_s$ pour la deuxième colonne de valeur du facteur de correction), avec :

$d' = F\, d$

$Z = F\, \Delta$

Ainsi selon l'invention, on limite les problèmes de précision de positionnement du plan focal de l'objectif et de résolution au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans l'échantillon.

Ce mode de réalisation de procédé selon l'invention comprend de préférence une mesure d'une épaisseur 17 de l'échantillon 11 à partir de l'acquisition du signal optique qui est de préférence un signal Raman.

Par exemple, on a effectué les mesures correspondant aux figures 8 et 9 avec les paramètres suivant.

La lame 2 est en verre Schott®, avec une épaisseur de 130 µm, et un indice de réfraction de 1,51.

Les parois latérales du réservoir 3 sont de forme cylindrique, avec un diamètre intérieur de 25 millimètres.

Les parois latérales du réservoir 3 sont en matière plastique, typiquement en PVC.

Les moyens d'espacement 10 sont un anneau en téflon ou en matière plastique tel que du PVC ou en verre et de hauteur égale à 130 µm

Le liquide d'immersion 4 comprend un mélange de 100 à 0% de 2,2'-thiodiethanol (TDE, ACROS Organics 420861000) avec 0 à 100% de solutions (par exemple de l'eau), de manière à pouvoir adapter l'indice de réfraction du liquide 4 entre 1,33 et 1,6 de préférence le plus proche possible de l'indice de réfraction de l'échantillon. L'indice de réfraction du TDE est de 1,5206±0,0005 mesuré avec un réfractomètre Abbe (Zeiss 144865). L'indice de réfraction de l'eau est 1,33.

L'objectif 8 est un objectif LUMPLFLN60XW à immersion à eau de chez Olympus avec une ouverture numérique de 1,00.

L'échantillon 11 est une couche de polymère TOPAS 8007® (indice de réfraction 1,53) avec une épaisseur de 165 µm mesurée avec un micromètre MITUTOYO (modèle 15610110) avec une précision de ±1 µm, avec un indice de réfraction proche du *Stratum Corneum*.

L'espace intermédiaire 12 est rempli d'air à la pression atmosphérique.

Les données Raman des figures 8 et 9 sont acquises avec un microspectromètre Labram HR Evolution (Horiba Jobin-Yvon) équipé d'un laser He-Ne d'excitation à 632,8 nm avec un réseau de diffraction à 600 traits par millimètre.

Un microscope Olympus (sur lequel est monté l'objectif 8) est relié optiquement au spectromètre, et est équipé d'un trou de filtrage (pour la confocalité du système) ajusté à 500 µm.

L'objectif 8 est monté sur une platine de déplacement à haute précision permettant des pas de 100 nanomètres parallèlement à la direction 5.

Les données Raman des figures 8 et 9 sont obtenues en déplaçant la position du plan de focalisation de l'objectif 8 à travers l'échantillon 11 à différentes hauteurs le long de la direction 5 et en enregistrant un spectre à chaque position de ce plan de focalisation. Chaque spectre est mesuré entre 500 $cm^{-1}$ et 1500 $cm^{-1}$, avec un temps d'acquisition de 5 secondes et 10 accumulations. Chaque spectre est lissé en utilisant un lissage de moyenne flottante à cinq points et une correction de la ligne de base par une fonction polynomiale automatique. La largeur à mi-hauteur (FWHM) de la courbe obtenue en suivant la variation de l'intensité intégrée de la bande à 930 $cm^{-1}$ du TOPAS 8007® (utilisée car elle ne correspond à aucune bande de vibration du TDE) a été déterminée en fonction de la position nominale Δ du plan focal de l'objectif 8 dans l'échantillon en utilisant un script Matlab. On obtient alors les graphiques des figures 8 et 9. La courbe 23 illustre les données obtenues avec du liquide d'immersion 4 consistant uniquement en de l'eau. La courbe 24 illustre les données obtenues avec du liquide d'immersion 4 consistant uniquement en du TDE.

Sur les figures 8 à 11, le symbole Δ fait référence à la profondeur nominale du plan de focalisation de l'objectif 8 telle que contrôlée par le logiciel Labspec 6.0, et qui peut être différente de la profondeur réelle Z du plan de focalisation de l'objectif 8 dans l'échantillon 11.

Par comparaison des figures 8 et 9 avec la figure 3 (le graphique de la figure 3 ayant été acquis avec les mêmes conditions que les graphiques des figures 8 et 9 mais sans le dispositif selon l'invention comme illustré en figure 1), on remarque que selon l'invention on évite ou limite les problèmes de précision de positionnement du plan focal de l'objectif 8 (l'épaisseur de l'échantillon déterminée à 166 µm dans le cas de la courbe 23 de la figure 9) et de perte d'intensité de mesure (l'évolution de l'intensité du signal Raman 23 ou 24 présente un plateau intermédiaire avec un gain

et une perte en signal (à l'entrée et la sortie de l'échantillon 11) quasi symétrique par rapport à un axe central respectivement 25 ou 26).

Dans le cas de la courbe 24 ($n_s$=1,53≈$n_m$=1,52) de la figure 8, on a bien Δ=Z, c'est-à-dire d=d'. On mesure en effet avec le dispositif 1 une épaisseur de l'échantillon 11 de 166 µm qui est comprise dans l'intervalle d'incertitude de la mesure l'épaisseur de 165±1 µm avec le micromètre MITUTOYO.

Dans le cas de la courbe 23 ($n_s$=1,53≠$n_m$=1,33), on a Δ≠Z, c'est-à-dire d≠d'. On mesure en effet avec le dispositif 1 une épaisseur de l'échantillon 11 de 126 µm présentant un écart d'épaisseur de 24 % par rapport à l'épaisseur 165±1 µm mesurée avec le micromètre MITUTOYO, et qui démontre bien la nécessité du facteur de correction décrit précédemment en référence à la figure 7. Dans ce cas on a bien d = 126 µm, F = 1,314 (pour NA= 1,00) et d'=F d =1,314 x 126 ≈ 165,5 µm.

Les données des figures 10 et 11 ont été acquises sur le même principe que les données des figures 8 et 9, mais en mesurant l'intensité de la bande à 521 $cm^{-1}$ typique du Silicium (au lieu de 930 $cm^{-1}$) pour différentes profondeurs nominales Δ de l'objectif 8. L'échantillon 11 de TOPAS 8007® est déposé sur une tranche de Silicium. Les mesures sont effectuées avec le plan focal de l'objectif 8 :

- directement sur la tranche de Silicium (i.e. le dispositif 1 est disposé sur la tranche de Silicium mais pas sur l'échantillon 11) en visant l'interface entre l'espace intermédiaire 12 et la tranche de silicium ; ceci correspond au graphique 27 de la figure 10 ; et
- derrière l'échantillon 11 (i.e. le dispositif 1 est disposé sur l'échantillon 11) en visant l'interface entre l'échantillon 11 et la tranche de silicium ; ceci correspond au graphique 28 de la figure 11.

A la vue des figures 10 et 11, on remarque que selon l'invention on évite ou limite les problèmes de perte de résolution en profondeur au fur et à mesure que l'on augmente la profondeur dans l'échantillon 11, cette résolution étant de 19 µm sur les deux faces opposées de l'échantillon 11 distantes de 165 µm.

L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. En particulier toutes les variantes et modes de réalisation décrits précédemment sont combinables entre eux.

REVENDICATIONS

**1.** Dispositif (1) pour objectif de microscope, comprenant :
- une lame (2),
- un réservoir (3) agencé pour contenir du liquide (4) et muni de deux extrémités opposées alignées le long d'une direction d'alignement (5), dont :
  - une extrémité ouverte (6), prévue pour l'insertion d'une extrémité distale (7) d'un objectif (8) de microscope, et
  - une extrémité fermée (9) par la lame (2),
- un dispositif d'espacement (10), situé du côté opposé de la lame (2) par rapport au réservoir (3), et agencé pour, lorsque le dispositif d'espacement (10) est placé contre une surface plane d'un échantillon (11), créer un espace intermédiaire (12) entre la lame (2) et l'échantillon (11),

**caractérisé en ce qu**'il est dénué de moyens pour créer une dépression dans l'espace intermédiaire (12).

**2.** Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la lame (2) est rigide, c'est-à-dire avec un module d'Young supérieur à 3 GPa.

**3.** Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le dispositif d'espacement (10) comprend des moyens (13) pour régler une hauteur (14), le long de la direction d'alignement (5), de ce dispositif d'espacement (10).

**4.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif d'espacement (10) est un premier dispositif d'espacement (101) et est interchangeable, et en ce que le dispositif (1) est en outre accompagné d'au moins un autre dispositif d'espacement (102) de hauteur différente de celle du premier dispositif d'espacement (101).

**5.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la lame (2) a une épaisseur (16) supérieure ou égale à 130 micromètres.

**6.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la lame (2) a une épaisseur (16) inférieure ou égale à 500 micromètres.

**7.** Procédé d'utilisation d'un dispositif (1) pour objectif de microscope, ledit dispositif (1) pour objectif de microscope comprenant :

- une lame (2),
- un réservoir (3) agencé pour contenir du liquide (4) et muni de deux extrémités opposées alignées le long d'une direction d'alignement (5), dont :
- une extrémité ouverte (6),
- une extrémité fermée (9) par la lame (2),
- un dispositif d'espacement (10), situé du côté opposé de la lame (2) par rapport au réservoir (3),

ledit procédé étant caractérisé en ce que :

- on remplit le réservoir (3) avec du liquide à immersion (4) et on insère une extrémité distale (7) d'un objectif de microscope (8) dans le réservoir (3) par l'extrémité ouverte (6) du réservoir (3), de sorte que l'extrémité distale (7) de l'objectif et la lame (2) soient reliées par le liquide (4),
- on place le dispositif d'espacement (10) contre une surface d'un échantillon (11) ou autour de l'échantillon (18) de manière à créer un espace intermédiaire (12) entre la lame (2) et l'échantillon (11, 18),
- on transporte un signal optique à travers l'objectif (8), ce transport de signal optique comprenant une acquisition du signal en provenance de l'échantillon (11, 18) via l'objectif (8) ou un acheminement du signal optique jusqu'à l'échantillon (11, 18) via l'objectif (8), de préférence avec une distance (15) entre la lame (2) et l'échantillon (11),

et étant caractérisé en ce qu'il ne comprend aucune dépressurisation dans l'espace intermédiaire (12) entre la création de l'espace intermédiaire (12) et le transport du signal.

**8.** Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il ne comprend aucune déformation de la lame (2) entre la création de l'espace intermédiaire (12) et le transport du signal.

**9.** Procédé selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que :
- il comprend un réglage d'une hauteur (14), le long de la direction d'alignement (5), du dispositif d'espacement (10), et/ou
- le dispositif d'espacement (10) est un premier dispositif d'espacement (101), et en ce que le procédé comprend un interchangement du premier dispositif d'espacement (101) avec un autre dispositif d'espacement (102) de hauteur différente de celle du premier dispositif d'espacement (101).

**10.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que l'écart de l'indice de réfraction du liquide (4), par rapport à l'indice de réfraction de la partie de l'échantillon (11, 18) dans lequel se trouve le plan focal de l'objectif (8) au moment du transport du signal, est inférieur à vingt pour cent.

**11.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que l'écart de l'indice de réfraction de la lame (2), par rapport à l'indice de réfraction de la partie de l'échantillon (11, 18) dans lequel se trouve le plan focal de l'objectif (8) au moment du transport du signal, est inférieur à vingt pour cent.

**12.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que l'indice de réfraction du liquide (4) est compris entre 1,3 et 1,7.

**13.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, caractérisé en ce que la distance (15) entre la lame (2) et l'échantillon (11, 18) est supérieure ou égale à 10 micromètres.

**14.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, caractérisé en ce que la distance (15) entre la lame (2) et l'échantillon (11, 18) est inférieure ou égale à 1 millimètre.

**15.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend une mesure d'une épaisseur (17) de l'échantillon à partir de l'acquisition du signal.

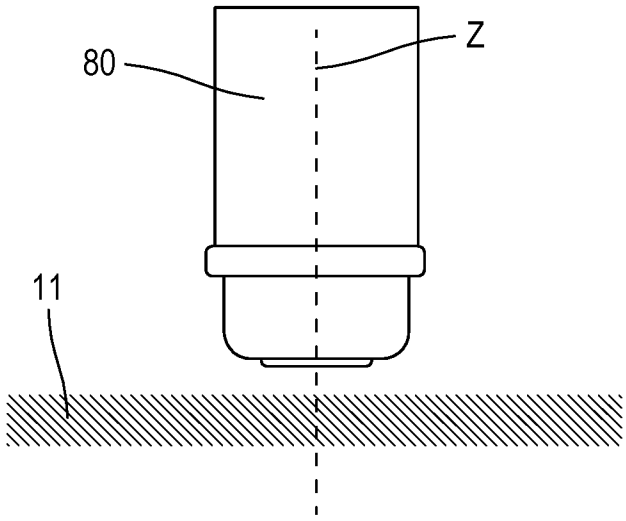



FIG. 1 Art. Antérieur

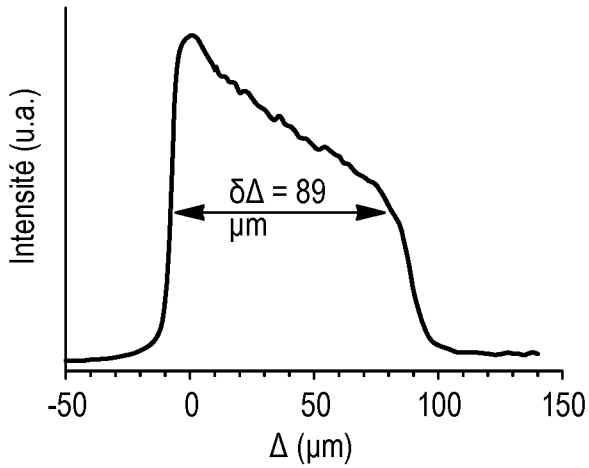



FIG. 3

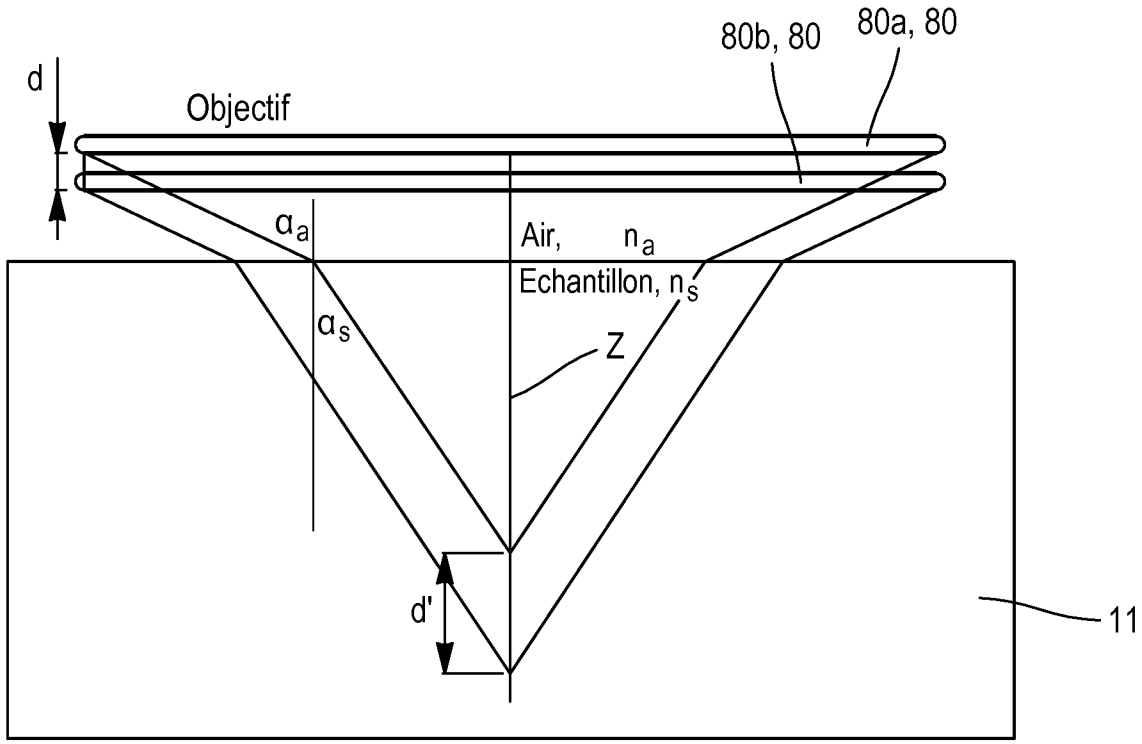



FIG. 2

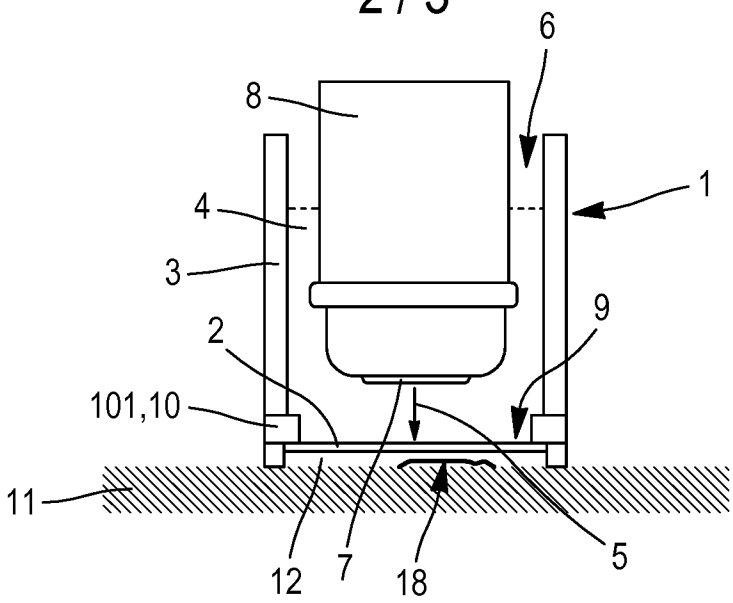



FIG. 4

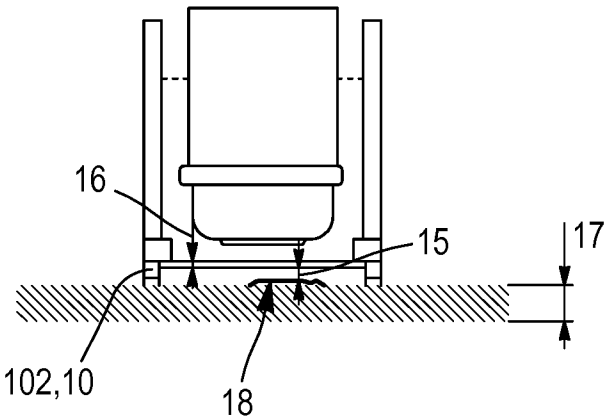



FIG. 5

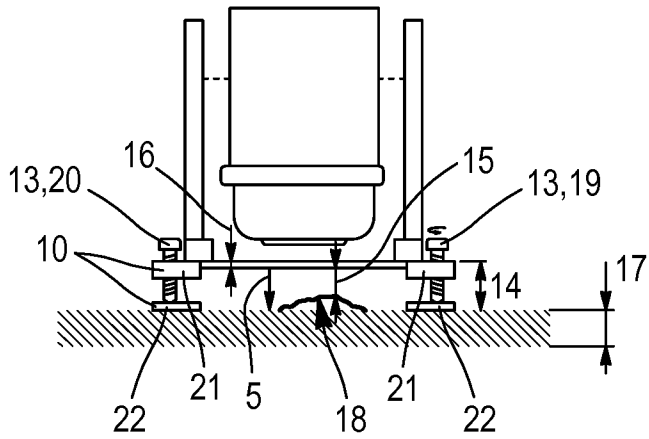



FIG. 6

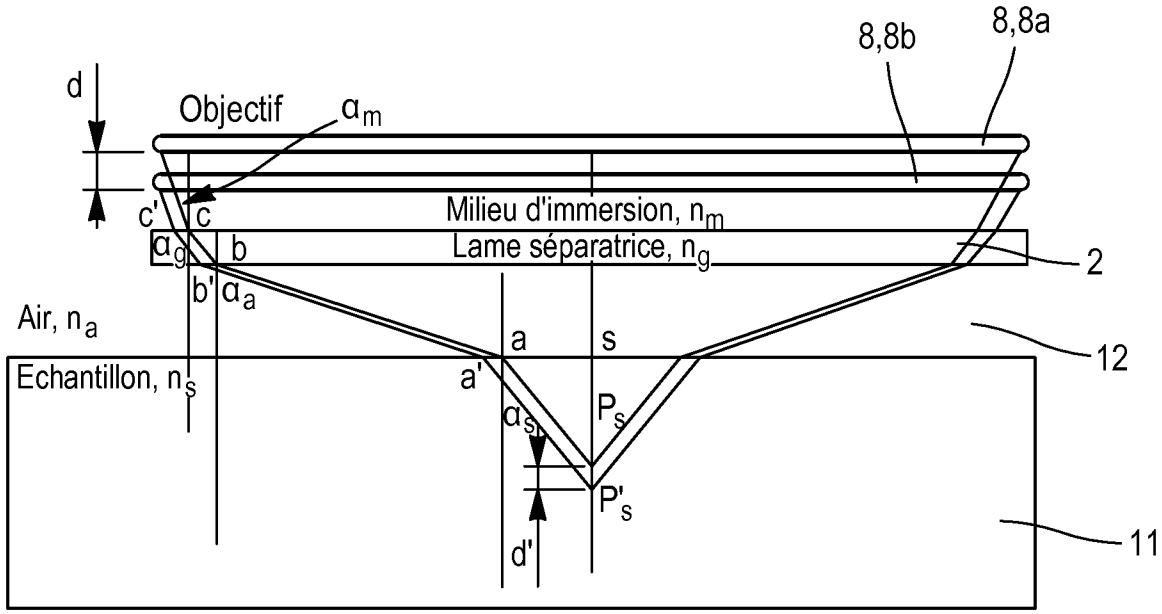



FIG. 7

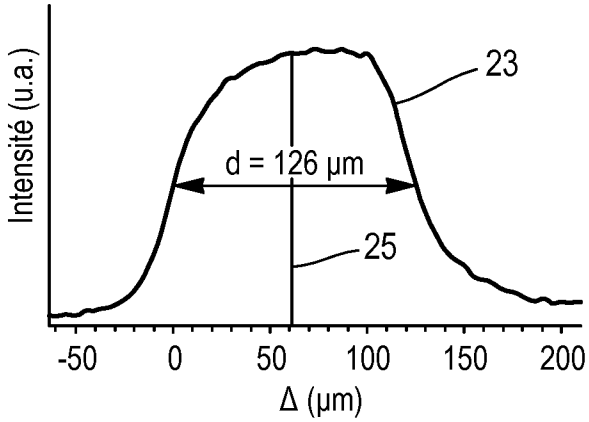



FIG. 8

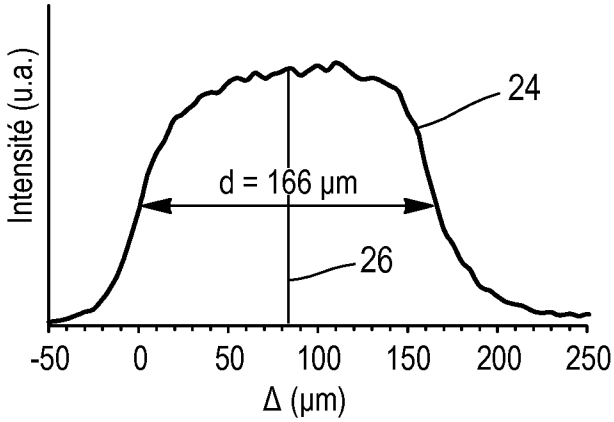



FIG. 9

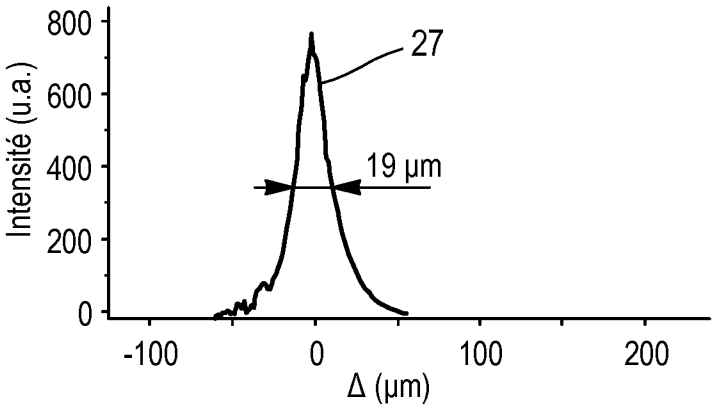



FIG. 10

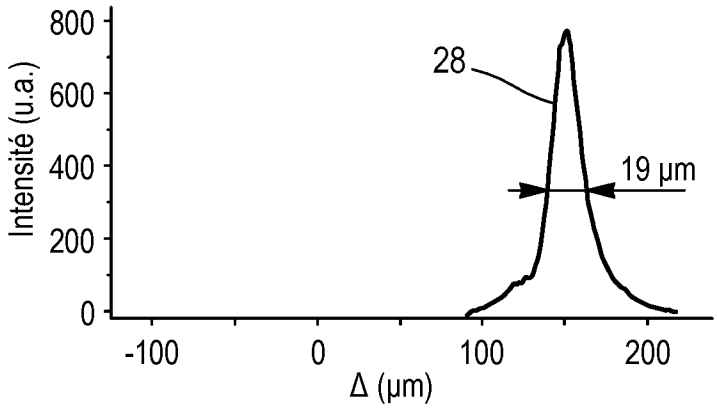



FIG. 11

| | Facteur de correction | |
|---|---|---|
| N.A. | $n_m$ = 1,333 | $n_m = n_s$ |
| 0.5 | 1,170 | 1.000 |
| 0.55 | 1,176 | 1.000 |
| 0.6 | 1,182 | 1.000 |
| 0.65 | 1,190 | 1.000 |
| 0.7 | 1,199 | 1.000 |
| 0.75 | 1,210 | 1.000 |
| 0.8 | 1,223 | 1.000 |
| 0.85 | 1,239 | 1.000 |
| 0.9 | 1,258 | 1.000 |
| 0.95 | 1,283 | 1.000 |
| 1 | 1,314 | 1.000 |
| 1.05 | 1,355 | 1.000 |
| 1.1 | 1,412 | 1.000 |
| 1.15 | 1,497 | 1.000 |
| 1.2 | 1,635 | 1.000 |
| 1.25 | 1,905 | 1.000 |
| 1.3 | 2,737 | 1.000 |
| 1.35 | -- | 1.000 |
| 1.4 | -- | 1.000 |

FIG. 12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/073165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B21/33 G02B21/34
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)
G02B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| X | US 2014/063599 A1 (NAKASHO EIJI [JP])<br>6 March 2014 (2014-03-06)<br>figure 3A | 1-15 |
| A | US 5 870 223 A (TOMIMATSU KEI [JP])<br>9 February 1999 (1999-02-09)<br>figure 2A | 1-15 |
| A | US 6 413 252 B1 (ZAVISLAN JAMES M [US])<br>2 July 2002 (2002-07-02)<br>figure 1 | 1-15 |

☐ 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 |
|---|---|
| 16 December 2015 | 23/12/2015 |

| Name and mailing address of the ISA/ | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Quertemont, Eric |

1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2015/073165

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---|---|
| US 2014063599 A1 | 06-03-2014 | JP 2014048549 A | 17-03-2014 |
| | | US 2014063599 A1 | 06-03-2014 |
| US 5870223 A | 09-02-1999 | NONE | |
| US 6413252 B1 | 02-07-2002 | AU 2786099 A | 15-09-1999 |
| | | EP 1066488 A1 | 10-01-2001 |
| | | US 6413252 B1 | 02-07-2002 |
| | | WO 9943994 A1 | 02-09-1999 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2015/073165

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G02B21/33 G02B21/34
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)
G02B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie* | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|---|---|---|
| X | US 2014/063599 A1 (NAKASHO EIJI [JP])<br>6 mars 2014 (2014-03-06)<br>figure 3A | 1-15 |
| A | US 5 870 223 A (TOMIMATSU KEI [JP])<br>9 février 1999 (1999-02-09)<br>figure 2A | 1-15 |
| A | US 6 413 252 B1 (ZAVISLAN JAMES M [US])<br>2 juillet 2002 (2002-07-02)<br>figure 1 | 1-15 |

☐ 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 | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale |
|---|---|
| 16 décembre 2015 | 23/12/2015 |

| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale | Fonctionnaire autorisé |
|---|---|
| Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Quertemont, Eric |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

**Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets**

**Demande internationale n°**
PCT/EP2015/073165

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|---|---|---|
| US 2014063599 A1 | 06-03-2014 | JP 2014048549 A | 17-03-2014 |
| | | US 2014063599 A1 | 06-03-2014 |
| US 5870223 A | 09-02-1999 | AUCUN | |
| US 6413252 B1 | 02-07-2002 | AU 2786099 A | 15-09-1999 |
| | | EP 1066488 A1 | 10-01-2001 |
| | | US 6413252 B1 | 02-07-2002 |
| | | WO 9943994 A1 | 02-09-1999 |