

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/166186 A1

(43) Date de la publication internationale
5 novembre 2015 (05.11.2015)

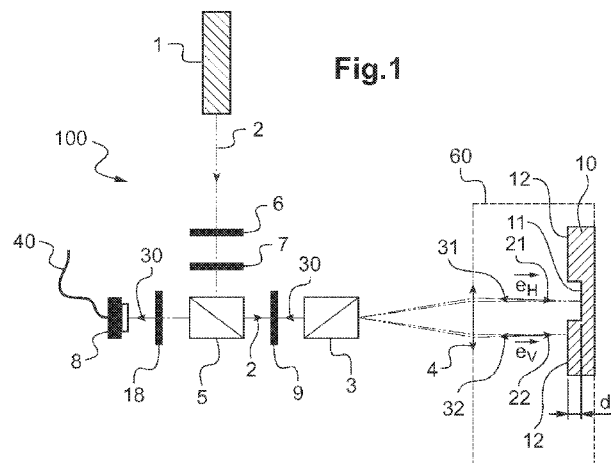
WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 21/67 (2006.01) *G01B 11/22* (2006.01)
B23K 26/36 (2014.01) *G01N 21/68* (2006.01)
G01J 3/443 (2006.01) *H01J 37/32* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/051156
- (22) Date de dépôt international :
28 avril 2015 (28.04.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1453997 30 avril 2014 (30.04.2014) FR
- (71) Déposant : HORIBA JOBIN YVON SAS [FR/FR]; 16-18 Rue du Canal, 91160 Longjumeau (FR).
- (72) Inventeurs : RICHARD, Simon; 2 avenue de Bellevue, 91120 Palaiseau (FR). GASTON, Jean-Paul; 8 impasse des Petits Douzains, 91810 Vert Le Grand (FR). ACHER, Olivier; 18 rue des Chataigniers, 91190 Gif-sur-Yvette (FR). CHAPON, Patrick; Résidence le Grimpé, 2 rue du parc à Foulon, 91140 Villebon Sur Yvette (FR).
- (74) Mandataires : CHAUVIN, Vincent et al.; Cabinet Harle et Phelip, 14-16 Rue Ballu, 75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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), eurasiatique (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).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : GLOW DISCHARGE SPECTROSCOPY METHOD AND SYSTEM FOR MEASURING IN SITU THE ETCH DEPTH OF A SAMPLE

(54) Titre : SYSTEME ET PROCÉDE DE SPECTROMÉTRIE DE DÉCHARGE LUMINESCENTE ET DE MESURE IN SITU DE LA PROFONDEUR DE GRAVURE D'UN ÉCHANTILLON



(57) Abstract : The present invention relates to a glow discharge spectroscopy system comprising a glow discharge lamp suitable for receiving a solid sample (10) and forming a glow discharge etching plasma (19). According to the invention, a system (100) for measuring *in situ* the depth of the erosion crater generated by etching of the sample (10) comprises an optical separator (3), optical means (4) suitable for directing a first incident beam (21) toward a first zone (11) of the sample, which zone is exposed to the etching plasma, and a second incident beam (22) toward a second zone (12) of the same side of the sample, which zone is protected from the etching plasma, respectively, and an optical recombining device (3) suitable for forming an interferometric beam (30) so as to determine the depth (d) of the erosion crater.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2015/166186 A1

**Publiée :**

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

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)

La présente invention concerne un système de spectrométrie de décharge lumineuse comprenant une lampe à décharge lumineuse adaptée pour recevoir un échantillon (10) solide et former un plasma (19) de gravure par décharge lumineuse. Selon l'invention, un système (100) de mesure in situ de la profondeur du cratère d'érosion généré par gravure de l'échantillon (10) comporte un séparateur optique (3) des moyens optiques (4) adaptés pour diriger, respectivement, un premier faisceau incident (21) vers une première zone (11) de l'échantillon exposée au plasma de gravure et un deuxième faisceau incident (22) vers une deuxième zone (12) de la même face de l'échantillon protégée vis-à-vis du plasma de gravure et un dispositif de recombinaison optique (3) adapté pour former un faisceau interférométrique (30) de manière à déterminer la profondeur (d) du cratère d'érosion.

SYSTEME ET PROCEDE DE SPECTROMETRIE DE DECHARGE LUMINESCENTE ET DE MESURE IN SITU DE LA PROFONDEUR DE GRAVURE D'UN ECHANTILLON

Domaine technique auquel se rapporte l'invention

5 La présente invention se rapporte aux appareils et procédés d'analyse élémentaire à décharge lumineuse (GD ou Glow Discharge en anglais), par spectrométrie d'émission optique (GD-OES) ou par spectrométrie de masse (GD-MS).

10 Plus précisément, l'invention concerne un appareil et un procédé de spectrométrie de décharge lumineuse (GDS pour Glow Discharge Spectrometry) adapté pour mesurer *in situ* la profondeur de gravure d'un échantillon exposé à ce plasma de décharge lumineuse.

L'invention s'applique en particulier à un système ou un procédé d'analyse de matériaux par spectrométrie de décharge lumineuse, cette analyse étant résolue en fonction de la profondeur de gravure dans l'échantillon.

Arrière-plan technologique

15 La spectrométrie de décharge lumineuse est une technique d'analyse qui permet d'analyser la composition chimique élémentaire et/ou moléculaire d'échantillons solides homogènes ou multicouches. La mesure peut se faire au cœur d'un échantillon ou être résolue en profondeur.

20 La spectrométrie de décharge lumineuse est couramment utilisée pour analyser la composition ou le profil de composition d'échantillons solides.

25 Le principe de la spectrométrie de décharge lumineuse consiste à exposer une zone limitée d'une face d'un échantillon à un plasma de gravure. Le plasma arrache des atomes à la surface de l'échantillon, et les place dans des états électroniques ionisés ou excités. La nature de ces atomes est déterminée par l'analyse de leur spectre d'émission dans le plasma, ou du spectre de masse des ions produits dans le plasma. Comme les atomes sont arrachés, un cratère se creuse à la surface de l'échantillon en fonction du temps d'exposition au plasma. Une analyse des signaux détectés par spectrométrie en fonction du temps d'érosion, permet ainsi d'obtenir la composition de l'échantillon résolue en fonction du temps de gravure.

30 Cependant, la vitesse de gravure varie généralement au cours du procédé de gravure. La vitesse de gravure varie notamment en fonction de la composition de la zone de l'échantillon exposée au plasma et aussi en fonction de phénomènes transitoires liés au démarrage du plasma.

35 Or, il est souhaitable d'analyser la composition en fonction de la profondeur du cratère d'érosion généré par le plasma, et pas seulement en fonction du temps pendant le plasma d'érosion.

Il existe différentes méthodes pour déterminer la profondeur du cratère d'érosion en fonction du temps.

40 La méthode la plus utilisée actuellement est basée sur une calibration de la vitesse d'érosion pour des échantillons de référence de composition connue. Cette calibration nécessite de réaliser différentes mesures sur différents échantillons de référence et suppose

des hypothèses telles que par exemple une densité connue et/ou homogène. La précision du résultat obtenu reste incertaine.

D'autres méthodes d'analyse par spectrométrie de décharge lumineuse et de détermination simultanée de la profondeur de gravure ont été proposées.

5 Le document de brevet WO 2007/113072_A1 décrit une méthode de détermination d'une variation de hauteur due à l'érosion de la surface d'un échantillon exposée à un plasma de gravure dans un appareil de GDS. La méthode décrite repose sur l'utilisation d'un capteur de déplacement confocal chromatique, qui détecte une variation de position du plan de la surface de l'échantillon par rapport à sa position initiale avant le démarrage du plasma.

10 Le document de brevet CN102829732 décrit un autre dispositif pour répondre au même problème technique, basé sur un capteur à triangulation. Dans ce cas, le capteur mesure la position d'un faisceau laser réfléchi par la surface dont on souhaite connaître la profondeur.

D'autre part, le document de brevet US6784989 ou FR 2843801 d'HORIBA Jobin Yvon décrit l'utilisation d'un interféromètre laser à deux ondes. Selon ce document, un faisceau optique est divisé en deux faisceaux secondaires, l'un des faisceaux secondaires étant réfléchi sur la surface de l'échantillon exposée au plasma de gravure, et l'autre faisceau secondaire étant réfléchi sur une surface de référence fixe, externe à l'échantillon. La recombinaison optique des deux faisceaux réfléchis forme un faisceau interférométrique, qui varie en fonction de la profondeur de gravure dans l'échantillon.

20 Cependant, toutes ces méthodes optiques de mesure sont sensibles à l'échauffement induit par le plasma de gravure qui produit une dilatation de la chambre de décharge lumineuse. Un biais peut donc être introduit, puisque l'on ne peut pas différencier l'érosion du cratère et la dilatation de la chambre plasma. Ces méthodes en détermination de la profondeur d'érosion ont donc une précision limitée et ne permettent pas en pratique
25 d'atteindre un niveau de précision inférieur au micron.

De plus les dispositifs optiques à triangulation nécessitent en général une fenêtre optique à faces planes et parallèles, parfois de grande dimension, pour laisser passer les faisceaux optiques. Cependant, un appareil de décharge lumineuse par spectrométrie d'émission optique (GD-OES) comporte généralement une chambre plasma disposant d'une
30 ouverture axiale de dimension limitée et fermée de manière étanche par une lentille destinée à collecter le flux d'émission optique et non par une fenêtre plane.

Le remplacement de la lentille de collection du flux d'émission optique par une fenêtre plane, impliquerait une réduction significative du signal d'émission optique collecté, et donc une perte de précision des mesures de spectrométrie d'émission.

35 Il existe donc un besoin pour un système et un procédé de mesure de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge lumineuse, qui soit précis et qui n'affecte pas les signaux de spectrométrie de décharge lumineuse.

Objet de l'invention

40 La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients des systèmes antérieurs et propose plus précisément un système de spectrométrie de décharge lumineuse

et de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon comprenant une lampe à décharge lumineuse adaptée pour recevoir un échantillon solide et former un plasma de gravure par décharge lumineuse, l'échantillon ayant, sur une même face, une première zone exposée au plasma de gravure et une deuxième zone protégée vis-à-vis du plasma de gravure ; un spectromètre couplé à la lampe à décharge lumineuse, le spectromètre étant adapté pour mesurer, en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma, au moins un signal représentatif du plasma de décharge lumineuse par spectrométrie d'émission optique et/ou par spectrométrie de masse dudit plasma de décharge lumineuse, et un système de mesure *in situ* de la profondeur du cratère d'érosion généré par gravure de la première zone de l'échantillon en fonction du temps d'exposition audit plasma.

Selon l'invention, la mesure de profondeur de gravure prend comme référence de profondeur nulle, à chaque instant, la seconde zone de l'échantillon non exposée au plasma. De cette façon, la mesure est rendue insensible aux dilatations de la chambre de gravure.

Selon l'invention, le système de mesure de la profondeur du cratère d'érosion comporte une source lumineuse adaptée pour émettre un faisceau lumineux ; un séparateur optique adapté pour séparer spatialement ou angulairement le faisceau lumineux en un premier faisceau incident et un deuxième faisceau incident ; la lampe à décharge lumineuse (60) étant adaptée pour fournir un premier chemin optique vers la première zone et un deuxième chemin optique vers la deuxième zone de l'échantillon ; des moyens optiques adaptés pour diriger, respectivement, le premier faisceau incident vers la première zone suivant le premier chemin optique et le deuxième faisceau incident vers la deuxième zone suivant le deuxième chemin optique, de manière à former un premier faisceau réfléchi par réflexion sur la première zone et, respectivement, un deuxième faisceau réfléchi par réflexion sur la deuxième zone, un dispositif de recombinaison optique adapté pour recombinaison le premier faisceau réfléchi et le deuxième faisceau réfléchi et pour former un faisceau interférométrique ; des moyens de détection adaptés pour recevoir le faisceau interférométrique et détecter un signal interférométrique en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma ; des moyens de traitement adaptés pour traiter le signal interférométrique de manière à déterminer la profondeur (d) du cratère d'érosion en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma, en prenant comme référence de profondeur nulle la seconde zone non exposée au plasma.

Selon un aspect particulier et avantageux de l'invention, les moyens de détection et les moyens de traitement sont adaptés pour traiter le signal interférométrique et pour en extraire une mesure de l'amplitude (A) et de la phase (PHI) du signal interférométrique en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma.

De préférence, le premier faisceau incident forme un angle d'incidence inférieur à dix degrés par rapport à la normale à la surface de la première zone de l'échantillon, et de préférence non nul et environ égal à cinq degrés.

De façon avantageuse, l'échantillon forme la cathode de la lampe à décharge et la lampe à décharge comporte une anode cylindrique ayant une première ouverture axiale

adaptée pour le passage du premier faisceau incident et du premier faisceau réfléchi, et l'anode comporte une deuxième ouverture décalée par rapport à l'axe de l'anode, la deuxième ouverture étant munie d'une fenêtre optique adaptée pour le passage du deuxième faisceau incident et du deuxième faisceau réfléchi.

5 Selon un aspect de l'invention, le séparateur optique comprend au moins un prisme séparateur de polarisation.

Préférentiellement, le séparateur optique comprend un prisme de Wollaston, le dispositif de recombinaison optique comprend un autre prisme de Wollaston, et les moyens optiques adaptés pour diriger, respectivement, le premier faisceau incident vers la première zone et le
10 deuxième faisceau incident vers la deuxième zone comprennent un système optique à lentille, lesdits prismes de Wollaston étant disposés dans le plan focal de ce système optique à lentille.

Dans un mode de réalisation particulier, le séparateur optique et le dispositif de recombinaison optique sont confondus.

Dans un mode de réalisation, le spectromètre comprend un spectromètre de masse
15 couplé à la lampe à décharge via une ouverture, le spectromètre de masse étant adapté pour mesurer au moins un signal représentatif d'espèces ionisées du plasma de décharge lumineuse par spectrométrie de masse.

Dans un autre mode de réalisation, le spectromètre comprend un spectromètre optique couplé à la lampe à décharge via une fenêtre optique ou via un système optique à lentille, le
20 spectromètre optique étant adapté pour mesurer au moins un signal d'émission optique représentatif d'espèces excitées du plasma de décharge lumineuse, de préférence dans une direction normale à la surface de la première zone de l'échantillon.

Selon un aspect particulier de ce mode de réalisation, le système de spectrométrie par
25 décharge lumineuse comporte un spectromètre optique adapté pour mesurer au moins un signal d'émission optique représentatif d'espèces excitées du plasma de décharge lumineuse, et la source lumineuse est adaptée pour émettre un faisceau lumineux à une longueur d'onde sélectionnée en dehors d'une gamme de longueur d'onde de raies atomiques d'émission optique du plasma de décharge lumineuse.

Dans une variante particulière et avantageuse, les moyens de détection comprennent
30 un polarimètre adapté pour mesurer au moins une composante polarisée du faisceau interférométrique.

De façon particulièrement avantageuse, ledit polarimètre comprenant d'autres moyens de séparation optique disposés de manière à séparer le faisceau interférométrique en une pluralité de composantes polarisées et une pluralité de détecteurs adaptés pour détecter
35 chacun respectivement une composante polarisée de la pluralité de composantes polarisées du signal interférométrique.

L'invention concerne aussi un procédé de spectrométrie de décharge lumineuse et de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon comprenant les étapes suivantes :

- mise en place d'un échantillon solide dans une lampe à décharge lumineuse, l'échantillon ayant, sur une même face, une première zone exposée à un plasma de gravure et une deuxième zone protégée vis-à-vis du plasma de gravure ;
- détection et analyse par spectrométrie d'émission optique et/ou par spectrométrie de masse d'au moins un signal représentatif d'espèces excitées et/ou ionisées du plasma de décharge lumineuse, en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma ;
- émission d'un faisceau lumineux ;
- séparation spatiale ou angulaire du faisceau lumineux en un premier faisceau incident et un deuxième faisceau incident ;
- orientation, respectivement, du premier faisceau incident vers la première zone suivant un premier chemin optique et du deuxième faisceau incident vers la deuxième zone suivant un deuxième chemin optique, de manière à former un premier faisceau réfléchi par réflexion sur la première zone et, respectivement, un deuxième faisceau réfléchi par réflexion sur la deuxième zone,
- recombinaison optique du premier faisceau réfléchi et du deuxième faisceau réfléchi et pour former un faisceau interférométrique ;
- détection du faisceau interférométrique pour former au moins un signal interférométrique en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma ; et
- traitement du au moins un signal interférométrique pour en extraire une mesure de profondeur du cratère d'érosion en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma.

Selon un aspect particulier, le procédé de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon comprend en outre les étapes suivantes :

- traitement du signal interférométrique pour en extraire une mesure de la phase (PHI) du signal interférométrique en fonction du temps d'exposition de la première zone audit plasma;
- détermination à chaque instant t d'une vitesse instantanée de gravure V_e de la première zone de l'échantillon, par application de la formule suivante :

$$V_e = \frac{LAMBDA}{4 \times \pi} \times \frac{dPHI}{dt}$$

où LAMBDA représente la longueur d'onde de la source lumineuse et $dPHI/dt$ la dérivée par rapport au temps de la phase (PHI) du signal interférométrique mesuré.

Selon un mode de réalisation particulier et avantageux, le plasma de gravure fonctionne en mode impulsif, par alternance d'une phase où le plasma est allumé et d'une autre phase où le plasma est éteint, et le procédé de mesure *in situ* de la profondeur de gravure comprend les étapes suivantes :

- la détection du au moins un signal interférométrique est déclenchée pendant les phases où le plasma est allumé et/ou respectivement pendant les phases où le

plasma est éteint, de manière à différencier un signal interférométrique associé aux phases où le plasma est allumé d'un autre signal interférométrique associé aux phases où le plasma est éteint,

- traitement du signal interférométrique associé aux phases où le plasma est allumé et/ou respectivement de l'autre signal interférométrique associé aux phases où le plasma est éteint de manière à corriger la mesure de profondeur du cratère d'érosion des dérives induites pendant les phases où le plasma est allumé et/ou respectivement pendant les phases où le plasma est éteint.

La présente invention concerne également les caractéristiques qui ressortiront au cours de la description qui va suivre et qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles.

Cette description donnée à titre d'exemple non limitatif fera mieux comprendre comment l'invention peut être réalisée en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge luminescente selon un mode de réalisation par spectrométrie d'émission optique ;

- la figure 2 représente schématiquement une vue en coupe d'une lampe à décharge luminescente adaptée selon un exemple de réalisation ;

- la figure 3 représente schématiquement un autre exemple de système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge luminescente par spectrométrie d'émission optique ;

- la figure 4 représente schématiquement un exemple de système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge luminescente à émission optique selon un autre mode de réalisation.

Dispositif

La figure 1 représente schématiquement un système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge luminescente (GDS).

On a représenté un échantillon 10 qui est situé dans une chambre de plasma d'un appareil de spectrométrie de décharge luminescente 60.

A titre d'exemple, la lentille 4 ferme hermétiquement une ouverture, par exemple axiale, dans la chambre de gravure de l'appareil de GDS.

L'échantillon présente une face dont une première zone 11 est exposée au plasma de gravure tandis qu'une autre zone 12 est protégée de ce même plasma de gravure.

Le principe de la mesure *in situ* de la profondeur de gravure repose sur l'intégration d'un appareil d'interférométrie optique. Avantagusement, les composants optiques de cet interféromètre sont disposés à l'extérieur de la chambre à plasma de la lampe à décharge.

L'interféromètre comporte essentiellement une source lumineuse, un séparateur optique de faisceau 3 qui sépare le faisceau source en deux faisceaux se propageant suivant deux chemins optiques séparés, un combineur optique de faisceau qui recombine les faisceaux

préalablement séparés, un séparateur source-détecteur 5, un détecteur 8 et un système de traitement du signal.

L'exemple de la figure 1 illustre un exemple d'interféromètre optique fonctionnant en lumière polarisée.

5 Plus précisément, le système de mesure comprend une source 1, qui est par exemple une source laser ou une diode laser. La source lumineuse 1 émet un faisceau lumineux 2, de préférence monochromatique, par exemple à une longueur d'onde de 635 nm, ou encore de 780 nm, 532 nm, 405 nm. Dans l'exemple de la figure 1, on dispose un diaphragme 6, ou trou source, pour limiter l'étendue spatiale du faisceau source 2. Une lame demi-onde (aussi
10 appelée $\lambda/2$) 7 permet de déterminer l'axe de polarisation du faisceau source.

Un séparateur source-détecteur 5, par exemple de type cube séparateur de polarisation, est disposé sur le faisceau source 2. L'orientation de l'axe de la lame demi-onde 7 par rapport aux axes du séparateur 5 permet d'ajuster la puissance du faisceau source 2. De préférence, l'axe de polarisation du polariseur 7 est orienté de manière à ce que les faisceaux incidents
15 séparés 21, 22 aient la même amplitude. Le faisceau interférométrique détecté a une intensité maximum lorsque l'amplitude des faisceaux qui se recombinent est égale.

Dans l'exemple de la figure 1, le séparateur source-détecteur 5 dirige le faisceau source 2 vers une lame $\lambda/2$ (signe de référence 9 sur la figure 1) puis vers un autre séparateur optique de faisceau 3. De façon avantageuse, la lame $\lambda/2$ est orientée de manière à ce que les
20 faisceaux incidents séparés 21, 22 aient la même amplitude. Le faisceau interférométrique détecté a un contraste interférométrique maximum lorsque l'amplitude des faisceaux qui se recombinent est égale. Le séparateur optique 3 est par exemple un cube séparateur de polarisation, dont les axes de polarisation sont inclinés à 45 degrés par rapport à l'axe du faisceau incident 2 polarisé linéairement qui a traversé la lame $\lambda/2$. A titre d'exemple, le
25 séparateur optique 3 est un prisme de Wollaston qui est adapté pour séparer angulairement le faisceau incident en deux faisceaux incidents 21, 22 polarisés linéairement suivant des états de polarisations orthogonaux entre eux. Ainsi, un premier faisceau incident 21 polarisé p- est dirigé dans une première direction et un deuxième faisceau incident 22 polarisé s- est dirigé dans une deuxième direction. Par construction du prisme Wollaston 3, la première direction et la
30 deuxième direction sont séparées angulairement d'un angle compris entre 0.1 et 20 degrés.

La lentille 4 est montée sur une ouverture de la lampe à décharge de manière à assurer l'étanchéité sous vide tout en permettant un accès optique à l'intérieur de la lampe à décharge. De préférence, le séparateur optique 3 est disposé au foyer de la lentille 4. Ainsi, la lentille 4
35 forme deux faisceaux incidents 21, 22 séparés spatialement qui se propagent parallèlement dans la lampe à décharge 60 en direction d'une face de l'échantillon.

Le faible écartement spatial des faisceaux incidents 21 et 22 permet de les coupler à la lampe à décharge via la lentille 4 déjà présente. Il n'est donc pas nécessaire de réaliser une nouvelle ouverture optique dans l'enceinte de la lampe à décharge 60 pour faire passer deux
40 faisceaux optiques séparés 21 et 22.

Dans une variante, à la place des prismes de Wollaston, on peut utiliser des séparateurs à décalage de faisceau et remplacer la lentille 4 par une fenêtre.

De préférence, l'échantillon présente une face plane qui est destinée à être exposée partiellement au plasma de gravure. La lampe à décharge 60 est adaptée pour permettre au premier faisceau incident 21 de suivre un premier chemin optique en direction d'une première zone 11 de l'échantillon, qui est destinée à être exposée au plasma. D'autre part, la lampe est spécialement adaptée pour permettre au deuxième faisceau incident 22 de suivre un deuxième chemin optique en direction d'une deuxième zone 12 de l'échantillon, qui reste cependant protégée vis-à-vis du plasma de gravure.

Ainsi, la lentille 4 focalise le premier faisceau incident 21 sur la première zone 11 de l'échantillon qui est exposée au plasma de gravure. D'autre part, la lentille 4 focalise le deuxième faisceau incident 22 sur la deuxième zone 12 de l'échantillon qui est protégée du plasma de gravure.

Un exemple de lampe à décharge spécialement adaptée pour permettre ces deux chemins optiques est décrit dans le présent document en lien avec la figure 2.

Par réflexion sur la première zone 11, le premier faisceau incident 21 forme un premier faisceau réfléchi 31. De manière analogue, par réflexion sur la deuxième zone 12, le deuxième faisceau incident 22 forme un deuxième faisceau réfléchi 32. Dans l'exemple illustré sur la figure 1, l'échantillon présente une face plane et la gravure de la première zone 11 génère un cratère à fond plat. De plus, dans cet exemple, les faisceaux incidents 21, 22 se réfléchissent sur l'échantillon sous un angle d'incidence nul. Dans ce cas, le premier faisceau réfléchi 31 se propage dans la direction opposé au premier faisceau incident 21, et, respectivement, le deuxième faisceau réfléchi 32 se propage dans la direction opposé au premier faisceau incident 22.

La lentille 4 collecte le premier faisceau réfléchi 31 et le deuxième faisceau réfléchi 32 et les dirige vers un système optique de recombinaison, qui est ici le même prisme de Wollaston 3 ayant servi à séparer le faisceau incident.

Le prisme de Wollaston recombine le premier faisceau réfléchi 31 et le deuxième faisceau réfléchi 32 pour former un faisceau interférométrique 30. Le faisceau interférométrique traverse la lame $\lambda/2$ et est incident sur le séparateur polarisant source-détecteur 5 qui envoie une composante de polarisation du faisceau interférométrique en direction d'un filtre 18 et d'un détecteur 8. Comme indiqué plus haut, l'orientation de la lame 9 est telle que la polarisation du faisceau incident 2 est à 45° des axes du prisme de Wollaston 3. Cette disposition a pour effet bénéfique que le couple constitué de la lame 9 et du séparateur 5 forme, dans le sens du retour, un analyseur de polarisation à 45° des axes du prisme de Wollaston 3, ce qui permet effectivement de générer un signal interférométrique par somme des amplitudes des faisceaux 31 et 32.

Le filtre 18 est un filtre spectral, de préférence centré sur la longueur d'onde d'émission de la source lumineuse 1. Le filtre 18 permet d'éliminer la lumière parasite provenant du plasma

ou de l'éclairage ambiant. Le filtre 18 est par exemple un filtre interférentiel centré à 635 nm d'une largeur spectrale de 10 nm.

Le détecteur 8 détecte un signal interférométrique 40 en fonction du temps. Un système de traitement permet de traiter numériquement ce signal interférométrique 40 de manière à en extraire une information sur l'amplitude et la phase du signal interférométrique.

Au cours de la gravure de la première zone 11 de l'échantillon, le premier chemin optique s'allonge, tandis que le deuxième chemin optique reste stable. La différence de chemin optique augmente donc en fonction de la gravure de la première zone 11 de l'échantillon. Ainsi, le détecteur détecte un signal interférométrique 40 dont l'intensité est représentative de la profondeur de gravure de la première zone 11 de l'échantillon. Le premier chemin optique forme le bras de mesure de l'interféromètre : il va du séparateur-combinateur de faisceau 3 à la première zone 11 de l'échantillon et revient au séparateur-combinateur de faisceau 3. Le deuxième chemin optique forme le bras de référence de l'interféromètre : il va du séparateur-combinateur de faisceau 3 à la deuxième zone 12 de l'échantillon et revient au séparateur-combinateur de faisceau 3.

De manière connue par ailleurs, dans le cas d'un échantillon opaque et homogène, l'analyse du signal interférométrique permet de déterminer la profondeur de gravure dans l'échantillon. En effet dans ce cas, le signal interférométrique présente une forme sinusoïdale en fonction du temps. Le nombre de périodes de la courbe d'intensité permet de déterminer la profondeur de gravure, connaissant la longueur d'onde du faisceau source. L'erreur de mesure interférométrique de la profondeur ainsi obtenue est de l'ordre de $\lambda/8$, où λ est la longueur d'onde du faisceau source.

Pendant la pulvérisation de l'échantillon la profondeur du cratère augmente et donc la différence de phase entre les deux ondes réfléchies 31, 32 varie en fonction du temps t .

Plus précisément, notons $\delta(t)$ le déphasage relatif entre le premier faisceau réfléchi 31 et le deuxième faisceau réfléchi 32.

$$\delta(t) = 2kd(t) + \varphi_H - \varphi_V$$

où $k=2\pi/\lambda$, $d(t)$ représente la profondeur de gravure en fonction du temps.

On exprime par les relations suivantes r_V le coefficient de réflexion sur la première zone 11 et r_H le coefficient de réflexion sur la deuxième zone 12 :

$$r_V = \rho_V \exp(i\varphi_V)$$

$$r_H = \rho_H \exp(i\varphi_H)$$

On note $I(t)$ l'intensité du faisceau interférométrique en fonction du temps, E_V l'amplitude du champ électrique relatif au faisceau incident 21 sur la première zone 11, c'est-à-dire dans le cratère, E_H l'amplitude du champ électrique relatif au faisceau incident 22 sur la deuxième zone 12. L'intensité du signal interférométrique détecté s'écrit selon la relation suivante :

$$I(t) = \frac{1}{2} (E_V^2 \rho_V^2 + E_H^2 \rho_H^2 + 2E_V E_H \rho_V \rho_H \cos(\delta(t)))$$

Si la vitesse de gravure est constante, la différence de chemin optique augmente linéairement et donc l'intensité détectée varie sinusoïdalement en fonction du temps. Dans le cas d'un matériau homogène, le résultat d'une série de mesures interférométriques en fonction du temps est alors un ensemble de points sur une courbe sinusoïdale. Pour un échantillon comportant un empilement multicouche de différents matériaux, la vitesse de gravure dépend en général de la composition de chaque couche. Si les couches sont opaques, la série de points mesurés forme par interpolation une courbe expérimentale constituée par morceaux de sinusoïdes de différentes périodes.

Pour déterminer la profondeur $d(t)$ du cratère gravé, on estime le nombre de périodes détectées depuis le début de la gravure. En effet une période complète de sinusoïde équivaut en terme de longueur à une longueur d'onde λ de la source lumineuse (par ex. le laser) utilisée. Or la différence de chemin optique entre les deux ondes est à chaque instant égal au double de la profondeur du cratère gravé. Chaque période sur la courbe d'intensité correspond donc à une profondeur gravée égale à $\lambda/2$.

Entre le début de la gravure et un instant t , si le nombre de périodes sur la courbe de mesure d'intensité $I(t)$ est égal à un nombre entier N , alors la profondeur gravée du cratère est égale à $N*\lambda/2$.

Pour un échantillon homogène, une simple estimation visuelle du nombre de périodes sur la courbe d'intensité du signal interférométrique $I(t)$ permet ainsi de déterminer la profondeur de gravure avec une précision de l'ordre de $\lambda/8$, qui correspond dans le cas du laser utilisé à environ 80 nm. Pour une meilleure précision, il est aussi possible de déterminer la fréquence de la courbe d'intensité en utilisant un fit, par exemple par une fonction sinusoïdale. Ceci permet d'obtenir une précision encore plus importante sur la profondeur de gravure.

Toutefois, dans le cas où l'échantillon comporte un empilement de couches minces et/ou transparentes, la mesure du signal d'intensité $I(t)$ du faisceau interférométrique en fonction du temps n'offre qu'une précision et une sensibilité limitées.

Généralement, la chambre à plasma d'une lampe à décharge ne présente qu'un seul accès optique permettant un chemin optique d'ordinaire limité à la première zone 11 exposée au plasma de gravure. Le document de brevet FR1250594 décrit un exemple de lampe à décharge lumineuse comportant une anode cylindrique creuse et un unique accès optique sur l'axe de l'anode.

La figure 2 représente schématiquement une vue en coupe d'une lampe à décharge adaptée spécialement à un système interférométrique selon un exemple de réalisation.

La lampe à décharge comporte une anode 15, une cathode formée par l'échantillon 10 lui-même, et une pièce électriquement isolante 16 disposée entre l'anode 15 et l'échantillon 10. L'anode 15 présente une forme générale cylindrique illustrée sur la figure 2 en coupe le long de l'axe du cylindre. La pièce électriquement isolante 16 présente aussi une forme cylindrique, et comporte une ouverture cylindrique coaxiale dans laquelle est insérée l'anode. La pièce 16

permet de positionner précisément l'anode par rapport à la cathode. L'extrémité tubulaire de l'anode 15 est ainsi positionnée à quelques dixièmes de millimètres de la surface de l'échantillon. Le gaz porteur du plasma, qui est en général un gaz rare, est injecté par l'intérieur de l'anode, et les gaz sont évacués par l'espace entre l'extrémité de l'anode et la surface de l'échantillon. Le positionnement précis de l'anode 15, de la pièce isolante 16 et de l'échantillon 10 permet de confiner le plasma dans une zone centrale tubulaire à l'intérieur de l'anode. La pièce isolante 16 est généralement en contact avec la face de l'échantillon en dehors de la zone 11 exposée au plasma de gravure de manière à protéger la face de l'échantillon en dehors de la première zone 11. La lampe à décharge permet ainsi à un plasma 19 de graver sélectivement la première zone 11 de l'échantillon qui fait face à l'extrémité tubulaire de l'anode 15.

L'ouverture axiale 41 de l'anode fournit un premier chemin optique vers une première zone 11 de l'échantillon qui est exposée au plasma 19. Par retour inverse, le premier faisceau réfléchi 31 sous incidence normale sur la première zone 11, se propage suivant le même chemin optique. Dans le cas de la spectrométrie d'émission optique, ce premier chemin optique est aussi utilisé pour collecter un faisceau d'émission optique émis par le plasma 19.

Dans l'exemple illustré sur la figure 2, la lampe à décharge est spécialement adaptée pour fournir un deuxième chemin optique vers une deuxième zone 12 de l'échantillon qui est protégée vis-à-vis du plasma 19. Plus précisément, on a formé d'une part dans l'anode 15 une ouverture 42, qui est munie d'une fenêtre optique 14 et d'autre part une ouverture 17 dans la pièce isolante 16. L'ouverture 42 et l'ouverture 17 sont alignées, par exemple suivant un axe décalé et de préférence parallèle à l'axe de l'anode 15. Ainsi, l'ouverture axiale 41 et l'ouverture hors d'axe 17 ne communiquent pas entre elles. La fenêtre 14 limite les fuites de gaz et ou du plasma en direction de la deuxième zone 12 de l'échantillon. La fenêtre 14 est par exemple une lame de verre à faces planes et parallèles.

L'ouverture 42, la fenêtre optique 14 et l'ouverture 17 permettent de diriger le deuxième faisceau incident 22 vers la deuxième zone 12 de l'échantillon.

On définit ainsi un deuxième chemin optique passant par la fenêtre optique 14 et allant jusqu'à une deuxième zone 12 de l'échantillon qui reste protégée du plasma de gravure 19. Le deuxième faisceau incident 22 peut dès lors être dirigé à travers la fenêtre 14 et l'ouverture 17 vers la deuxième zone 12 de l'échantillon, qui est séparée spatialement de la première zone 11, mais qui est située sur la même face de l'échantillon 10.

Le deuxième faisceau réfléchi 32 suit de préférence le deuxième chemin optique en sens opposé vers la fenêtre optique 14.

Ainsi, le premier faisceau et le deuxième faisceau suivent des chemins optiques séparés, tout en étant réfléchis sur une même face de l'échantillon.

Cette configuration permet de limiter les dérives du signal interférométrique dues aux dilatations de la lampe à décharge induites par l'échauffement du plasma.

La figure 3 illustre un autre exemple de système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon dans un appareil de spectrométrie de décharge lumineuse.

Le système comporte un bloc 50 qui comprend au moins une source lumineuse et au moins un détecteur situé à l'extérieur d'une lampe à décharge 60.

La lampe à décharge 60 comprend une anode cylindrique 15, de section tubulaire creuse, une pièce électriquement isolante 16 et un échantillon 10 formant la cathode de la lampe à décharge. Une lentille 4 est par exemple mise en place sur une ouverture de l'enceinte à vide de la lampe à décharge 60. De préférence, la lentille 4 est disposée sur l'axe de l'anode 15.

L'anode 15 est similaire à celle décrite en lien avec la figure 2. Cette anode 15 est de forme cylindrique et comporte une ouverture axiale formant un premier chemin optique entre chemin optique entre le bloc source-détecteur 50 et la première zone 11 de l'échantillon 10 qui est exposée au plasma de gravure.

L'anode 15 de la lampe à décharge comporte une autre ouverture, décalée par rapport à l'axe de l'anode 15, et munie d'une fenêtre optique 14. La pièce électriquement isolante 16 disposée entre l'anode 15 et l'échantillon 10 comporte un trou cylindrique, de manière à former un deuxième chemin optique entre le bloc source-détecteur 50 et la deuxième zone 12 de l'échantillon 10 qui est protégée vis-à-vis du plasma de gravure.

Dans l'exemple illustré sur la figure 3, l'échantillon est plan, et disposé dans le plan YZ d'un repère orthonormé (X, Y, Z). La normale au plan de l'échantillon est parallèle à l'axe X. On suppose que le plasma de gravure génère un cratère d'érosion à fond plat sur la première zone 11 de l'échantillon 10.

Un séparateur-combinateur de faisceau 13 est disposé sur le chemin optique du faisceau source 2 entre le bloc source-détecteur 50 et la lampe à décharge 60. Par exemple, le séparateur-combinateur de faisceau 13 est constitué d'un prisme de Wollaston. Le prisme de Wollaston 13 sépare angulairement le faisceau incident 2 en un premier faisceau incident 21 et un deuxième faisceau incident 22, par exemple d'un angle compris entre 0.1 et 10 degrés, et de préférence d'environ 1 degré.

Le séparateur-combinateur de faisceau 13 est placé à une distance L d'une lentille 4. De préférence, la distance L est égale à la distance focale de la lentille 4, de manière à ce que le séparateur-combinateur de faisceau 13 soit dans le plan focal de la lentille 4.

La lentille 4 dirige le premier faisceau incident 21 le long de l'axe de l'anode 15, parallèle à l'axe X, vers la première zone 11 de l'échantillon. Par réflexion sur cette première zone 11, un premier faisceau réfléchi 31 est renvoyé en direction de la lentille 4.

Simultanément, la lentille 4 dirige le deuxième faisceau incident 22 vers la fenêtre optique 14 et l'ouverture 17 le long du deuxième chemin optique vers la deuxième zone 12 de l'échantillon. Par réflexion sur cette deuxième zone 12, un deuxième faisceau réfléchi 32 est renvoyé en direction de la lentille 4.

Le prisme 3 étant dans le plan focal de la lentille 4, les faisceaux incidents 21 et 22 sont parallèles entre eux et parallèles à l'axe X dans la lampe à décharge 60. De même, les faisceaux réfléchis 31 et 32 sont en général parallèles entre eux et parallèles à l'axe X dans la lampe à décharge 60.

La lentille 4 focalise les premier et deuxième faisceaux réfléchis 31, 32 sur le prisme de Wollaston 13, qui les recombine en un faisceau interférométrique 30 en direction d'un détecteur dans le bloc source-détecteur 50. La disposition du prisme 13 dans le plan focal de la lentille 4 permet la recombinaison des premier et deuxième faisceaux réfléchis 31, 32 du point de vue géométrique.

La figure 4 représente schématiquement un deuxième mode de réalisation de système de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon couplé à un appareil de spectrométrie de décharge lumineuse à émission optique.

Dans ce deuxième mode de réalisation, le système de mesure de la profondeur de gravure n'est pas un simple interféromètre mais un interféromètre polarimétrique.

Sur la figure 4, les mêmes éléments que ceux de la figure 3 sont indiqués par les mêmes signes de référence.

L'appareil de la figure 4 comporte une lampe à décharge 60, un bloc source-détecteur 50 et un système optique à miroirs et/ou à lentilles disposé entre la lampe à décharge 60 et le bloc source-détecteur 50.

Dans l'exemple illustré sur la figure 4, l'échantillon 10 est plan, et disposé dans le plan YZ d'un repère orthonormé (X, Y, Z). La normale au plan de l'échantillon est parallèle à l'axe X.

Le bloc source-détecteur 50 comporte une source lumineuse 1, par exemple un laser ou une diode laser. Un isolateur optique 25 est disposé sur le faisceau source 2.

Un système optique comportant ici des miroirs plans 24 et 26 permet de diriger le faisceau source vers la lentille 4 disposée sur l'axe de la lampe à décharge 60.

De façon particulièrement avantageuse, le miroir 26 comporte une ouverture axiale permettant le passage d'un faisceau d'émission optique 71 émis par le plasma de décharge lumineuse vers un spectromètre d'émission optique 70.

Le système de la figure 4 comporte en outre un séparateur de faisceau 13 et un combineur de faisceau 23. Le séparateur de faisceau 13 est disposé sur le chemin optique du faisceau source 2. Le combineur de faisceau 23 est disposé sur le chemin optique des faisceaux réfléchis 31, 32. Par exemple, le séparateur de faisceau 13 est un prisme de Wollaston et le combineur de faisceau 23 est un autre prisme de Wollaston. L'avantage d'une configuration à deux prismes est de permettre l'utilisation de prismes de petite dimension, qui sont peu encombrants et peu coûteux.

En variante, comme illustré en lien avec la figure 3, le séparateur-combineur de faisceau peut être constitué d'un seul et même prisme, de dimension plus grande.

Le miroir 26 réfléchit le faisceau source 2 en direction du prisme séparateur 13. Avantageusement, le miroir 26 est monté sur une platine réglable en orientation autour d'un axe OZ et d'un axe à 45° des axes OX et OY. Le prisme séparateur 13 sépare angulairement le faisceau source 2 en un premier faisceau incident 21 et un deuxième faisceau incident 22. Le prisme 13 est construit de manière à ce que les faisceaux incidents 21 et 22 soient séparés angulairement dans un plan YZ d'un angle compris entre 0.1 et 20 degrés, par exemple 2 degrés. Le miroir 26 réfléchit les faisceaux incidents 21 et 22 vers la lentille 4. Dans l'exemple

illustré sur la figure 4, les faisceaux incidents 21 et 22 entre la lentille 4 et l'échantillon, sont inclinés par rapport à l'axe de la lentille 4, c'est-à-dire par rapport à la normale à la surface de l'échantillon, d'un angle compris entre 1 et 20 degrés dans le plan XY.

La lampe à décharge 60 est similaire à celle décrite en lien avec la figure 2 ou la figure 3. La lampe à décharge comporte en particulier une lentille 4 disposée sur l'axe de l'anode cylindrique creuse 15, formant un premier chemin optique vers la première zone 11 de l'échantillon 10, qui est exposée au plasma de décharge lumineuse à l'extrémité du tube anodique. L'anode comporte aussi une autre ouverture hors d'axe, par exemple dans un plan XZ, alignée sur une ouverture cylindrique dans la pièce intermédiaire 16 de manière à former un deuxième chemin optique vers la deuxième zone 12 de l'échantillon. Sur la figure 4, la deuxième zone 12 n'apparaît pas, car elle est située dans un plan transverse au plan de la figure 4.

D'une part, la lentille 4 focalise le premier faisceau incident 21 sur la première zone 11 de l'échantillon qui fait face à l'extrémité tubulaire de l'anode 15 et qui est exposée au plasma de gravure. D'autre part, la lentille 4 focalise le deuxième faisceau incident 22 sur la deuxième zone 12 de l'échantillon via le deuxième chemin optique qui passe à travers l'anode 15 par une fenêtre optique hors d'axe 14 et à travers la pièce intermédiaire 16 par une ouverture 17 hors d'axe. La deuxième zone 12 de l'échantillon est donc protégée du plasma de gravure.

Le premier faisceau incident 21 forme par réflexion sur la première zone 11 un faisceau réfléchi 31, qui est incliné symétriquement au faisceau incident par rapport à la normale à l'échantillon. De manière similaire, le deuxième faisceau incident 22 forme, par réflexion sur la deuxième zone 12, un faisceau réfléchi 32 qui est incliné symétriquement au faisceau incident par rapport à la normale à l'échantillon. Ainsi, le faisceau réfléchi 31 se propage le long d'un chemin optique séparé angulairement du faisceau incident 21. De même, le faisceau réfléchi 32 se propage le long d'un chemin optique séparé angulairement du faisceau incident 22. De plus, le premier et le deuxième faisceau réfléchi sont séparés spatialement et se propagent dans la lampe à décharge suivant des chemins optiques spatialement distincts.

La lentille 4 collecte le premier faisceau réfléchi 31 et le deuxième faisceau réfléchi 32, qui apparaissent superposés sur la figure 4, mais sont en réalité décalés dans un plan YZ. Le miroir 24 réfléchit les premier et deuxième faisceaux réfléchis 31, 32 vers un prisme combineur de faisceau 23. La lentille 4 focalise les premier et deuxième faisceaux réfléchis 31, 32 sur le combineur de faisceau 23, de manière à les superposer géométriquement.

Le combineur de faisceau 23 recombine optiquement les premier et deuxième faisceaux réfléchis 31, 32 et forme ainsi un faisceau interférométrique 30 en direction du bloc source-détecteur 50. Le bloc source-détecteur comporte un filtre 18, par exemple de type filtre interférométrique, qui permet d'éliminer l'émission parasite du plasma ou de l'éclairage ambiant.

Le système de détection de la figure 4 diffère de ceux décrits en lien avec les figures 1 et 3 en ce qu'il comporte un système de détection polarimétrique. Plus précisément, ce système de détection polarimétrique comporte un séparateur non polarisant 51, un premier

séparateur de polarisation 52 et un deuxième séparateur de polarisation 53, une lame quart d'onde 54, un rotateur de polarisation 33 et quatre détecteurs 81, 82, 83, 84. Dans un mode de réalisation alternatif, les positions des éléments 54 et 33 peuvent être interverties.

Avantageusement, le séparateur non polarisant 51 préservera au mieux l'état de polarisation du faisceau incident à la fois sur les voies transmises et réfléchies. A ce titre les séparateurs non polarisants pour laser, optimisés pour une plage de longueur d'onde étroite seront préférables aux séparateurs large bande, couvrant par exemple tout le visible.

Le rotateur de polarisation 55 associé au séparateur de polarisation 52 forme un analyseur de polarisations linéaires orientées à 45° des axes des séparateurs recombineurs 13 et 23. Le détecteur 81 détecte une composante 35 de polarisation du faisceau interférométrique 30 à $+45^\circ$ et le détecteur 82 détecte une composante 37 de polarisation du faisceau interférométrique 30 à -45° des axes de 13 et 23.

La lame quart-d'onde 54 associée au séparateur de polarisation 53 forme un analyseur de polarisations circulaires, respectivement 36 circulaire droite et 38 circulaire gauche. Le détecteur 83 détecte la composante 36 de polarisation circulaire droite du faisceau interférométrique 30 et le détecteur 84 détecte la composante 38 de polarisation circulaire gauche du faisceau interférométrique 30.

Ainsi, le système de détection de la figure 4 permet de détecter simultanément les quatre composantes de polarisation du faisceau interférométrique 30.

A partir des quatre signaux détectés par les quatre détecteurs 81, 82, 83, 84, il est possible d'en déduire le déphasage entre le faisceau réfléchi 31 par la première zone 11, c'est-à-dire dans le cratère résultant de la gravure de l'échantillon, et le faisceau réfléchi 32 par la deuxième zone 12, qui sert de référence. De même, la variation du coefficient de réflexion de la première zone, peut être calculée à partir de la mesure des deux composantes de polarisation linéaire ou des deux composantes de polarisation circulaire.

L'analyse des signaux interférométriques se base sur l'approche classique. Dans le cas où l'échantillon est constitué d'un matériau homogène et absorbant, on peut faire l'hypothèse d'un milieu semi-infini. Dans le cas où l'échantillon comporte un empilement de couches minces et/ou transparentes à la longueur d'onde de mesure, l'analyse se fonde sur des calculs numériques de simulation et de minimisation d'une fonction d'erreur.

Un système de mesure tel qu'illustré sur la figure 4 fournit quatre mesures simultanées en fonction du temps. L'ensemble des mesures des quatre détecteurs fournit par interpolation quatre courbes qui peuvent être analysées soit en temps réel, pour un échantillon homogène, soit après l'acquisition de toutes les mesures, pour un échantillon comportant un empilement de couches. Connaissant les coefficients de réfraction et d'absorption optique d'un matériau à la longueur d'onde de mesure, il est possible de modéliser l'intensité et la phase du faisceau interférométrique en fonction de la vitesse de gravure et du temps. En intégrant la vitesse de gravure, on obtient la profondeur de gravure dans l'échantillon en fonction du temps t .

L'analyse de ces courbes permet d'en déduire une mesure de la vitesse de gravure dans un matériau ou une couche. L'apparition d'une discontinuité sur une courbe permet de

détecter la gravure d'une interface entre deux couches ou deux matériaux différents dans un échantillon.

Plus précisément, on note I_{L1} l'intensité de la composante linéaire du faisceau interférométrique selon une direction à 45 degrés par rapport à la polarisation linéaire H du champ incident sur la première zone 11 et par rapport à la polarisation linéaire V du champ incident sur la deuxième zone 12. Le détecteur 81 mesure l'intensité du faisceau 35, c'est-à-dire I_{L1} .

On note I_{L2} l'intensité de la composante linéaire du faisceau interférométrique selon une direction de -45 degrés par rapport à la polarisation linéaire H du champ incident sur la première zone 11 et par rapport à la polarisation linéaire V du champ incident sur la deuxième zone 12. Le détecteur 82 mesure l'intensité du faisceau 37, c'est-à-dire I_{L2} .

On note I_{C1} l'intensité de la composante circulaire droite du faisceau interférométrique. Le détecteur 83 mesure l'intensité du faisceau 36, c'est-à-dire I_{C1} .

On note I_{C2} l'intensité de la composante circulaire gauche du faisceau interférométrique. Le détecteur 84 mesure l'intensité du faisceau 38, c'est-à-dire I_{C2} .

On calcule la différence d'intensité normalisée L entre les intensités détectées sur les voies linéaires :

$$L = \frac{I_{L1} - I_{L2}}{I_{L1} + I_{L2}} = \frac{2E_V E_H \rho_V \rho_H \cos(\delta)}{E_V^2 \rho_V^2 + E_H^2 \rho_H^2}$$

De même, on calcule la différence d'intensité normalisée C entre les intensités détectées sur les voies circulaires :

$$C = \frac{I_{C1} - I_{C2}}{I_{C1} + I_{C2}} = \frac{2E_V E_H \rho_V \rho_H \sin(\delta)}{E_V^2 \rho_V^2 + E_H^2 \rho_H^2}$$

On montre que la différence de phase entre les ondes réfléchies 31 et 32 s'écrit :

$$\delta(t) = \arctan\left(\frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{C2} + I_{C1}} \cdot \frac{I_{L1} + I_{L2}}{I_{L1} - I_{L2}}\right)$$

La variation de la réflectivité R(t) du cratère au cours du temps peut être également déduite à partir de la mesure des deux composante linéaires I_{L1} et I_{L2} (ou en variante à partir des deux composantes circulaires I_{C1} et I_{C2}) en connaissant l'intensité des deux voies choisies à $t = 0$ s'exprime suivant la relation :

$$R(t) \propto I_{L1}(t) + I_{L2}(t) - \left(\frac{I_{L1}(0) + I_{L2}(0)}{2}\right)$$

Alternativement, on peut définir l'angle ψ tel $\tan(\psi) = \rho_H / \rho_V$. On peut alors déduire les variations de réflectivité ρ_H / ρ_V à partir des mesures par la relation $\sin^2(2\psi) = C^2 + L^2$.

Couches épaisses et opaques

Dans le cas d'un échantillon ou d'une couche de matériau opaque, la profondeur $d(t)$ du cratère gravé est obtenue à partir de la variation de la phase en fonction du temps par rapport à la valeur initiale :

$$d(t) = \frac{\lambda}{4\pi} [\delta(t) - \delta(0)] = \frac{\lambda}{4\pi} \left[\arctan\left(\frac{C(t)}{L(t)}\right) - \arctan\left(\frac{C(0)}{L(0)}\right) \right]$$

5

Ainsi, la mesure des intensités des quatre composantes de polarisation permet de déduire directement la profondeur $d(t)$ du cratère en fonction du temps d'exposition au plasma de gravure.

La pente locale de $d(t)$ indique la vitesse de gravure instantanée.

10

La réflectivité est liée à l'indice de la surface de l'échantillon.

Le deuxième mode de réalisation a l'avantage de permettre d'accéder directement à la différence de phase entre les deux ondes sans avoir besoin d'un fit sinusoidal, en général très peu précis lorsque la profondeur de gravure $d(t)$ est inférieure à une période.

Couches minces ou transparentes

15

Si l'échantillon comporte un empilement de couches d'un matériau transparent, tel que la silice ou de couches absorbantes mais peu épaisses, comme dans le cas des disques durs, il n'existe pas de relation simple entre profondeur gravée et différence de phase. En effet les faisceaux réfléchis sur l'échantillon subissent des réflexions multiples aux interfaces entre les différentes couches. Le faisceau interférométrique détecté est la résultante de la superposition de toutes ces réflexions. Le faisceau interférométrique détecté est modulé en phase et en intensité au cours de la gravure.

20

En présence de couches transparentes ou très fines, l'estimation de la profondeur s'appuie alors sur un modèle numérique de l'échantillon construit à partir de la connaissance des matériaux constituant les différentes couches. Ce modèle prend en compte les réflexions multiples des faisceaux laser aux niveaux de l'échantillon et permet de calculer la phase et la réflectivité des ondes réfléchies à chaque instant de la gravure.

25

La phase et la réflectivité de l'onde réfléchie sont calculées en considérant la propagation de l'onde dans l'échantillon, qui peut être décrite par un formalisme de matrices (voir par exemple P. Yeh, *Optical waves in layered media*, 1988, Wiley).

30

L'analyse de la gravure d'un échantillon repose ensuite sur des calculs de simulation du modèle numérique, sur une comparaison avec les mesures d'intensité des différentes composantes de polarisation en fonction du temps et d'une minimisation de l'écart entre les calculs de simulation et les mesures. Par exemple, la minimisation peut être utilisée sur une régression des moindres carrés utilisant comme paramètre ajustable la vitesse de gravure de chaque couche, pour permettre d'estimer par approximations successives les valeurs qui donnent les courbes de phase et réflectivité qui s'adaptent le mieux à celles expérimentales. La régression aux moindres carrés peut se faire en minimisant l'écart entre les courbes théorique et expérimentale soit de la phase seule, soit de la réflectivité seule, soit de la phase et de la réflectivité au même temps. Il est possible aussi de choisir des minimisations différentes pour

35

chaque couche. Le choix entre ces différentes variantes dépend en général de la structure de l'échantillon analysé et des caractéristiques des couches analysées.

Un écart entre les calculs et les mesures permet de raffiner le modèle numérique et de déceler par exemple la présence de couches intermédiaires, qui présentent un gradient d'indice entre deux matériaux superposés.

On a comparé les résultats de mesures interférométriques ainsi obtenues et des résultats de mesures ellipsométriques prises sur les mêmes échantillons. Les épaisseurs obtenues par interférométrie polarimétrique (dispositif selon le deuxième mode de réalisation) et par ellipsométrie sont très proches, l'écart entre les mesures par interférométrie polarimétrique (sous incidence quasi-normale) et par ellipsométrie étant en général inférieures à 5%.

Le système de mesure interférométrique, de préférence polarimétrique permet ainsi de mesurer la profondeur de gravure $d(t)$ dans un échantillon en fonction de la durée d'exposition au plasma de gravure. On peut ainsi évaluer la vitesse de gravure de chaque échantillon, et plus précisément la vitesse de gravure de chaque couche d'un échantillon formé d'un empilement de couches.

Il devient ainsi possible de corriger les mesures de spectrométrie d'émission détectées en fonction du temps t de gravure, pour les analyser et les représenter en fonction de la profondeur de gravure dans l'échantillon.

De façon avantageuse, la mesure de profondeur de gravure détaillée ci-dessus s'applique à un plasma fonctionnant en mode impulsif ou pulsé. Le mode pulsé est utilisé couramment pour éviter de chauffer excessivement un échantillon fragile, comprenant par exemple un matériau ou une couche de polymère. En mode pulsé, le plasma est alternativement allumé (on) puis éteint (off) avec une fréquence et un rapport cyclique prédéterminés. L'érosion ne se produit que pendant la phase où le plasma est allumé (on).

Deux modes de réalisation sont envisagés ici plus particulièrement pour améliorer la précision de mesure de profondeur de gravure.

Dans un premier cas, des sources permanentes de perturbation peuvent être à l'origine de dérives des signaux pendant les phases de plasma on et off. Dans ce cas, on mesure la dérive résiduelle du signal interférométrique dans les phases de plasma off, où il n'y a pas de gravure, et où l'on mesure donc uniquement une dérive du signal. On peut ainsi corriger ces dérives en les interpolant dans les phases de plasma on.

Dans un autre cas, des sources intermittentes de perturbation sont à l'origine de dérives résiduelles spécifiques uniquement pendant la phase de plasma allumé, par exemple des dérives induites thermiquement par le plasma. Dans ce cas, on mesure le signal interférométrique uniquement pendant les phases de plasma off, où il n'y a pas de dérive du signal. On utilise ces mesures de signal interférométrique pendant les phases plasma off pour en déduire, par exemple par interpolation, la profondeur de gravure en fonction du temps.

Le choix de l'une ou l'autre des méthodes exposées ci-dessus dépend de l'amplitude relative des dérives permanentes et intermittentes.

Le système de l'invention permet ainsi de fournir des mesures par spectrométrie de décharge luminescente en fonction d'une mesure fiable de la profondeur de gravure $d(t)$ dans un échantillon, et non pas seulement en fonction du temps.

5 L'acquisition des signaux interférométriques est effectuée *in situ* et simultanément avec l'acquisition des mesures par spectrométrie d'émission ou spectrométrie de masse. Le système de mesure illustré en lien avec la figure 4 permet de déterminer précisément la profondeur de gravure dans un échantillon ou dans les couches d'un échantillon en fonction du temps d'exposition au plasma de gravure.

10 La combinaison de la spectrométrie d'émission optique (ou de masse) et de la mesure interférométrique permet de rapporter l'analyse de la composition élémentaire d'un échantillon à la profondeur de gravure dans cet échantillon de manière extrêmement précise.

Le système de mesure interférométrique de l'invention est peu sensible au bruit mécanique, par exemple des dispositifs de pompe à vide et peu sensible aux dérives thermiques induites par l'échauffement du au plasma d'ablation.

15

REVENDICATIONS

1. Système de spectrométrie de décharge lumineuse et de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon comprenant :

- 5
- une lampe à décharge lumineuse (60) adaptée pour recevoir un échantillon (10) solide et former un plasma (19) de gravure par décharge lumineuse, l'échantillon (10) ayant, sur une même face, une première zone (11) exposée au plasma de gravure et une deuxième zone (12) protégée vis-à-vis du plasma de gravure ;

10

 - un spectromètre couplé à la lampe à décharge lumineuse (60), le spectromètre étant adapté pour mesurer, en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma, au moins un signal représentatif du plasma de décharge lumineuse (19) par spectrométrie d'émission optique et/ou par spectrométrie de masse ;

15

 - un système (100) de mesure *in situ* de la profondeur du cratère d'érosion généré par gravure de la première zone (11) de l'échantillon (10) en fonction du temps d'exposition audit plasma ;

caractérisé en ce que le système (100) de mesure de la profondeur du cratère d'érosion comporte :

- 20
- une source lumineuse (1) adaptée pour émettre un faisceau lumineux (2) ;
 - un séparateur optique (3, 13, 23) adapté pour séparer spatialement ou angulairement le faisceau lumineux (2) en un premier faisceau incident (21) et un deuxième faisceau incident (22) ;
 - la lampe à décharge lumineuse (60) étant adaptée pour fournir un premier

25

 - chemin optique vers la première zone (11) et un deuxième chemin optique vers la deuxième zone (12) de l'échantillon,
 - des moyens optiques (4, 14, 24) adaptés pour diriger, respectivement, le premier faisceau incident (21) vers la première zone (11) suivant le premier chemin optique et le deuxième faisceau incident (22) vers la deuxième zone (12) suivant le

30

 - deuxième chemin optique, de manière à former un premier faisceau réfléchi (31) par réflexion sur la première zone (11) et, respectivement, un deuxième faisceau réfléchi (32) par réflexion sur la deuxième zone (12),
 - un dispositif de recombinaison optique (3, 13, 23) adapté pour recombinaison le premier faisceau réfléchi (31) et le deuxième faisceau réfléchi (32) et pour former un faisceau

35

 - interférométrique (30) ;
 - des moyens de détection (8, 81, 82, 83, 84) adaptés pour recevoir le faisceau interférométrique (30) et détecter un signal interférométrique (40) en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma ;

- des moyens de traitement adaptés pour traiter le signal interférométrique (40) de manière à déterminer la profondeur (d) du cratère d'érosion en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma.

- 5
2. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon la revendication 1 dans lequel les moyens de détection (8, 81, 82, 83, 84) et les moyens de traitement sont adaptés pour traiter le signal interférométrique (40) et pour en extraire une mesure de l'amplitude (A) et de la phase (PHI) du signal interférométrique (40) en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma.
- 10
3. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon la revendication 1 ou 2 dans lequel le premier faisceau incident (21) forme un angle d'incidence inférieur à dix degrés par rapport à la normale à la surface de la première zone (11) de l'échantillon, et de préférence non nul et environ égal à cinq degrés.
- 15
4. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel l'échantillon (10) forme la cathode de la lampe à décharge et dans lequel la lampe à décharge comporte une anode (15) cylindrique ayant une première ouverture axiale (41) adaptée pour le passage du premier faisceau incident (21) et du premier faisceau réfléchi (31), et dans lequel l'anode (15) comporte une deuxième ouverture (42) décalée par rapport à l'axe de l'anode (15), la deuxième ouverture (42) étant munie d'une fenêtre optique (14) adaptée pour le passage du deuxième faisceau incident (22) et du deuxième faisceau réfléchi (32).
- 20
5. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 4 dans lequel le séparateur optique (3, 13, 23) comprend au moins un prisme séparateur de polarisation.
- 25
6. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon la revendication 5 dans lequel le séparateur optique (3, 13, 23) comprend un prisme de Wollaston (13) et le dispositif de recombinaison optique (3, 13, 23) comprend un autre prisme de Wollaston (23), et dans lequel les moyens optiques (4, 14, 24) adaptés pour diriger, respectivement, le premier faisceau incident (21) vers la première zone (11) et le deuxième faisceau incident (22) vers la deuxième zone (12) comprennent un système optique à lentille (4), lesdits prismes de Wollaston (13, 23) étant disposés dans le plan focal du système optique à lentille (4).
- 30
7. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 5 dans lequel le séparateur optique (3) et le dispositif de recombinaison optique (3) sont confondus.
- 35
- 40

8. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 7 dans lequel le spectromètre comprend un spectromètre de masse couplé à la lampe à décharge via une ouverture, le spectromètre de masse étant adapté pour mesurer au moins un signal représentatif d'espèces ionisées du plasma de décharge lumineuse (19) par spectrométrie de masse.
9. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 8 dans lequel le spectromètre comprend un spectromètre optique (70) couplé à la lampe à décharge via une fenêtre optique ou via un système optique à lentille (4), le spectromètre optique (70) étant adapté pour mesurer au moins un signal d'émission optique représentatif d'espèces excitées du plasma de décharge lumineuse (19), de préférence dans une direction normale à la surface de la première zone (11) de l'échantillon (10).
10. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 9 dans lequel le système de spectrométrie par décharge lumineuse comporte un spectromètre optique (70) adapté pour mesurer au moins un signal d'émission optique (71) représentatif d'espèces excitées du plasma (19) de décharge lumineuse, et dans lequel la source lumineuse (1) est adaptée pour émettre un faisceau lumineux (2) à une longueur d'onde sélectionnée en dehors d'une gamme de longueur d'onde de raies atomiques d'émission optique du plasma (19) de décharge lumineuse.
11. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon l'une des revendications 1 à 10 dans lequel les moyens de détection (8, 81, 82, 83, 84) comprennent un polarimètre adapté pour mesurer au moins une composante polarisée (35, 36, 37, 38) du faisceau interférométrique (30).
12. Système de spectrométrie de décharge lumineuse selon la revendication 11 dans lequel ledit polarimètre comprend d'autres moyens de séparation optique (51, 52, 53, 54, 55) disposés de manière à séparer le faisceau interférométrique en une pluralité de composantes polarisées et une pluralité de détecteurs (81, 82, 83, 84) adaptés pour détecter chacun respectivement une composante polarisée (35, 36, 37, 38) de la pluralité de composantes polarisées du signal interférométrique (40).
13. Procédé de spectrométrie de décharge lumineuse et de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon comprenant les étapes suivantes :
- mise en place d'un échantillon (10) solide dans une lampe à décharge lumineuse (60), l'échantillon (10) ayant, sur une même face, une première zone (11) exposée à un plasma de gravure (19) et une deuxième zone (12) protégée vis-à-vis du plasma de gravure (19) ;

- détection et analyse par spectrométrie d'émission optique et/ou par spectrométrie de masse d'au moins un signal représentatif d'espèces excitées et/ou ionisées (71) du plasma de décharge luminescente (19), en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma ;
- 5 - émission d'un faisceau lumineux (2) ;
- séparation spatiale ou angulaire du faisceau lumineux (2) en un premier faisceau incident (21) et un deuxième faisceau incident (22) ;
- orientation, respectivement, du premier faisceau incident (21) vers la première zone (11) suivant un premier chemin optique et du deuxième faisceau incident (22) vers la
- 10 deuxième zone (12) suivant un deuxième chemin optique, de manière à former un premier faisceau réfléchi (31) par réflexion sur la première zone et, respectivement, un deuxième faisceau réfléchi (32) par réflexion sur la deuxième zone (12),
- recombinaison optique du premier faisceau réfléchi (31) et du deuxième faisceau réfléchi (32) et pour former un faisceau interférométrique (30) ;
- 15 - détection du faisceau interférométrique (30, 35, 36, 37, 38) pour former au moins un signal interférométrique (40) en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma ;
- traitement du au moins un signal interférométrique (40) pour en extraire une mesure de profondeur du cratère d'érosion en fonction du temps d'exposition de la première
- 20 zone (11) audit plasma.

14. Procédé de spectrométrie de décharge luminescente et de mesure *in situ* de la profondeur de gravure d'un échantillon selon la revendication 13 comportant en outre les étapes suivantes :

- 25 - traitement du signal interférométrique (40) pour en extraire une mesure de la phase (PHI) du signal interférométrique (40) en fonction du temps d'exposition de la première zone (11) audit plasma (19) ;
- détermination à chaque instant t d'une vitesse instantanée de gravure V_e de la première zone (11) de l'échantillon (10), par application de la formule suivante :

$$30 \quad V_e = \frac{LAMBDA}{4 \times \pi} \times \frac{dPHI}{dt}$$

où LAMBDA représente la longueur d'onde de la source lumineuse (1) et $dPHI/dt$ la dérivée par rapport au temps de la phase (PHI) du signal interférométrique (40) mesuré.

15. Procédé de spectrométrie de décharge luminescente et de mesure *in situ* de la

35 profondeur de gravure d'un échantillon selon la revendication 13 ou 14 dans lequel le plasma de gravure (19) fonctionne en mode impulsif, par alternance d'une phase où le plasma est allumé et d'une autre phase où le plasma est éteint, et comprenant les étapes suivantes :

- la détection du au moins un signal interférométrique (40) est déclenchée pendant les phases où le plasma est allumé et/ou respectivement pendant les phases où le plasma est éteint, de manière à différencier un signal interférométrique associé aux phases où le plasma est allumé d'un autre signal interférométrique associé aux phases où le plasma est éteint,
5
- traitement du signal interférométrique associé aux phases où le plasma est allumé et/ou respectivement de l'autre signal interférométrique associé aux phases où le plasma est éteint de manière à corriger la mesure de profondeur du cratère d'érosion des dérives induites pendant les phases où le plasma est allumé et/ou respectivement pendant les phases où le plasma est éteint.
10

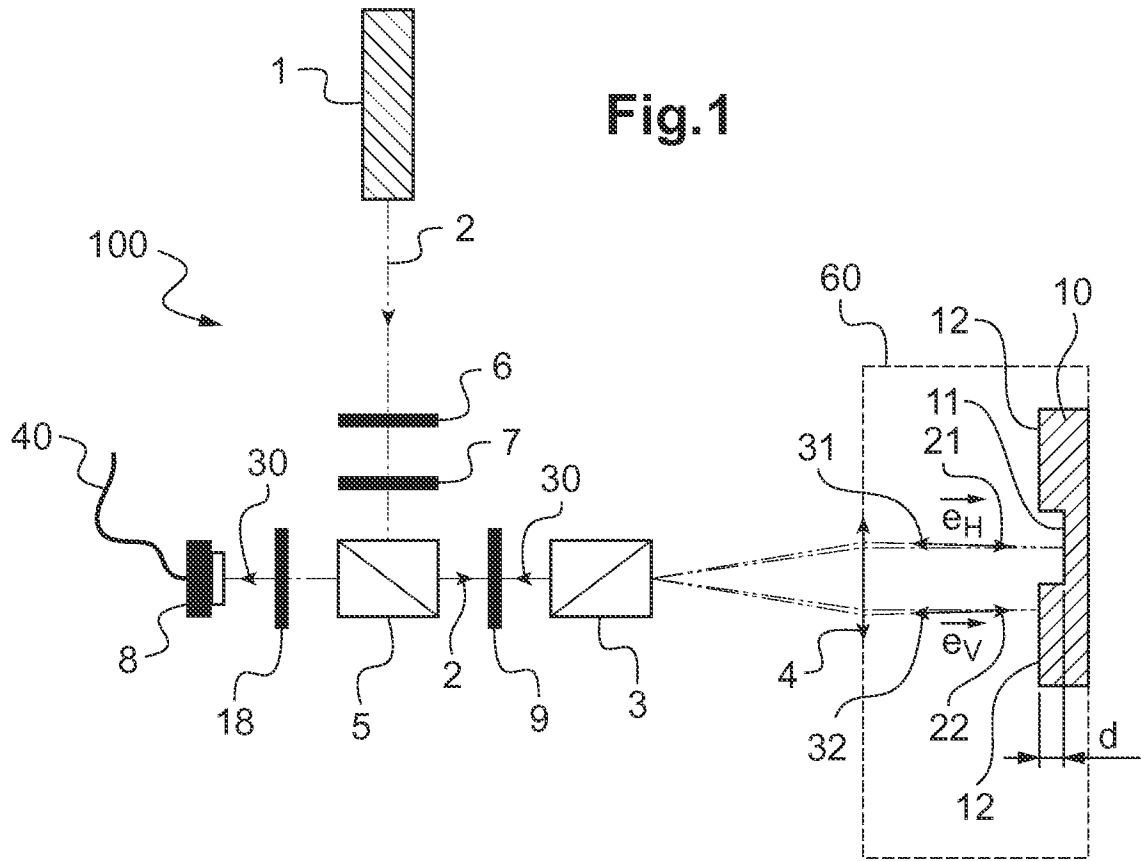
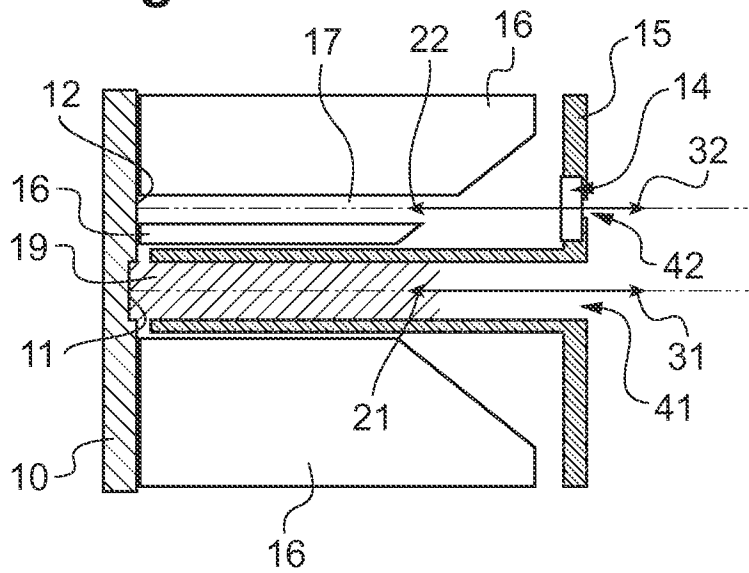


Fig.2



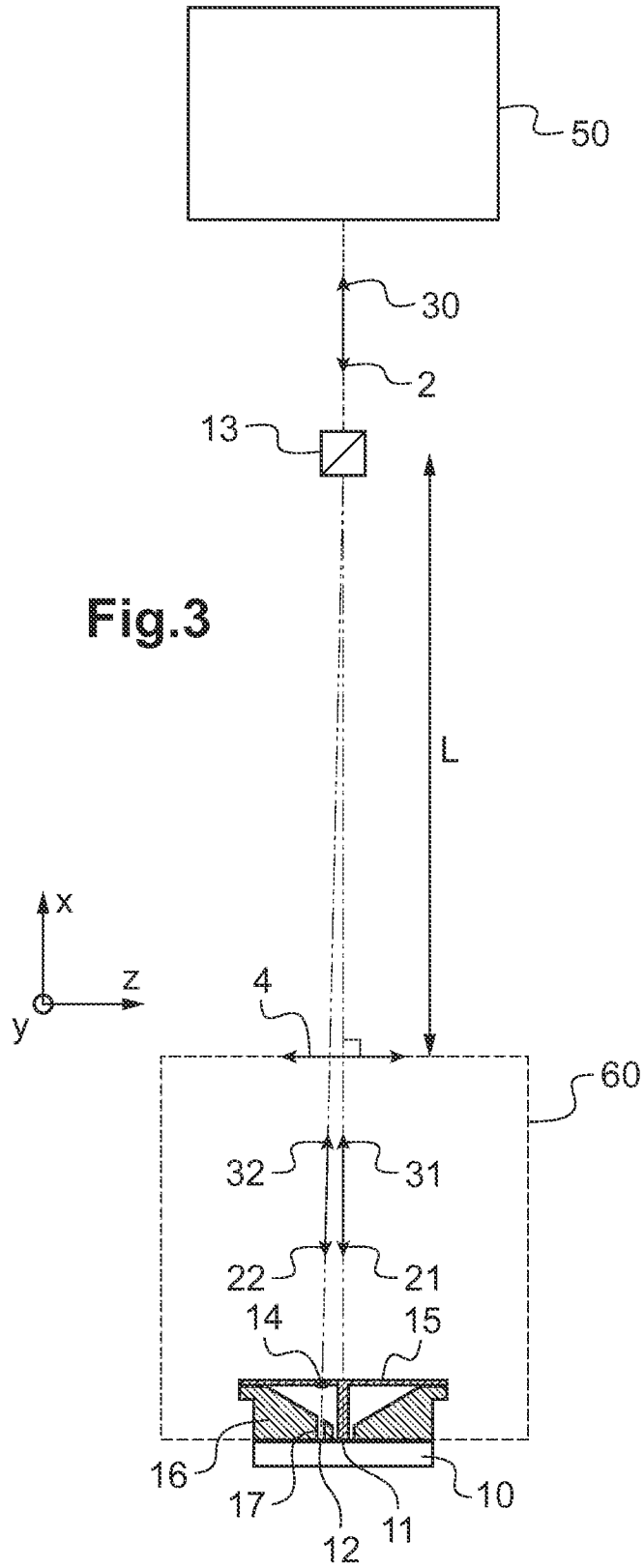
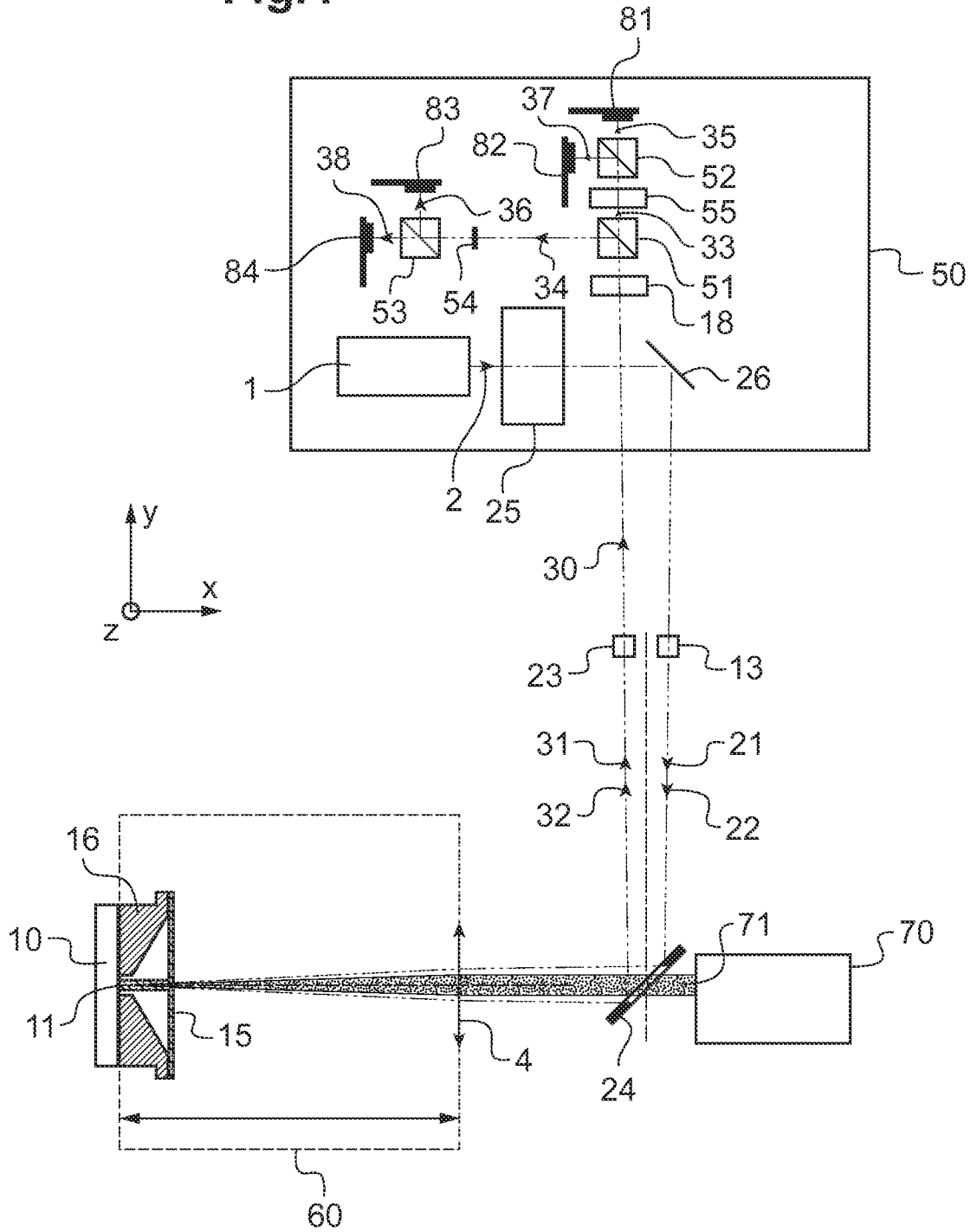


Fig.4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/051156

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N21/67 B23K26/36 G01J3/443 G01B11/22 G01N21/68 H01J37/32 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) G01N B23K G01J G01B H01J 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.
Y	FR 2 843 801 A1 (JOBIN YVON SAS [FR]) 27 February 2004 (2004-02-27) figure 2	1-3,5-15 4
A	----- AMARY P ET AL: "A new sensor for trench depth monitoring: the TDM 200", PROCEEDINGS OF SPIE, S P I E - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, US, vol. 5343, no. 1, 1 January 2003 (2003-01-01), pages 244-254, XP002356930, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.529023 figures 1-4	1-3,5-15 4
A	----- US 2013/314692 A1 (GOTO HIROOMI [JP] ET AL) 28 November 2013 (2013-11-28) figure 1A ----- -/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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	
25 August 2015	07/09/2015	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Mason, William	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/051156

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002 129364 A (LEC KK) 9 May 2002 (2002-05-09) figure 1 -----	1-15
A	US 2005/287815 A1 (LAI SHOULIANG [US] ET AL) 29 December 2005 (2005-12-29) paragraph [0083]; figure 18 -----	1-15
A	WO 2012/077652 A1 (SHIMADZU CORP [JP]; NAGUMO YUZO [JP]; GOTO HIROOMI [JP]; ARAKAWA AKIRA) 14 June 2012 (2012-06-14) figure 1 -----	1-15
A	JP 2002 048519 A (TOSHIBA CORP) 15 February 2002 (2002-02-15) figure 1 -----	1-15
A	"ETCH RATE MONITOR", IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP. (THORNWOOD), US, vol. 29, no. 5, 1 October 1986 (1986-10-01), page 2204, XP000806288, ISSN: 0018-8689 figure 1 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/051156

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2843801	A1	27-02-2004	NONE

US 2013314692	A1	28-11-2013	JP 2013242192 A 05-12-2013
			US 2013314692 A1 28-11-2013

JP 2002129364	A	09-05-2002	JP 4409744 B2 03-02-2010
			JP 2002129364 A 09-05-2002

US 2005287815	A1	29-12-2005	CN 1977364 A 06-06-2007
			EP 1761947 A1 14-03-2007
			JP 2008504975 A 21-02-2008
			TW I326112 B 11-06-2010
			US 2005287815 A1 29-12-2005
			WO 2006012297 A1 02-02-2006

WO 2012077652	A1	14-06-2012	JP 2014038875 A 27-02-2014
			WO 2012077652 A1 14-06-2012

JP 2002048519	A	15-02-2002	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/051156

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N21/67 B23K26/36 G01J3/443 G01B11/22 G01N21/68 H01J37/32 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) G01N B23K G01J G01B H01J 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
Y	FR 2 843 801 A1 (JOBIN YVON SAS [FR]) 27 février 2004 (2004-02-27) figure 2	1-3,5-15
A	----- figure 2	4
Y	AMARY P ET AL: "A new sensor for trench depth monitoring: the TDM 200", PROCEEDINGS OF SPIE, S P I E - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, US, vol. 5343, no. 1, 1 janvier 2003 (2003-01-01), pages 244-254, XP002356930, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.529023	1-3,5-15
A	----- figures 1-4	4
A	US 2013/314692 A1 (GOTO HIROOMI [JP] ET AL) 28 novembre 2013 (2013-11-28) figure 1A ----- -/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> 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 25 août 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 07/09/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Mason, William

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/051156

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JP 2002 129364 A (LEC KK) 9 mai 2002 (2002-05-09) figure 1 -----	1-15
A	US 2005/287815 A1 (LAI SHOULIANG [US] ET AL) 29 décembre 2005 (2005-12-29) alinéa [0083]; figure 18 -----	1-15
A	WO 2012/077652 A1 (SHIMADZU CORP [JP]; NAGUMO YUZO [JP]; GOTO HIROOMI [JP]; ARAKAWA AKIRA) 14 juin 2012 (2012-06-14) figure 1 -----	1-15
A	JP 2002 048519 A (TOSHIBA CORP) 15 février 2002 (2002-02-15) figure 1 -----	1-15
A	"ETCH RATE MONITOR", IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP. (THORNWOOD), US, vol. 29, no. 5, 1 octobre 1986 (1986-10-01), page 2204, XP000806288, ISSN: 0018-8689 figure 1 -----	1-15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/051156

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2843801	A1	27-02-2004	AUCUN	
US 2013314692	A1	28-11-2013	JP 2013242192 A US 2013314692 A1	05-12-2013 28-11-2013
JP 2002129364	A	09-05-2002	JP 4409744 B2 JP 2002129364 A	03-02-2010 09-05-2002
US 2005287815	A1	29-12-2005	CN 1977364 A EP 1761947 A1 JP 2008504975 A TW I326112 B US 2005287815 A1 WO 2006012297 A1	06-06-2007 14-03-2007 21-02-2008 11-06-2010 29-12-2005 02-02-2006
WO 2012077652	A1	14-06-2012	JP 2014038875 A WO 2012077652 A1	27-02-2014 14-06-2012
JP 2002048519	A	15-02-2002	AUCUN	