

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication :

3 086 748

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

18 59112

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 B 11/02** (2019.01), G 01 B 11/30, G 02 B 27/18,
G 01 J 1/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 **COMPARATEUR OPTIQUE AVEC DYNAMISATION DU POINT DE MESURE.**

②2 **Date de dépôt** : 02.10.18.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public
de la demande** : 03.04.20 Bulletin 20/14.

④5 **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention** : 13.10.23 Bulletin 23/41.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux
apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : SCIENCES ET TECHNIQUES
INDUSTRIELLES DE LA LUMIERE Société par
actions simplifiée — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : GAILLARD-GROLEAS JEROME,
GERAND SEBASTIEN et MOUSSU GABRIELLE.

⑦3 **Titulaire(s)** : SCIENCES ET TECHNIQUES
INDUSTRIELLES DE LA LUMIERE Société par
actions simplifiée.

⑦4 **Mandataire(s)** : REGIMBEAU.

FR 3 086 748 - B1



DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne de manière générale le domaine de l'inspection et du contrôle optique d'une pièce, et plus précisément la mesure d'une hauteur et/ou une orientation ponctuelle d'une surface d'un échantillon à l'aide d'un dispositif optique.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

Il existe à ce jour des dispositifs de mesure du type comparateurs optiques comprenant un capteur optique permettant de mesurer ponctuellement et sans contact la hauteur et/ou l'orientation locale d'une surface d'un échantillon. Le diamètre du faisceau lumineux au niveau de la surface de l'échantillon (généralement désigné par le terme anglais « spot ») est généralement compris entre 1.5 μm et 50 μm , selon l'objectif choisi.

Cependant, ces comparateurs optiques sont sensibles à la rugosité de la surface à contrôler, qui est susceptible d'induire un important défaut de répétabilité des mesures. Or ces comparateurs optiques sont majoritairement utilisés pour le contrôle de pièce dont la rugosité dépasse plusieurs micromètres, voire quelques dizaines de micromètres. Cependant, étant très sensibles à la rugosité, des comparateurs avec contact du type palpeur mécanique leur sont souvent préférés dans la mesure où ils sont plus fiables et leurs mesures sont plus robustes, avec des répétabilités inférieures au micromètre.

Afin d'améliorer la robustesse des mesures effectuées par les comparateurs optiques, et notamment leur sensibilité à la rugosité de la surface à inspecter ou contrôler, il a été envisagé d'élargir la taille du spot de mesure. Toutefois, lorsque le comparateur optique utilise la microscopie confocale chromatique pour la réalisation des mesures, l'augmentation de la taille du spot de mesure introduit nécessairement des aberrations optiques faussant les mesures en amplifiant la sensibilité du comparateur aux rugosités.

RESUME DE L'INVENTION

Un objectif de l'invention est donc de proposer un dispositif de mesure
5 d'une hauteur et/ou une orientation locale d'une surface d'un échantillon
utilisant la microscopie confocale chromatique, dont la sensibilité à l'état de
surface soit améliorée en comparaison avec les dispositifs de mesure optique
actuels, et qui soit capable d'obtenir des répétabilités comparables à celle
des palpeurs mécaniques de sorte à permettre d'effectuer des mesures
10 robustes et répétables, même lorsque la surface de l'échantillon à contrôler
présente une rugosité de l'ordre d'un micromètre.

Pour cela, l'invention propose un dispositif de mesure d'une hauteur
et/ou d'une orientation locale d'une surface d'un échantillon, le dispositif
15 comprenant

- un objectif de projection comportant un objectif à chromatisme axial
configuré pour appliquer un faisceau lumineux sur la surface de l'échantillon,
le faisceau lumineux présentant un axe de propagation défini,
- un capteur optique, configuré pour recevoir un faisceau lumineux
20 réfléchi par la surface de l'échantillon et mesurer une énergie totale dudit
faisceau lumineux réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration,
le dispositif de mesure étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un
système de balayage, couplé à l'objectif de projection et configuré pour
déplacer l'axe de propagation du faisceau lumineux par rapport à l'objectif de
25 projection le long d'une trajectoire prédéterminée pendant l'intervalle
d'intégration du capteur optique, de sorte que l'énergie totale mesurée par le
capteur optique corresponde à une moyenne spatiale dynamique de l'énergie
totale du faisceau lumineux réfléchi par la surface de l'échantillon le long de
la trajectoire prédéterminée.

30

Certaines caractéristiques préférées mais non limitatives du dispositif de mesure décrit ci-dessus sont les suivantes, prises individuellement ou en combinaison :

- 5 – l'objectif de projection comprend en outre un collimateur et le système de balayage est disposé entre le collimateur et l'objectif à chromatisme axial.
 - le système de balayage est intégré à l'objectif à chromatisme axial.
 - le système de balayage est configuré pour déplacer l'axe de propagation sur la surface de l'échantillon à une vitesse définie de sorte
- 10 qu'une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface de l'échantillon pendant l'intervalle d'intégration mesure entre trente micromètres et trois cent micromètres, de préférence entre cinquante micromètres et six cent micromètres.
 - la trajectoire est une boucle fermée.
- 15 – le système de balayage est configuré pour déplacer l'axe de propagation le long de la trajectoire à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz, de préférence supérieure à 50 Hz.
 - la trajectoire présente l'une des formes suivantes : une ligne, une courbe fermée, un cercle, un balayage.
- 20 – le système de balayage comprend l'un au moins des éléments suivants : une lentille à décentrement piloté, un prisme dont une face d'entrée est positionnée de sorte à présenter un angle non nul par rapport à un plan normal à l'axe de propagation du faisceau lumineux au niveau de son arrivée sur ladite face d'entrée, ledit prisme étant monté mobile en rotation autour
- 25 d'un axe qui est normal audit plan, des moyens configurés pour déplacer au moins une fibre optique reliant une source lumineuse à l'objectif de projection de sorte à créer une déviation de l'axe de propagation du faisceau lumineux en déplaçant son point source, un miroir plan, monté mobile autour d'un axe de rotation, une surface du miroir formant un angle non nul par rapport à un
- 30 plan normal à l'axe de rotation, un miroir orientable adapté pour introduire une déviation optique dans le faisceau lumineux.

Selon un deuxième aspect, l'invention propose un procédé de mesure d'une hauteur ou d'une position d'une surface d'un échantillon à l'aide d'un dispositif comme décrit ci-dessus, le procédé comprenant les étapes
5 suivantes :

- appliquer un faisceau lumineux sur la surface de l'échantillon, le faisceau lumineux présentant un axe de propagation défini à l'aide de l'objectif de projection du dispositif et
 - recevoir le faisceau lumineux réfléchi par la surface par le capteur
10 optique du dispositif et mesurer une énergie totale dudit faisceau lumineux réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration,
- le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de déplacement de l'axe de propagation du faisceau lumineux par rapport à l'objectif de projection le long d'une trajectoire prédéterminée pendant la
15 réception du faisceau lumineux réfléchi par la surface par le capteur optique, de sorte que le capteur optique effectue une moyenne spatiale dynamique de l'énergie totale du faisceau lumineux réfléchi par la surface de l'échantillon le long de la trajectoire prédéterminée.

20 Certaines caractéristiques préférées mais non limitatives du procédé de mesure décrit ci-dessus sont les suivantes, prises individuellement ou en combinaison :

- l'axe de propagation du faisceau lumineux est déplacé le long d'une trajectoire fermée.
- l'axe de propagation du faisceau lumineux est déplacé le long de la
25 trajectoire à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz, de préférence supérieure à 50 Hz.
- une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface de l'échantillon pendant l'intervalle d'intégration mesure entre trente
30 micromètres et trois cent micromètres, de préférence entre cinquante micromètres et six cent micromètres.

- la trajectoire présente l'une des formes suivantes : une ligne, une courbe fermée, un cercle, un balayage.
- le procédé comprend en outre une étape d'ajustement d'une vitesse de déplacement de l'axe de propagation.

5

Selon un troisième aspect, l'invention propose un procédé de détermination d'une rugosité d'une surface d'un échantillon à l'aide d'un le dispositif comme décrit ci-dessus, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- 10 – appliquer un faisceau lumineux sur la surface de l'échantillon, le faisceau lumineux présentant un axe de propagation défini à l'aide de l'objectif de projection du dispositif et
 - recevoir le faisceau lumineux réfléchi par la surface par le capteur optique du dispositif et mesurer une énergie totale dudit faisceau lumineux
- 15 réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de déplacement de l'axe de propagation du faisceau lumineux par rapport à l'objectif de projection le long d'une trajectoire prédéterminée pendant la
- 20 réception du faisceau lumineux réfléchi par la surface par le capteur optique, de sorte que le capteur optique mesure une rugosité de la surface de l'échantillon le long de la trajectoire prédéterminée.

Certaines caractéristiques préférées mais non limitatives du procédé de détermination d'une rugosité décrit ci-dessus sont les suivantes, prises

25 individuellement ou en combinaison :

- l'axe de propagation du faisceau lumineux est déplacé le long de la trajectoire à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz.
- une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface de l'échantillon pendant l'intervalle d'intégration mesure entre un micromètres et
- 30 vingt micromètres.

– le procédé comprend en outre une étape d'identification des extrema locaux de l'énergie totale du faisceau lumineux le long de la trajectoire prédéterminée.

5 BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et au regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

10 La figure 1 est une vue schématique d'un exemple de réalisation d'un dispositif conforme à un mode de réalisation de l'invention comprenant un « capteur point » et un système de balayage en réflexion. Plusieurs exemples de trajectoires successives ont été illustrées à la surface de l'échantillon.

15 La figure 2 est une vue schématique d'un exemple de réalisation d'un dispositif conforme à un mode de réalisation de l'invention comprenant un « capteur ligne » et un système de balayage en transmission, ainsi qu'une vue du dessus de la surface de l'échantillon sur laquelle plusieurs trajectoires simultanées ont été illustrées.

20 La figure 3 est une vue schématique d'un exemple de réalisation d'un dispositif conforme à un mode de réalisation de l'invention comprenant un « capteur multipoints » et un système de balayage en réflexion, ainsi qu'une vue du dessus de la surface de l'échantillon sur laquelle plusieurs exemples de trajectoires successives ont été illustrées.

25 La figure 4 est un organigramme illustrant les étapes d'un procédé de mesure d'une hauteur et/ou d'une orientation locale ou d'une rugosité conforme à un mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION

30 Un dispositif 1 de mesure d'une hauteur et/ou d'une orientation locale d'une surface S d'un échantillon, ou comparateur, comprend, de manière connue en soi :

- une source lumineuse 2, par exemple une diode électroluminescente blanche ou toute autre source de lumière blanche, configurée pour générer un faisceau 9 lumineux polychromatique,
- un objectif de projection comportant successivement un collimateur 3 et un objectif à chromatisme axial 4 (ou crayon optique) configuré pour focaliser le faisceau 9 lumineux généré sur la surface S de l'échantillon et recevoir le faisceau 9 lumineux réfléchi par la surface S,
- un système d'analyse spectrale 5 tel qu'un spectrographe, configuré pour déterminer une répartition spectrale du faisceau 9 lumineux réfléchi après son passage à travers l'objectif de projection,
- des moyens de traitement du signal permettant d'analyser cette répartition spectrale afin de calculer la position axiale de la surface S.

La source lumineuse 2, l'objectif de projection et le spectrographe 5 peuvent être reliés par l'intermédiaire d'au moins une fibre optique 6. De manière connue en soi, la source lumineuse 2 et le spectrographe 5 peuvent être logés dans un coffret optronique, qui peut être relié à l'objectif de projection par l'intermédiaire d'au moins une fibre optique 6 et aux moyens de traitement par un câble. Le cas échéant, l'objectif de projection 3, 4 peut également être logé dans le coffret optronique. On notera que, dans ce cas, la fibre optique 6 est optionnelle.

Le crayon optique 4 présente un chromatisme axial connu et comprend, de manière connue en soi, une série de lentilles disposées dans l'objectif de sorte que leurs axes optiques soient coaxiaux.

Dans une première forme de réalisation illustrée en figure 1, le dispositif 1 est un « capteur point ». La source lumineuse 2 étant polychromatique, le crayon optique 4 forme un ensemble d'images monochromatiques de la source (ou, plus précisément, de l'extrémité de la fibre optique 6 qui agit comme un sténopé). Ces images définissent un segment de droite d'observation dans l'espace, chaque image de la source étant définie par sa longueur d'onde et sa distance de focalisation par rapport au crayon optique 4. Ce même crayon optique 4 collecte en outre le faisceau

9 lumineux rétrodiffusé pour former, sur l'extrémité de la fibre optique 6 qui joue le rôle d'un trou de filtrage spatial, une image polychromatique commune de l'ensemble des images monochromatiques. Cette image polychromatique est composée par les longueurs d'ondes des différentes interfaces rencontrées par le faisceau 9 lumineux dans l'échantillon.

L'image polychromatique est alors transmise, via la fibre optique 6, au spectrographe 5. Le spectre qui y est mesuré montre alors un ou plusieurs pics correspondant aux interfaces rencontrées par le faisceau 9 lumineux lorsque l'on place l'échantillon à l'intérieur de l'espace couvert par le chromatisme (*i.e.* le segment de droite d'observation). Par exemple, si l'échantillon comprend une surface S opaque, il existe une seule longueur d'onde de la source lumineuse 2 pour laquelle on obtient une image nette sur la surface S. Les moyens de traitement du signal permettent alors de déduire la distance entre le crayon optique 4 et la surface S à partir de la longueur d'onde identifiée par le spectrographe 5.

Dans une deuxième forme de réalisation illustrée en figure 2, le dispositif 1 est un « capteur ligne » et permet la mesure simultanée d'un ensemble de points alignés le long d'une ligne. A la différence du capteur point, le capteur ligne comprend une série de fibres optiques 6 configurées pour guider la lumière générée par la source lumineuse 2 jusqu'à l'entrée du crayon optique 4 et, en retour, du crayon optique 4 jusqu'au spectrographe 5. Plus précisément, l'extrémité de ces fibres optiques 6 sont organisées spatialement de façon à définir un champ latéral de mesure (notamment une ligne). Les faisceaux 9 lumineux émis par chacune de ces fibres optiques 6 se propagent alors dans le crayon optique 4 via un séparateur 8 jusqu'à la surface S, où ils sont dispersés le long de l'axe optique. De manière analogue au capteur point, chaque longueur d'onde parfaitement focalisée pour chaque point du champ latéral est réfléchiée par la surface S de l'échantillon, se propage en sens inverse dans le crayon optique 4 et est guidée, via le séparateur 8 et les fibres optiques 6, jusqu'à l'entrée du spectrographe 5. Le spectrographe 5 comprend alors un photodétecteur afin de visualiser les spectres correspondant à chaque point de mesure de la ligne.

Dans une troisième forme de réalisation illustrée en figure 3, le dispositif 1 est un « capteur multipoints ». Il s'agit d'un capteur dans lequel plusieurs sources lumineuses sont disposées de façon ordonnée, mais pas nécessairement alignées comme dans le cas d'un capteur ligne. Il peut s'agir
5 par exemple de trois points en triangle, de quatre points en carré ou rectangle, de N points répartis sur un cercle, et d'une façon générale de N points répartis selon un motif géométrique. Ces points source peuvent être l'extrémité d'une fibre optique issue chacune d'un contrôleur monopoint, comme cela est représenté sur la figure 3, où les extrémités des faisceaux
10 de fibres similaires à la figure 2 dans lequel les points ne sont pas nécessairement alignés.

Les moyens de traitement du signal comportent un capteur optique 7 configuré pour mesurer une énergie totale (en J) du faisceau 9 lumineux réfléchi par la surface S de l'échantillon à travers l'objectif de projection
15 pendant un intervalle d'intégration (en s), ainsi qu'une unité de traitement, par exemple un ordinateur ou un serveur, adaptée pour exécuter le procédé qui sera décrit plus en détails ci-après. L'unité de traitement peut par exemple comprendre un calculateur de type processeur, microprocesseur,
20 microcontrôleur, etc., L'équipement comprend également des moyens de commande (écran tactile, clavier, souris, boutons, etc.).

Afin de réduire la sensibilité du dispositif 1 à la rugosité de la surface S à contrôler ou inspecter, le dispositif 1 comprend en outre un système de balayage 10 couplé à l'objectif de projection et configuré pour déplacer l'axe
25 de propagation du faisceau 9 lumineux par rapport à l'axe optique de l'objectif de projection le long d'une trajectoire 11 prédéterminée pendant l'intervalle d'intégration du capteur optique 7. Grâce au système de balayage 10, l'énergie totale mesurée par le capteur optique 7 correspond à une moyenne spatiale dynamique de l'énergie totale du faisceau 9 lumineux réfléchi par la
30 surface S de l'échantillon le long de la trajectoire 11 prédéterminée. Le dispositif 1 ne réalise donc plus une mesure ponctuelle, au cours de laquelle

le point de mesure est fixe sur la surface S pendant l'intervalle d'intégration, mais une mesure spatiale moyennée optiquement résultant du mouvement du point de mesure sur la surface S pendant l'intervalle d'intégration du capteur optique 7, équivalente à la pointe de touche d'un palpeur mécanique.

- 5 La mesure du dispositif 1 est donc fiabilisée, en agrandissant la surface S de mesure sans pour autant générer des aberrations.

On notera que le capteur optique 7 ne réalise qu'une seule mesure de l'énergie totale du faisceau 9 lumineux réfléchi par le point de mesure pendant son déplacement le long de la trajectoire 11 durant l'intervalle d'intégration (moyenne optique), et non une pluralité de mesures qui sont ensuite moyennées (moyenne des mesures individuelles). Le moyennage est donc réalisé en temps réel, ce qui permet d'utiliser le capteur à sa cadence nominale tout en obtenant des mesures moyennées. De plus, aucun traitement logiciel supplémentaire n'est nécessaire pour réaliser cette moyenne puisque celle-ci est faite optiquement, limitant ainsi la puissance de calcul nécessaire.

Le moyennage spatial dynamique réalisé par le dispositif 1 permet ainsi de moyenner la rugosité de surface S réelle de l'échantillon, quelle que soit l'ouverture numérique ou la taille du spot de mesure. En effet, lorsque le crayon optique 4 présente une faible ouverture numérique ou un gros spot de mesure, la rugosité de surface S est nécessairement amplifiée par le capteur optique 7 : l'ajout du système de balayage 10 permet ainsi de moyenner optiquement non seulement la rugosité de la surface S de l'échantillon, mais également les artéfacts introduits par le crayon optique 4 dus à la combinaison de la rugosité et des caractéristiques du crayon optique 4. Il est donc à présent possible d'utiliser des crayons optiques initialement inadaptés à la mesure de hauteur et/ou d'une orientation locale, mais présentant d'autres avantages comme une grande distance de travail, une grande étendue de mesure où une grande efficacité photométrique, afin d'effectuer des mesures de précision en s'affranchissant de leurs limitations théoriques.

Pour cela, le signal obtenu en sortie du capteur optique 7 par les moyens de traitement du signal correspond à la somme de tous les pics

intégrés pendant l'intervalle d'intégration du capteur optique 7. Le pic obtenu, ou pic moyenné, sera donc élargi selon la distribution des différentes altitudes rencontrées durant cet intervalle d'intégration, pondérées par la réflectivité des surfaces. Le barycentre du pic moyenné correspond à la valeur moyenne
5 des altitudes – et donc la mesure de hauteur et/ou d'orientation recherchée.

Le cas échéant, les moyens de traitement peuvent en outre être configurés pour déterminer les bornes du pic moyenné, et plus particulièrement ses extrema locaux (pics et creux de rugosité), sa symétrie ou encore sa forme (plutôt de type pics ou de type creux), et d'en déduire des
10 informations sur la structure de la surface S et/ou sa texture. Dans une variante de réalisation, les extrema locaux peuvent par exemple être utilisés pour déterminer la rugosité de la surface S. On pourra ainsi déterminer des paramètres standard définis par les normes en vigueur comme le « Ra » (écart moyen), ou le « Rt » (écart total), ou des paramètres de symétrie
15 comme le Rsk (asymétrie de la distribution des hauteurs) ou Rku (largeur de la distribution des hauteurs). Dans une autre variante de réalisation, la borne supérieure du pic peut être utilisée pour déterminer la position des sommets plutôt que la valeur moyenne des reliefs, et ainsi fournir une mesure de distance proche de celle fournie par un palpeur mécanique qui par nature
20 repose sur les sommets de la rugosité de surface.

De préférence afin d'éviter que l'opérateur ne perçoive le mouvement du spot de mesure et d'éviter le scintillement grâce à la résistance rétinienne, la cadence de mesure du capteur optique 7 est supérieure ou égale à 50 Hz. On notera toutefois que les mesures peuvent être effectuées à une cadence
25 inférieure sans pour autant les dégrader si cela est nécessaire, par exemple sur une surface très peu réfléchissante nécessitant un temps d'intégration plus grand. D'une façon générale une fréquence supérieure à 1 Hz pourra être utilisée.

Généralement, l'échantillon à inspecter ou à contrôler est une pièce
30 mécanique. Sa rugosité résulte donc de son procédé de fabrication et peut ainsi être orientée dans une direction particulière, par exemple sa direction d'usinage. Afin de garantir que le système de balayage 10 réalise un

moyennage spatial dynamique (moyennage optique) des reliefs de la surface S, il est donc préférable que la trajectoire 11 ne soit pas une droite parallèle à cette direction d'usinage. La direction d'usinage n'étant généralement ni visible ni connue par l'opérateur effectuant le contrôle ou l'inspection, la trajectoire 11 est donc de préférence omnidirectionnelle. Des exemples de trajectoire 11 omnidirectionnelles comprennent, de manière non limitative, une courbe fermée du type cercle, ellipse, ovale, etc. ou un balayage (c'est-à-dire un déplacement simultané ou successif du point de mesure suivant deux directions perpendiculaires à la manière d'un scanner). On notera que le choix d'une trajectoire 11 du type courbe fermée, et plus particulièrement circulaire, permet d'obtenir un moyennage spatial plus homogène, quel que soit le type de rugosité.

La distance parcourue par le spot de mesure le long de la trajectoire 11 pendant l'intervalle d'intégration du capteur optique 7 doit être suffisante pour obtenir un moyennage spatial efficace et lisser les rugosités de la surface S et dépend, notamment, de la rugosité de la surface S. En particulier, plus la rugosité de la surface S est importante, plus la vitesse de déplacement de l'axe de propagation sur la surface S doit être grande afin d'augmenter la distance parcourue par le spot de mesure sur la surface S pendant l'intervalle d'intégration. C'est pourquoi, de manière générale, la distance parcourue par le spot de mesure pendant l'intervalle d'intégration est comprise entre 30 μm et 600 μm , de préférence entre 50 μm et 400 μm . Cette distance permet ainsi d'obtenir des résultats équivalents à la surface de contact d'un palpeur mécanique.

De préférence, pendant un intervalle d'intégration du capteur optique 7, le spot de mesure n'est appliqué qu'une seule fois sur chaque zone de la surface S disposée le long de la trajectoire 11. En d'autres termes, le spot de mesure ne passe pas plusieurs fois au même endroit pendant un même intervalle d'intégration du capteur optique 7. A titre d'exemple, dans le cas d'une trajectoire 11 circulaire, le spot de mesure parcourt donc au plus le périmètre du cercle pendant l'intervalle de mesure. Dans le cas où le spot de mesure passe plusieurs fois au même endroit pendant un même intervalle

d'intégration, c'est la distance parcourue par le spot de mesure le long de la trajectoire 11 pendant l'intervalle d'intégration sans chevauchement qui est déterminante pour assurer que le moyennage spatial est suffisant. Cette distance sans chevauchement est donc de préférence comprise entre 30 μm et 600 μm , typiquement entre 50 μm et 400 μm .

Le cas échéant, la vitesse de déplacement de l'axe de propagation sur la surface S peut être programmée, lorsque le système de balayage 10 le permet. De manière optionnelle, lorsque la vitesse de déplacement de l'axe de propagation peut être programmée, le dispositif 1 peut également être utilisé afin de déterminer la rugosité de la surface S. Pour cela, la vitesse de déplacement de l'axe de propagation est choisie de sorte que la distance parcourue par le spot de mesure pendant le temps d'intégration le long de la trajectoire 11 soit faible. La distance ainsi parcourue dépend de la rugosité de la surface S à mesurer : plus la surface S est rugueuse, plus la distance parcourue peut être importante. De manière générale, la distance parcourue est de préférence inférieure à 30 μm , par exemple de l'ordre de 1 μm à 20 μm . En effet, en parcourant une telle distance, le capteur optique 7 n'effectue pas une moyenne optique, puisque pendant le temps d'intégration, l'énergie totale qui est mesurée correspond à une trajectoire 11 très courte. Ce sont donc bien les rugosités de la surface S qui sont mesurées, et non leur moyenne optique qui est réalisée.

De manière alternative ou en complément, comme indiqué plus haut, la rugosité de la surface S peut être déterminée par détermination des extrema locaux à l'aide des moyens de traitement.

25

Le système de balayage 10 peut comprendre tout moyen permettant de déplacer l'axe de propagation afin que le spot de mesure parcoure une trajectoire 11 non ponctuelle. Par exemple, le système de balayage 10 peut fonctionner en transmission et être inséré dans le dispositif 1 sans couder (ou dévier) l'axe de propagation. En variante, le système de balayage 10 peut fonctionner en réflexion en créant au moins un repli sur le trajet optique du faisceau 9 lumineux.

30

Dans un premier mode de réalisation, le système de balayage 10 est intégré dans le dispositif 1, en amont du crayon optique 4. De préférence, le système de balayage 10 est intégré entre le collimateur 3 et le crayon optique 4.

En variante, le système de balayage 10 pourrait être fixé entre la fibre optique 6 et le collimateur 3 de sorte à déplacer le point source ou encore en aval du crayon optique 4.

Par exemple, dans une première forme de réalisation, le système de balayage 10 comprend une lentille à décentrement piloté, c'est-à-dire une lentille associée à un mécanisme configuré pour la faire vibrer de sorte à décentrer son axe optique, à la manière d'un réducteur de Speckle ou d'un stabilisateur optique d'un appareil photographique. Les vibrations générées par le mécanisme décentrent alors l'axe optique du faisceau 9 lumineux sans le couder.

Cette forme de réalisation permet d'obtenir un système de balayage 10 d'encombrement réduit, permettant de conserver la trajectoire 11 initiale de l'axe optique sans la couder.

En variante, d'autres moyens permettant de piloter le décentrement d'une lentille peuvent être utilisés, typiquement des lentilles liquides ou à cristaux liquides, dont la fonction optique (focale, centrage) peut être modifiée par des commandes électriques.

Dans une deuxième forme de réalisation, le système de balayage 10 comprend un prisme dont une face d'entrée est positionnée de sorte à présenter un angle non nul par rapport à un plan normal à l'axe de propagation du faisceau 9 lumineux au niveau de son arrivée sur ladite face d'entrée. Le prisme est monté mobile en rotation autour d'un axe qui est normal à ce plan et mis en rotation par un moteur dédié 12.

Par exemple, le prisme peut comprendre un prisme de coin (également désigné par « fenêtre à coin » ou « wedge prism » en anglais), placé sur le

trajet optique du faisceau 9 lumineux, entre le collimateur 3 et le crayon optique 4. La trajectoire 11 suivie par le spot de mesure sur la surface S de l'échantillon est alors un cercle dont le rayon est fixe et dépend de l'angle entre sa face d'entrée et le plan.

5 L'angle entre la face d'entrée du prisme et le plan peut être égal à 0.5° afin d'obtenir un décalage de l'axe de propagation compris entre $25\ \mu\text{m}$ et $30\ \mu\text{m}$. La trajectoire 11 est alors un cercle dont le diamètre est compris entre $50\ \mu\text{m}$ et $60\ \mu\text{m}$.

10 Le prisme peut être mis en rotation par un moteur 12. De préférence, le moteur 12 est capable de faire tourner le prisme à une fréquence supérieure à 50 Hz, sans générer de vibrations, suivant un mouvement de rotation homogène. Par exemple, un moteur 12 à courant continu à arbre creux peut être utilisé. Un tel moteur 12 peut alors être fixé dans le dispositif 1 de projection, avec le prisme, entre le collimateur 3 et le crayon optique 4, 15 et éviter ainsi de déporter la source du mouvement du prisme. Il n'est donc pas nécessaire d'adapter le crayon optique 4, et ce système de balayage 10 peut être utilisé en combinaison avec tout type de crayon optique 4. De préférence, le dispositif est équilibré afin de réduire les vibrations qui sont susceptibles de perturber les mesures. Dans le cas où le dispositif n'est pas 20 suffisamment équilibré, la cadence de mesure est de préférence choisie élevée afin de ne pas exciter des fréquences de résonances du dispositif, de limiter les vibrations et de réduire le bruit qui pourrait être gênant pour l'opérateur.

25 Dans une troisième forme de réalisation, le système de balayage 10 comprend des moyens configurés pour déplacer la ou les fibres optiques 6 qui relie la source lumineuse 2 à l'objectif de projection de sorte à créer une déviation de l'axe de propagation du faisceau en déplaçant le point source.

30 Dans une quatrième forme de réalisation illustrée en figure 1, le système de balayage 10 comprend un miroir plan, monté mobile autour d'un axe de rotation de sorte qu'une surface S du miroir forme un angle non nul

par rapport à un plan normal à cet axe de rotation. Il s'agit donc d'un système de balayage 10 en réflexion, en imposant un mouvement asymétrique permettant de faire varier la position du faisceau 9 lumineux réfléchi par le système de balayage 10 en sortie du crayon optique 4. La trajectoire 11 et la

5 vitesse du spot de mesure sont définies par le mouvement appliqué par le miroir.

Dans cette forme de réalisation, l'objectif de projection est donc coudé. De préférence, le système de balayage 10 est placé entre le collimateur 3 et le crayon optique 4, là où le faisceau 9 optique est collimaté.

10 Par exemple, le miroir peut être placé de sorte qu'un angle entre son axe de rotation et l'axe de propagation soit égal à 45° , de sorte que le collimateur 3 et le crayon sont placés à 90° l'un par rapport à l'autre.

L'angle entre la surface S du miroir et l'axe de rotation est par exemple égal à 0.1° . La trajectoire 11 est alors un cercle dont le diamètre est de l'ordre

15 de $50 \mu\text{m}$.

Le miroir peut par exemple être incliné par rapport au plan normal à son axe de rotation en interposant une cale entre l'extrémité de l'arbre et le miroir. La différence d'épaisseur de la cale (entre son bord le plus fin et son bord le plus épais) est alors déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$20 \quad e = \varnothing_{\text{miroir}} \times \sin \left(\left(\tan^{-1} \left(\frac{\varnothing_{\text{trajectoire}}}{2 \times \text{distance focale du capteur optique}} \right) \right) \right)$$

où : e est la différence d'épaisseur de la cale

$\varnothing_{\text{miroir}}$ est le diamètre du miroir et de la cale

$\varnothing_{\text{trajectoire}}$ est le diamètre du cercle sur lequel se déplace le point de mesure sur la surface S de l'échantillon

25 Par exemple, pour une trajectoire 11 de diamètre $56 \mu\text{m}$ et une distance focale de 10 mm, la différence d'épaisseur de la cale est égale à $70 \mu\text{m}$.

Le miroir peut être mis en rotation autour de son axe de rotation par un moteur 12. Par exemple, un moteur 12 à courant continu, comprenant un

30 arbre moteur 12 dont la fréquence est supérieure ou égale à 1 Hz peut être

utilisé, par exemple de l'ordre de 100 Hz. Le miroir est fixé sur l'extrémité de l'arbre moteur 12, son axe de rotation étant alors coaxial à celui de l'arbre.

Par exemple, lorsque le capteur optique 7 présente un intervalle d'intégration de 10 ms (soit une vitesse d'acquisition de 100 Hz), la vitesse de rotation du moteur 12 peut être de 6000 tr/min, ce qui permet d'obtenir un moyennage sur un tour pour chaque temps d'intégration du capteur.

Avantageusement, l'utilisation d'un moteur 12 à courant continu autorise la modification de la vitesse de rotation du miroir, et donc la distance parcourue par le point de mesure pendant l'intervalle d'intégration du capteur optique 7. Son architecture permet en outre de facilement l'intégrer dans le dispositif 1. Enfin, son coût est modéré.

En variante, le miroir peut être mis en rotation par un moteur 12 pas à pas.

Dans une cinquième forme de réalisation, le système de balayage 10 comprend un miroir orientable adapté pour introduire une déviation optique dans le faisceau 9 lumineux. Un tel système de balayage 10 peut comprendre plusieurs actionneurs, permettant ainsi de combiner leurs mouvements afin d'obtenir une trajectoire 11 bidimensionnelle formant une courbe quelconque, qui peut être fermée ou ouverte. La réactivité de tels miroirs orientables est en outre de l'ordre de la milliseconde, avec un très faible bruit.

Les actionneurs peuvent comprendre l'un au moins des éléments du groupe suivant :

- une bobine magnétique fixée sur un substrat de référence associée à un ou plusieurs aimants collés sur la surface S inclinable (le miroir). L'application d'un courant dans la bobine permet de créer un champ magnétique qui attire ou repousse le ou les aimants et déplace angulairement ainsi la surface S optique du miroir.
- un mécanisme piézoélectrique bimorphe, comprenant deux plaques piézoélectriques munies d'électrodes, l'application d'une tension sur les électrodes dilate l'une des plaques et comprime l'autre.

- un mécanisme piézoélectrique monomorphe, comprenant une plaque piézoélectrique connectée à une électrode et un substrat de référence,
- un empilement piézoélectrique ou électrostrictif comprenant des actionneurs composés d'empilements de plaques ou de disques que l'on peut dilater ou comprimer par effet piézoélectrique ou électrostrictif en fonction de matériaux utilisés,
- un microsysteme électromécanique (MEMS) comprenant une membrane réfléchissante continue ou segmentée attachée en certains points – les actionneurs – à une membrane intermédiaire qui sert d'électrode supérieure, tandis que l'électrode inférieure est gravée dans une couche de silicium. Une tension appliquée aux bornes de ces deux électrodes crée un champ électrostatique qui déplace les membranes, et donc le miroir.

Par exemple, dans le cas d'un miroir orientable comprenant au moins un actionneur de type piézoélectrique, on peut obtenir une fréquence maximale comprise entre 1 kHz et 10 kHz selon la technologie sélectionnée et une course mécanique comprise entre 5 μm et 40 μm .

Dans un deuxième mode de réalisation, le système de balayage 10 est intégré au crayon optique 4.

Par exemple, dans une forme de réalisation, l'une des lentilles du crayon optique 4 présente un décentrement piloté. Le système de balayage 10 comprend alors un mécanisme configuré pour faire vibrer l'une des lentilles du crayon optique 4 de sorte à décentrer l'axe de propagation. Les vibrations générées par le mécanisme décentrent alors l'axe de propagation du faisceau 9 lumineux sans le couder.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Dispositif (1) de mesure confocale chromatique d'une hauteur et/ou
d'une orientation locale d'une surface (S) d'un échantillon, le dispositif (1)
comprenant
- une source lumineuse (2) configurée pour générer un faisceau (9)
lumineux polychromatique
 - un objectif (4) de projection comportant un objectif (4) à chromatisme
10 axial configuré pour appliquer un faisceau (9) lumineux sur la surface (S) de
l'échantillon, le faisceau (9) lumineux présentant un axe de propagation
défini,
 - un capteur optique, configuré pour recevoir un faisceau (9) lumineux
réfléchi par la surface (S) de l'échantillon et mesurer une énergie totale dudit
15 faisceau (9) lumineux réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration,
le dispositif (1) de mesure étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un
système de balayage (10), couplé à l'objectif (4) de projection et configuré
pour déplacer l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux par rapport à
l'objectif (4) de projection le long d'une trajectoire (11) prédéterminée pendant
20 l'intervalle d'intégration du capteur optique, de sorte que l'énergie totale
mesurée par le capteur optique corresponde à une moyenne spatiale
dynamique de l'énergie totale du faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface
(S) de l'échantillon le long de la trajectoire (11) prédéterminée.
- 25 2. Dispositif (1) selon la revendication 1, dans lequel l'objectif (4) de
projection comprend en outre un collimateur (3) et le système de balayage
(10) est disposé entre le collimateur (3) et l'objectif (4) à chromatisme axial.
- 30 3. Dispositif (1) selon la revendication 1, dans lequel le système de
balayage (10) est intégré à l'objectif (4) à chromatisme axial.

4. Dispositif (1) selon la revendication 1 comprenant en outre une fibre optique (6) configurée pour raccorder l'objectif (4) de projection à la source lumineuse (2), l'objectif (4) de projection comprenant en outre un collimateur (3) et le système de balayage (10) étant disposé entre la fibre optique (6) et le collimateur (3).

5. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le système de balayage (10) est configuré pour déplacer l'axe de propagation sur la surface (S) de l'échantillon à une vitesse définie de sorte qu'une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface (S) de l'échantillon pendant l'intervalle d'intégration mesure entre trente micromètres et six cent micromètres.

6. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la trajectoire (11) est une boucle fermée.

7. Dispositif (1) selon la revendication 6, dans lequel le système de balayage (10) est configuré pour déplacer l'axe de propagation le long de la trajectoire (11) à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz, de préférence supérieure à 50 Hz.

8. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la trajectoire (11) présente l'une des formes suivantes : une ligne, une courbe fermée, un cercle, un balayage.

9. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le système de balayage (10) comprend l'un au moins des éléments suivants :

- une lentille à décentrement piloté,
- un prisme dont une face d'entrée est positionnée de sorte à présenter un angle non nul par rapport à un plan normal à l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux au niveau de son arrivée sur ladite face d'entrée, ledit

prisme étant monté mobile en rotation autour d'un axe qui est normal audit plan,

- des moyens configurés pour déplacer au moins une fibre optique (6) reliant une source lumineuse (2) à l'objectif (4) de projection de sorte à créer
5 une déviation de l'axe de propagation du faisceau lumineux en déplaçant son point source,
- un miroir plan, monté mobile autour d'un axe de rotation, une surface (S) du miroir formant un angle non nul par rapport à un plan normal à l'axe de rotation,
- 10 – un miroir orientable adapté pour introduire une déviation optique dans le faisceau (9) lumineux.

10. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant en outre un système d'analyse spectrale (5) configuré pour déterminer une
15 répartition spectrale du faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S).

11. Procédé de mesure confocale chromatique d'une hauteur ou d'une position d'une surface (S) d'un échantillon à l'aide d'un dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 10, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- 20 – générer un faisceau (9) lumineux polychromatique
- appliquer le faisceau (9) lumineux sur la surface (S) de l'échantillon (S1), le faisceau (9) lumineux présentant un axe de propagation défini à l'aide de l'objectif (4) de projection du dispositif (1) et
- recevoir le faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S) par le
25 capteur optique du dispositif (1) (S3) et mesurer une énergie totale dudit faisceau (9) lumineux réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration (S4), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape (S2) de déplacement de l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux par rapport à l'objectif (4) de projection le long d'une trajectoire (11) prédéterminée pendant
30 la réception du faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S) par le capteur optique, de sorte que le capteur optique effectue une moyenne spatiale

dynamique de l'énergie totale du faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S) de l'échantillon le long de la trajectoire (11) prédéterminée.

5 12. Procédé selon la revendication 11, comprenant en outre une étape de définition de la hauteur ou de la position de la surface (S) à partir de la moyenne spatiale dynamique.

10 13. Procédé selon l'une des revendications 11 ou 12, dans lequel le faisceau (9) lumineux réfléchi est transmis à un spectrographe (5) configuré pour déterminer un ou plusieurs pics correspondant à des interfaces rencontrées par le faisceau (9) lumineux sur la surface (S), le procédé comprenant en outre une étape au cours de laquelle une somme des pics ainsi déterminé est réalisée pendant l'intervalle d'intégration pour obtenir un pic moyenné et une étape au cours de laquelle un barycentre du pic moyenné
15 est déterminé.

20 14. Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux est déplacé le long d'une trajectoire (11) fermée.

25 15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux est déplacé le long de la trajectoire (11) à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz, de préférence supérieure à 50 Hz.

30 16. Procédé selon l'une des revendications 11 à 15, dans lequel une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface (S) de l'échantillon pendant l'intervalle d'intégration mesure entre trente micromètres et six cent micromètres.

17. Procédé selon l'une des revendications 11 à 16, dans lequel la trajectoire (11) présente l'une des formes suivantes : une ligne, une courbe fermée, un cercle, un balayage.

5 18. Procédé selon l'une des revendications 11 à 17, comprenant en outre une étape d'ajustement d'une vitesse de déplacement de l'axe de propagation.

10 19. Procédé de détermination d'une rugosité d'une surface (S) d'un échantillon à l'aide d'un le dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 10, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- générer un faisceau (9) lumineux polychromatique
- appliquer le faisceau (9) lumineux sur la surface (S) de l'échantillon (S1), le faisceau (9) lumineux présentant un axe de propagation défini à l'aide
- 15 de l'objectif (4) de projection du dispositif (1) et
- recevoir le faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S) par le capteur optique du dispositif (1) (S3) et mesurer une énergie totale dudit faisceau (9) lumineux réfléchi reçue pendant un intervalle d'intégration (S4), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape (S2) de
- 20 déplacement de l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux par rapport à l'objectif (4) de projection le long d'une trajectoire (11) prédéterminée pendant la réception du faisceau (9) lumineux réfléchi par la surface (S) par le capteur optique, de sorte que le capteur optique mesure une rugosité de la surface (S) de l'échantillon le long de la trajectoire (11) prédéterminée.

25

20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel l'axe de propagation du faisceau (9) lumineux est déplacé le long de la trajectoire (11) à une fréquence supérieure ou égale à 1 Hz.

30 21. Procédé selon l'une des revendications 19 ou 20, dans lequel une distance parcourue par l'axe de propagation sur la surface (S) de l'échantillon

pendant l'intervalle d'intégration mesure entre un micromètres et vingt micromètres.

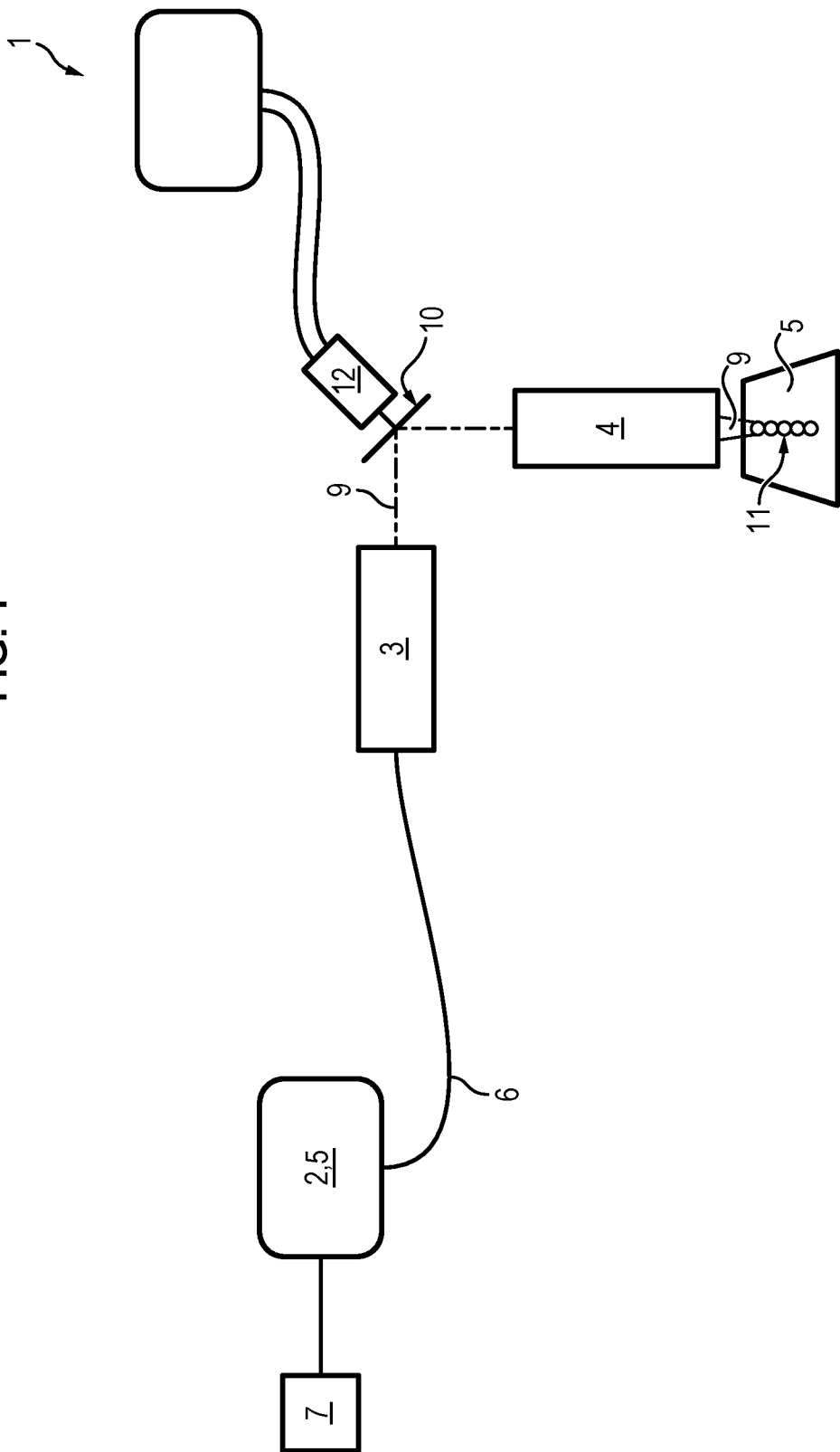
22. Procédé selon l'une des revendications 19 à 21, comprenant en
5 outre une étape d'identification des extrema locaux de l'énergie totale du faisceau lumineux le long de la trajectoire (11) prédéterminée.

23. Procédé selon la revendication 22, dans lequel le faisceau (9)
lumineux réfléchi est transmis à un spectrographe (5) configuré pour
10 déterminer un ou plusieurs pics correspondant à des interfaces rencontrées par le faisceau (9) lumineux sur la surface (S), le procédé comprenant en outre une étape au cours de laquelle les extrema sont déterminés en réalisant une somme des pics pendant l'intervalle d'intégration pour obtenir un pic moyenné et en déterminant des bornes du pic moyenné.

15

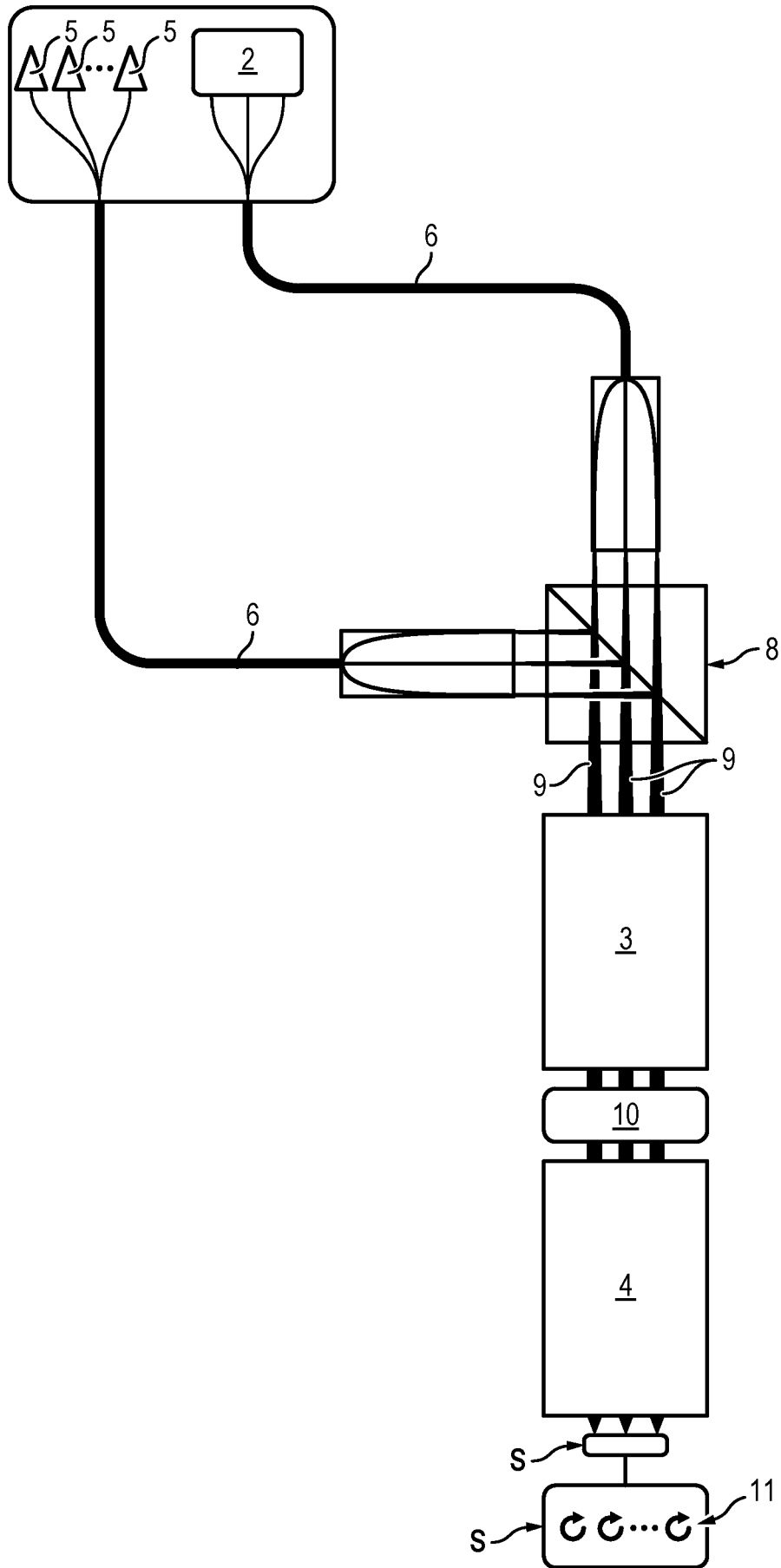
24. Procédé selon l'une des revendications 19 à 23, dans lequel le
faisceau (9) lumineux réfléchi est transmis à un spectrographe (5) configuré
pour déterminer un ou plusieurs pics correspondant à des interfaces
rencontrées par le faisceau (9) lumineux sur la surface (S), le procédé
20 comprenant en outre une étape au cours de laquelle une somme des pics ainsi déterminé est réalisée pendant l'intervalle d'intégration pour obtenir un pic moyenné et une étape au cours de laquelle une forme et/ou une symétrie du pic moyenné est déterminée.

FIG. 1



2/4

FIG. 2



3/4

FIG. 3

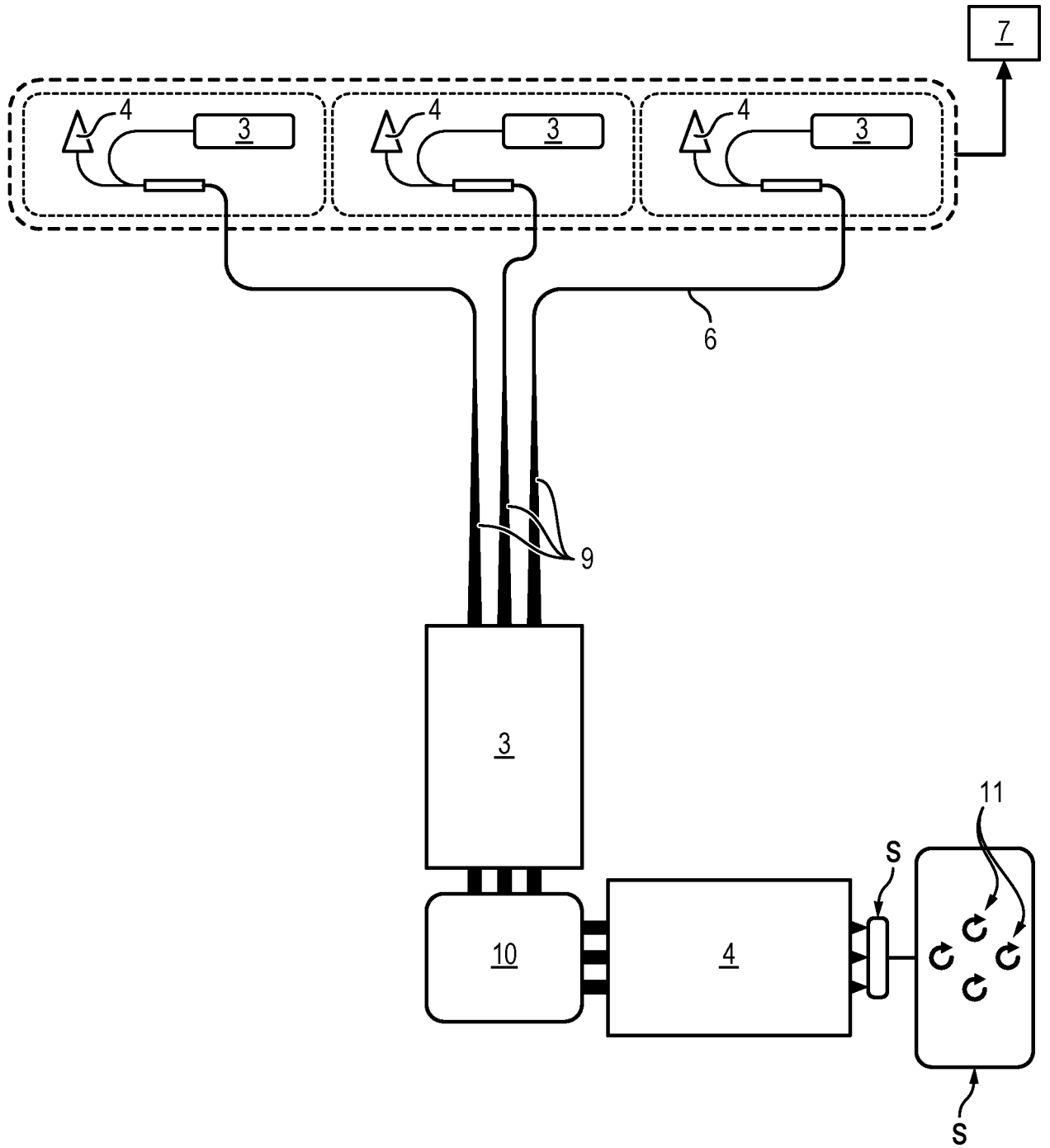
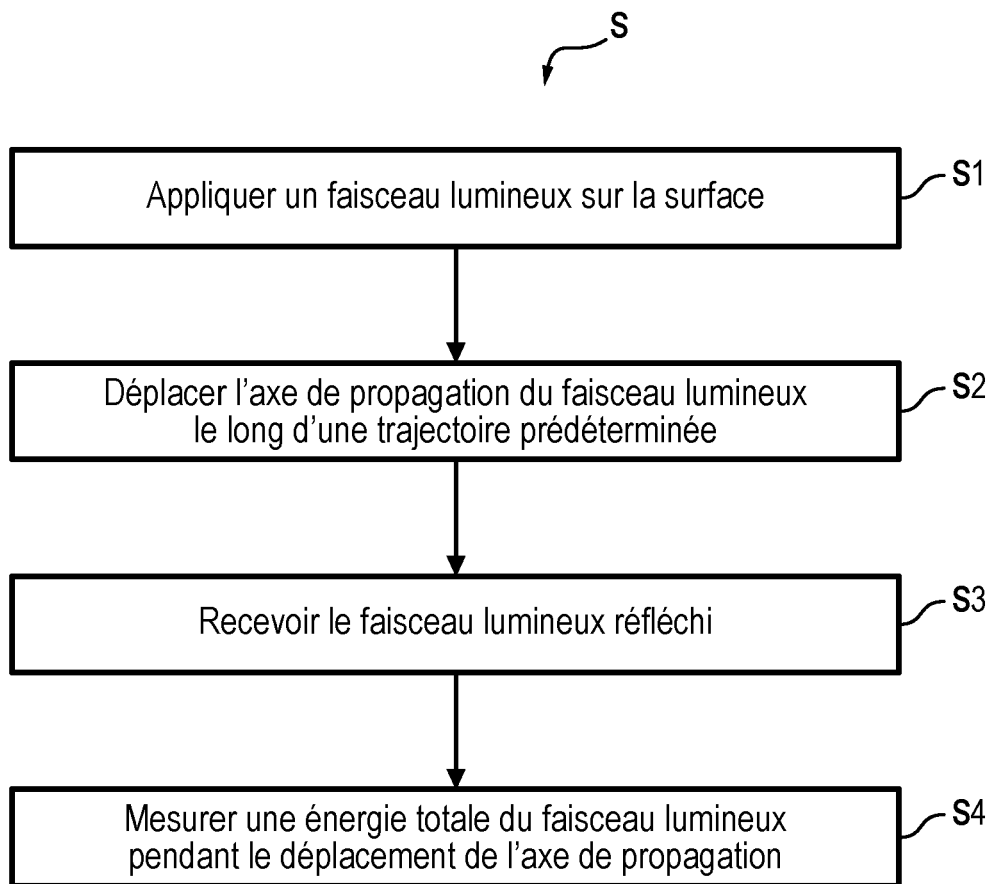


FIG. 4



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 1 505 425 A1 (CADENT LTD [IL])
9 février 2005 (2005-02-09)

US 2017/227352 A1 (MASUDA NORIHIKO [JP] ET
AL) 10 août 2017 (2017-08-10)

DE 10 2006 026775 A1 (STIFTUNG FUER
LASERTECHNOLOGIE [DE])
13 décembre 2007 (2007-12-13)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT