(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 143 751***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 13971**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 N 21/71*** *(2023.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 20.12.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 21.06.24 Bulletin 24/25.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

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

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *FARIAUT INSTRUMENTS SASU* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Fariaut François.

(73) **Titulaire(s) :** FARIAUT INSTRUMENTS SASU.

(74) **Mandataire(s) :** Legi LC.

(54) Système d'analyse d'un échantillon par faisceau laser, comprenant un dispositif de captation d'un profil du faisceau laser, et procédé de réglage d'un tel système.

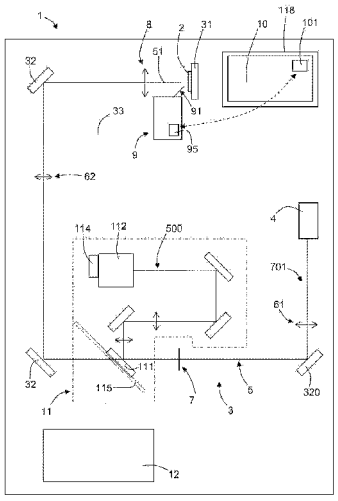
(57) Titre : Système d'analyse d'un échantillon par faisceau laser, comprenant un dispositif de captation d'un profil du faisceau laser, et procédé de réglage d'un tel système

L'invention concerne un système (1) d'analyse élémentaire d'un échantillon (2) à étudier, caractérisé en ce que le système (1) d'analyse comprend également un dispositif de captation (11) de caractéristiques du faisceau laser (5) émis par un module de génération (4), destiné à être intercalé entre un module de mise en forme et des moyens optiques de focalisation (8),

le dispositif de captation (11) comprenant :

un miroir de déviation (111) ;une cellule photosensible (112) ; des moyens optiques de grandissement, etdes moyens de transmission (114) de l'image acquise par la cellule photosensible (112) à un dispositif d'affichage (12).

Figure pour l'abrégé : Fig. 1



FR 3 143 751 - A1

Description

Titre de l'invention : Système d'analyse d'un échantillon par faisceau laser, comprenant un dispositif de captation d'un profil du faisceau laser, et procédé de réglage d'un tel système

[0001] La présente invention concerne le domaine de la cartographie et de l'analyse à haute résolution d'éléments dans des solides.

[0002] Plus particulièrement, l'invention concerne, en particulier mais non exclusivement, un dispositif d'analyse à haute résolution pour la cartographie d'éléments dans des solides métalliques.

[0003] L'invention peut notamment s'appliquer à l'analyse élémentaire de l'hydrogène et de l'oxygène par spectrométrie d'émission optique sur plasma produit par laser, dans le domaine de l'industrie nucléaire, ou encore de l'industrie aéronautique ou spatiale.

[0004] Dans des applications telles que la caractérisation de dispositifs soumis à des sources radioactives, ou encore la caractérisation de l'aptitude au vieillissement de dispositifs employés dans des environnements particulièrement sévères, par exemple dans des aéronefs ou des engins spatiaux, il peut s'avérer indispensable de procéder à l'analyse élémentaire d'échantillons, par exemple d'échantillons métalliques.

[0005] Plus précisément, il peut s'avérer nécessaire de pouvoir dresser une cartographie de ces éléments au sein de l'échantillon analysé. Par cartographie, il est entendu une identification des éléments composant l'échantillon analysé et, éventuellement, la répartition et le lien entre les différents éléments.

[0006] Une telle analyse peut s'avérer particulièrement utile dans des études de fragilisation de métaux par l'hydrogène, ou bien dans des études de vieillissement de gaines de combustibles en présence d'oxygène, ou encore dans des études de fragilisation de gaines de combustibles causée par la formation d'hydrures, ces derniers favorisant la propagation de fissures.

[0007] Il existe diverses méthodes connues de cartographie d'éléments présents dans des échantillons.

[0008] L'une de ces méthodes est l'analyse élémentaire par « SEOPPL », acronyme de Spectrométrie d'Emission Optique sur Plasma Produit par Laser, technique qui se pratique en atmosphère naturelle.

[0009] Cette méthode s'applique notamment au contrôle et à la caractérisation in situ d'échantillons de pièces à analyser.

[0010] Un procédé d'analyse élémentaire par spectrométrie d'émission optique sur plasma produit par laser en présence d'argon est décrit par le document de brevet publié sous le numéro EP 0 654 663.

[0011] Dans les faits, un système d'analyse est utilisé pour émettre un faisceau laser sur une pièce à analyser. Le faisceau laser est émis par une source laser puis traverse différentes lentilles et diaphragmes avant d'impacter la pièce à analyser.

[0012] L'impact du faisceau laser sur la pièce à analyser engendre la création d'un plasma au plus près duquel est positionnée une fibre optique permettant d'acquérir une image qui est analysée par un logiciel ad hoc permettant de déterminer la cartographie élémentaire du matériau constitutif de la pièce à analyser, c'est-à-dire d'établir une identification précise des composants constitutifs du matériau de l'échantillon analysé.

[0013] Lors de l'utilisation du système, des paramètres externes tels que les vibrations ou même la température peuvent influencer l'émission du faisceau et réduire la qualité de l'analyse.

[0014] En effet, la température et/ou les vibrations peuvent décaler la position des diaphragmes, des lentilles et/ou de la source laser.

[0015] Il en résulte alors que lors de l'impact sur la pièce à analyser, le faisceau n'est pas homogène et présente une puissance différente en chaque point de son contour.

[0016] En d'autres termes, le faisceau laser présente, dans une section transversale, une variation de puissance sur son contour alors qu'il devrait présenter une puissance égale en tout point de son contour.

[0017] Dès lors, lorsque le faisceau laser n'est pas homogène et ne présente pas un profil souhaité (correspondant à un alignement idéal du module de génération, de la ou des lentilles et du ou des diaphragmes), son impact sur la pièce à analyser crée un cratère (dû à l'ablation de la pièce par le faisceau laser) qui présente, selon sa profondeur, une forme sensiblement tronconique. Au contraire, dans le cas d'un faisceau homogène et de profil souhaité, le cratère présente une forme optimale qui est sensiblement cylindrique à section circulaire. Un faisceau laser homogène est couramment désigné par l'appellation anglo-saxonne « top hat ».

[0018] Cela oblige alors à une étape de calibration du système, c'est-à-dire à repositionner la source laser, le ou les diaphragmes et/ou la ou les lentilles pour que le faisceau soit correctement aligné et que le cratère présente une forme optimale.

[0019] Une telle calibration est réalisée de manière empirique, ce qui est fastidieux et long, si bien qu'elle est généralement réalisée de manière approximative, jusqu'à ce que le faisceau soit selon un alignement jugé convenable, c'est-à-dire un alignement proche d'un alignement théorique optimal.

[0020] En effet, pour réaliser ce réglage, un faisceau laser est émis pour impacter une pièce test de sorte que la forme de l'impact soit analysée.

[0021] En analysant la forme de l'impact, il est possible de déterminer si le faisceau est convenablement aligné ou non et de procéder au réglage de la position des diaphragmes, des lentilles et/ou de la source laser.

[0022] Cependant, l'identification de chaque élément désaligné (diaphragme, lentille ou source laser) n'est pas simple et peut complexifier davantage le réglage du système.

[0023] En effet, il est possible que la position d'un élément initialement correctement positionné soit modifiée par erreur. Il en résulte alors une aggravation du défaut d'alignement, ce qui rallonge le temps nécessaire à la calibration du système.

[0024] L'invention a notamment pour objectif de pallier les inconvénients de l'art antérieur.

[0025] Plus précisément, l'invention a pour objectif de proposer un analyseur de faisceau laser permettant de simplifier et d'accélérer le réglage du faisceau laser d'un système d'analyse.

[0026] L'invention a également pour objectif de fournir un tel analyseur de faisceau laser qui assure une lecture instantanée de l'homogénéité du faisceau laser.

[0027] L'invention a en outre pour objectif de fournir un tel analyseur de faisceau qui assure une lecture précise de l'homogénéité du faisceau laser.

[0028] Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints grâce à l'invention qui a pour objet un système d'analyse élémentaire d'un échantillon à étudier, incluant un dispositif d'analyse comprenant un bâti sur lequel sont montés :

- un module de génération d'un faisceau laser,
- un module de mise en forme du faisceau laser intégrant au moins une lentille de mise en forme et un diaphragme de sélection d'une partie du faisceau laser émis par le module de génération,
- des moyens optiques de focalisation du faisceau laser sur l'échantillon à étudier,

caractérisé en ce que le système d'analyse comprend également un dispositif de captation de caractéristiques du faisceau laser émis par le module de génération, destiné à être intercalé entre le module de mise en forme et les moyens optiques de focalisation,

[0029] le dispositif de captation comprenant :

- un miroir de déviation du faisceau laser, susceptible d'adopter une position de déviation dans laquelle le miroir engendre un faisceau laser dévié ;
- une cellule photosensible destinée à acquérir une image du faisceau laser dévié ;
- des moyens optiques de grandissement du faisceau laser dévié, intercalés entre le miroir de déviation et la cellule photosensible, et
- des moyens de transmission de l'image acquise par la cellule photosensible à un dispositif d'affichage.

[0030] Le dispositif de captation permet de régler le dispositif d'analyse de manière rapide et non destructive comparativement à l'art antérieur.

[0031] En effet, grâce au dispositif de captation, une image du faisceau laser peut être

obtenue, ce qui permet de régler le dispositif d'analyse de manière instantanée, ou quasiment, puisqu'il n'est pas nécessaire d'obtenir une analyse poussée d'un cratère dans une pièce.

[0032] En d'autres termes, à partir d'une image numérique en deux ou trois dimensions, il est possible de déterminer un défaut de profil et/ou d'homogénéité du faisceau laser et, de manière itérative et rapide, de corriger la position du module de génération, de la lentille et/ou du diaphragme de sélection pour modifier le profil du faisceau laser et/ou son homogénéité.

[0033] Dès lors, le temps de réglage est considérablement réduit et peut être effectué de manière visuelle, au bénéfice et la rapidité de réglage du dispositif d'analyse, et donc de la qualité d'analyse.

[0034] On note que le miroir de déviation peut être totalement réfléchissant ou seulement partiellement réfléchissant.

[0035] Selon un aspect avantageux, les moyens optiques de grandissement du faisceau laser dévié comprennent :

- une première lentille grandissante présentant une première focale f1, et
- une deuxième lentille grandissante présentant une deuxième focale f2,

la première focale f1 et la deuxième focale f2 étant choisies de sorte que le rapport f2/f1 soit supérieur ou égal à 2.

[0036] Un tel ratio permet de grandir l'image du faisceau laser pour permettre l'analyse de son profil et de son homogénéité, cela de manière rapide et optimale.

[0037] On s'affranchit alors des caractéristiques du diaphragme de sélection notamment, de telle sorte que le dispositif de captation peut être utilisé sur différents dispositifs d'analyse.

[0038] Selon un autre aspect avantageux, le dispositif de captation est monté amovible sur le bâti.

[0039] Cela permet d'utiliser un seul dispositif de captation sur plusieurs dispositifs d'analyse différents.

[0040] En outre, cela permet de ne pas générer de risques de trouble de l'analyse pas extraction du dispositif de captation lorsque le dispositif d'analyse est utilisé.

[0041] Selon un autre aspect avantageux, le dispositif de captation comprend une pluralité de miroirs de renvoi intercalés entre le miroir de déviation et la cellule photosensible, pour agrandir le faisceau dévié en le redirigeant selon plusieurs directions jusqu'à la cellule photosensible.

[0042] Cela bénéficie directement à la compacité du système d'analyse.

[0043] En effet, faisant circuler le faisceau dévié selon un chemin prédéterminé, il est possible de contourner certains éléments du dispositif d'analyse, de sorte à intégrer le dispositif de captation au système sans augmenter son encombrement de manière in-

justifiée.

[0044] Selon un autre aspect avantageux, l'un au moins des miroirs de renvoi, dit miroir de renvoi primaire, est positionné entre la première lentille et la deuxième lentille des moyens optiques de grandissement.

[0045] Ce positionnement assure un écartement de la première lentille par rapport à la deuxième lentille des moyens optiques de grandissement, de sorte que le grandissement de l'image du faisceau laser soit optimale.

[0046] En d'autres termes, cela oblige à faire serpenter le faisceau dévié pour limiter l'encombrement du dispositif de captation d'une part, et pour augmenter le grandissement de l'image du faisceau laser d'autre part, cela au bénéfice de l'exploitation de l'image acquise par la cellule photosensible.

[0047] Selon un autre aspect avantageux, le dispositif de captation intègre également un filtre optique intercalé entre la cellule photosensible et le miroir de déviation, pour filtrer des ondes du faisceau laser dévié en fonction d'une plage d'ondes admissibles par la cellule photosensible.

[0048] Ainsi, seule une portion utile des ondes du faisceau laser peut être captée par la cellule photosensible, ce qui bénéficie directement à la facilité d'exploitation de l'image captée puisque le bruit dû aux ondes non exploitées est supprimé, ou à tout le moins limité, par la présence du filtre optique.

[0049] Selon un autre aspect avantageux, le dispositif d'affichage de l'image acquise par la cellule photosensible, connecté aux moyens de transmission est intégré au système.

[0050] Le dispositif d'affichage permet à un opérateur d'obtenir une image bidimensionnelle ou tridimensionnelle du faisceau laser, ce qui lui permet de procéder au réglage du de manière simple et rapide.

[0051] Selon un autre aspect avantageux :

- le diaphragme de sélection est configuré pour sélectionner une partie du faisceau laser émis par le module de génération, et à délimiter la forme de l'impact du faisceau laser sur un échantillon à analyser,
- la ou les lentilles sont configurées pour projeter à l'infini l'image du faisceau laser en sortie du diaphragme de sélection,
- les moyens optiques de focalisation sont configurés pour recevoir l'image du diaphragme de sélection projetée à l'infini par la ou les lentilles et la focaliser sur un échantillon à étudier de façon à produire un plasma sur une surface de cet échantillon,

et le système comprend également des moyens de collecte d'une émission optique du plasma et des moyens de détermination configurés pour analyser un spectre de l'émission optique et définir une composition élémentaire de l'échantillon à étudier sur lequel le faisceau laser est projeté.

[0052] Selon un autre aspect avantageux, le système comprend également une unité informatique couplée à la cellule photosensible, l'unité informatique étant configurée pour piloter des actionneurs dédiés au réglage du faisceau laser.

[0053] L'asservissement permet de régler le faisceau laser de manière automatique en fonction de l'image du faisceau laser captée par la cellule photosensible.

[0054] Le réglage du faisceau laser s'en trouve alors simplifié et fiabilisé.

[0055] L'invention concerne également un dispositif de captation d'un profil du faisceau laser pour système d'analyse tel que précédemment décrit, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un miroir de déviation d'un faisceau laser, engendrant un faisceau laser dévié ;
- une cellule photosensible destinée à acquérir une image du faisceau laser dévié ;
- des moyens optiques de grandissement du faisceau laser dévié, intercalés entre le miroir de déviation et la cellule photosensible, et
- des moyens de transmission de l'image acquise par la cellule photosensible à un dispositif d'affichage.

[0056] Un tel dispositif peut être couplé à un dispositif d'analyse de manière simple et rapide pour déterminer son bon réglage, cela de manière non destructive.

[0057] Il en résulte alors une économie dans l'exploitation d'un système d'analyse puisque le réglage du dispositif d'analyse est simplifié et accéléré par rapport à l'art antérieur, et qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser de pièce test pour le réglage du dispositif d'analyse.

[0058] L'invention concerne en outre un procédé de réglage d'un dispositif d'analyse d'un système d'analyse tel que précédemment décrit, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- positionner le miroir de déviation dans sa position de déviation ;
- générer un faisceau laser par le module de génération ;
- capter une image du faisceau dévié par la cellule photosensible ;
- analyser l'image captée par la cellule photosensible pour détecter un défaut de profil du faisceau laser par rapport à un profil théorique ;
- corriger, si un défaut de profil est détecté, une orientation du module de génération et/ou de la lentille de mise en forme ou du diaphragme de sélection, et
- recommencer les étapes consistant à capter, analyser et corriger jusqu'à ce qu'aucun défaut de profil ne soit détecté par rapport au profil théorique .

[0059] Un tel procédé est plus rapide et simple que le réglage du dispositif d'analyse selon l'art antérieur. Si le réglage se fait toujours de manière itérative, il n'est cependant pas

soumis à ablation d'une pièce test, c'est-à-dire à destruction d'une partie au moins d'une pièce test, ladite ablation étant analysée pour déterminer un défaut de réglage du dispositif d'analyse.

[0060] Selon un aspect avantageux, l'étape consistant à analyser l'image comprend également une sous-étape de contrôle de l'homogénéité de l'intensité du faisceau laser, et l'étape consistant à corriger est réalisé lorsqu'une inhomogénéité de l'intensité du faisceau laser est constatée.

[0061] Cette sous-étape de contrôle permet d'augmenter encore la qualité du réglage du dispositif d'analyse. En effet, si le profil du faisceau laser est bon, il n'est pas exclu que l'intensité du faisceau laser soit inhomogène, ce qui nuit alors à l'exploitation du système d'analyse et donc à la qualité de l'analyse élémentaire d'un échantillon à étudier.

[0062] Selon un autre aspect avantageux, le procédé comprend également une étape d'asservissement d'actionneurs dédiés au réglage du faisceau laser.

[0063] Cette étape d'asservissement permet de régler le faisceau laser de manière automatique en fonction de l'image du faisceau laser captée par la cellule photosensible.

[0064] Le réglage du faisceau laser s'en trouve alors simplifié et fiabilisé.

[0065] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre d'exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés décrits ci-après.

[0066] [Fig.1] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un système d'analyse élémentaire par faisceau laser, selon l'invention.

[0067] [Fig.2] La [Fig.2] est une représentation schématique du dispositif de captation de caractéristiques du faisceau laser.

[0068] [Fig.3] La [Fig.3] est une représentation schématique d'un premier type d'image obtenue à l'aide du dispositif de captation de caractéristiques.

[0069] [Fig.4] La [Fig.4] est une représentation schématique d'un deuxième type d'image obtenue à l'aide du dispositif de captation de caractéristiques.

[0070] La [Fig.1] illustre un système 1 d'analyse élémentaire d'un échantillon 2 à étudier.

[0071] Le système 1 inclut un dispositif d'analyse 3 tel que décrit ci-après, ce dispositif d'analyse 3 comprenant un socle 31 de réception de l'échantillon 2.

[0072] Le dispositif d'analyse 3 comprend également un bâti sur lequel sont montés :

- un module de génération 4 d'un faisceau laser 5,
- un module de mise en forme du faisceau laser 5 intégrant au moins une lentille de mise en forme 61 et un diaphragme de sélection 7 d'une partie du faisceau laser 5 émis par le module de génération 4,
- des moyens optiques de focalisation 8 du faisceau laser 5 sur l'échantillon 2 à

étudier.

[0073] Tel que cela est illustré par la [Fig.1], le dispositif d'analyse 3 comprend, selon le sens d'émission du faisceau laser 5 depuis le module de génération 4 vers l'échantillon 4, une pluralité de lentilles dont la lentille de mise en forme 61 et une lentille 62 auxiliaire et un unique diaphragme de sélection 7.

[0074] Le dispositif d'analyse 3 comprend également une pluralité de miroirs 32 permettant de dévier le faisceau laser 5 depuis le module de génération 4 jusqu'aux moyens de focalisation 8, cela afin de limiter l'encombrement du dispositif d'analyse 3. L'un au moins des miroirs 32 est un miroir de réglage 320 positionné entre la lentille de mise en position 61 et le diaphragme de sélection 7.

[0075] En sortie des moyens optiques de focalisation 8, le faisceau laser 5 devient un faisceau de focalisation 51. Dans ce cas, le faisceau de focalisation 51 présente une forme conique allant en s'amincissant en direction de l'échantillon 2.

[0076] En outre, le système 1 comprend des moyens de collecte 9 et des moyens de détermination 10 dont les rôles seront décrits ci-après.

[0077] Le diaphragme 7 est configuré pour sélectionner une partie du faisceau laser 5 émis par le module de génération 4, et à délimiter la forme de l'impact du faisceau laser 5 sur un échantillon 2 à analyser.

[0078] Les moyens optiques de focalisation 8 sont configurés pour recevoir l'image du diaphragme de sélection 7 projetée à l'infini par la lentille 6 directement en amont et la focaliser sur un échantillon 2 à étudier de façon à produire un plasma sur une surface de cet échantillon 2.

[0079] Les moyens de collecte 9 sont configurés pour acquérir une émission optique du plasma généré par l'impact du faisceau laser 5 sur la surface de l'échantillon 2 à analyser.

[0080] Enfin, les moyens de détermination 10 sont configurés pour analyser un spectre de l'émission optique collectée par les moyens de collecte 9, et définir une composition élémentaire de l'échantillon 2 à étudier sur lequel le faisceau laser 5 est projeté.

[0081] Comme décrit précédemment, le système 1 permet d'analyser un échantillon 2 pour en cartographier sa composition élémentaire.

[0082] A cet effet, le faisceau laser 5 est émis par le module de génération 4 pour être dirigé vers l'échantillon 2 pour en impacter sa surface.

[0083] Lorsque le faisceau laser 5 impacte l'échantillon 2 à étudier, un plasma P se crée, engendrant une émission optique à analyser pour cartographier les éléments composant l'échantillon 2.

[0084] La collecte de l'émission optique du plasma est réalisée par les moyens de collecte 9.

[0085] Les moyens de collecte 9 comprennent des premiers moyens de communication 95 destinés à établir, avec des deuxièmes moyens de communications 101 des moyens de

détermination 10, une voie de communication.

[0086] Les premiers moyens de communication 95 et les deuxièmes moyens de communication 101 peuvent être du type sans fils.

[0087] En variante, les premiers moyens de communication 95 et les deuxièmes moyens de communication 101 peuvent se présenter sous la forme de connecteurs destinés à recevoir la fiche d'un câble de liaison filaire.

[0088] Pour permettre le réglage de l'émission du faisceau laser 5, le système 1 inclut également un dispositif de captation 11 de caractéristiques du faisceau laser 5.

[0089] En référence aux figures 1 et 2, le dispositif de captation 11 est à présent décrit.

[0090] Le dispositif de captation 11 est avantageusement monté amovible sur le bâti du dispositif d'analyse 3.

[0091] Tel qu'illustré par les figures 1 et 2, le dispositif de captation 11 comprend :

- un miroir de déviation 111 du faisceau laser 5 ;
- une cellule photosensible 112 destinée à acquérir une image du faisceau laser dévié 500 ;
- des moyens optiques de grandissement 113 du faisceau laser dévié 500, intercalés entre le miroir de déviation 111 et la cellule photosensible 112, et
- des moyens de transmission 114 de l'image acquise par la cellule photosensible 112 à un dispositif d'affichage 12.

[0092] Le dispositif d'affichage 12 de l'image acquise par la cellule photosensible 112, connecté aux moyens de transmission 114 est intégré au système 1.

[0093] Le dispositif d'affichage 12 peut par exemple prendre la forme d'un écran permettant de visualiser des données provenant des moyens de détermination 10, être un écran mobile dédié tel qu'une tablette numérique par exemple, ou encore prendre la forme d'un moniteur intégré au dispositif de captation 11.

[0094] Le miroir de déviation 111, qui est en l'espèce une lame de prélèvement, est susceptible d'adopter une position de déviation dans laquelle il engendre un faisceau laser dévié 500.

[0095] Pour cela, le miroir de déviation 111 est monté mobile sur un organe de déplacement 115 entre ladite position de déviation dans laquelle il engendre le faisceau laser dévié 500, et une position de dégagement dans laquelle le miroir de déviation 111 est écarté du faisceau laser 5.

[0096] L'organe de déplacement 115 peut par exemple prendre la forme d'un support coulissant sur un rail. D'autres organes de déplacement peuvent notamment être envisagés tels que, par exemple, des organes permettant la rotation du miroir de déviation 111 entre sa position de déviation et sa position de dégagement.

[0097] Tel que cela est visible sur la [Fig.2], les moyens optiques de grandissement 113 du faisceau laser dévié 500 comprennent :

- une première lentille grandissante 1131 présentant une première focale f1, et
- une deuxième lentille grandissante 1132 présentant une deuxième focale f2.

[0098] La première focale f1 et la deuxième focale f2 sont différentes l'une de l'autre.

[0099] Plus particulièrement, la première focale f1 et la deuxième focale f2 sont choisies de sorte que le rapport f2/f1 soit supérieur ou égal à 2.

[0100] Un tel rapport de focales permet de faciliter l'acquisition d'une image du faisceau laser dévié 500 par la cellule photosensible 112.

[0101] Toujours en référence à la [Fig.2], le dispositif de captation 11 comprend une pluralité de miroirs de renvoi 116 intercalés entre le miroir de déviation 111 et la cellule photosensible 112.

[0102] La pluralité de miroirs de renvoi 116 permet d'agrandir le faisceau dévié 500 en le redirigeant selon plusieurs directions jusqu'à la cellule photosensible 112.

[0103] Cela peut alors permettre de rendre compact le dispositif de captation 11 tout en assurant le grandissement du faisceau laser dévié pour favoriser l'acquisition d'images par la cellule photosensible 112.

[0104] Préférentiellement, l'un au moins des miroirs de renvoi 116, dit miroir de renvoi primaire 1161, est positionné entre la première lentille grandissante 1131 et la deuxième lentille grandissante 1132.

[0105] Par ailleurs, le dispositif de captation 11 intègre également un filtre optique 117 intercalé entre la cellule photosensible 112 et le miroir de déviation 111. Ce filtre optique 117 permet de filtrer des ondes du faisceau laser dévié 500 en fonction d'une plage d'ondes admissibles par la cellule photosensible 112.

[0106] Grâce au dispositif de captation 11, le réglage du faisceau laser 5, et donc du dispositif d'analyse 3, est simple et rapide comparativement aux méthodes de l'art antérieur.

[0107] En effet, un technicien positionne le miroir de déviation 111 dans sa position de déviation, c'est-à-dire en travers du faisceau laser 5, de sorte à engendrer le faisceau laser dévié 5 qui est dirigé vers la cellule photosensible 112.

[0108] Depuis le miroir de déviation 111 jusqu'à la cellule photosensible 112, le faisceau laser dévié est agrandit par la présence de la première lentille grandissante 1131 et de la deuxième lentille grandissante 1132.

[0109] Une fois que le faisceau laser dévié 500 a atteint la cellule photosensible 112, une image dudit faisceau dévié peut alors être analysée par le technicien, cette image étant affichée sur le dispositif d'affichage grâce aux moyens de transmission 114.

[0110] Les figures 3 et 4 illustrent respectivement un premier type et un deuxième type d'images obtenues grâce à la cellule photo sensible 112.

[0111] A partir d'une image I du faisceau laser 5, on peut obtenir différents profils P du faisceau laser 5.

[0112] En référence à la [Fig.3], un premier profil P1 peut être défini dans un premier plan, et un deuxième profil P2 peut être défini dans un deuxième plan.

[0113] Comme cela est illustré par la [Fig.3], l'image I montre que le faisceau laser 5 présente une pluralité de zones d'intensité sensiblement concentrique qui définissent le profil du faisceau laser 5.

[0114] En référence à la [Fig.4], le réglage de position du module de génération 4, de la lentille de mise en forme 61, du diaphragme de sélection 7, ou du miroir de réglage 320 a pour but de rapprocher le profil P du faisceau laser 5 d'un profil théorique T qui prend une forme sensiblement de cylindre.

[0115] En ayant un profil P proche du profil théorique T, le faisceau laser 5 permet un impact maîtrisé sur l'échantillon, favorisant un plasma dépourvu de bruit, et donc une analyse améliorée.

[0116] A partir des images obtenues, le technicien peut modifier le positionnement du module de génération 4, de la lentille de mise en position 61, du diaphragme de sélection 7, ou du miroir de réglage 320 de sorte à ce que le faisceau laser 5 présente les caractéristiques souhaitées, c'est à dire des caractéristiques identiques, ou à tout le moins les plus proches possible, de celles d'un faisceau laser théorique. Cette modification peut par exemple se faire manuellement.

[0117] La cellule photosensible 112 peut, par ailleurs, être couplée à une unité informatique 118 permettant d'asservir le positionnement du module de génération 4, de la lentille de mise en position 61, du diaphragme de sélection 7, ou du miroir de réglage 320 de sorte à ce que le faisceau laser 5 présente les caractéristiques souhaitées. Des actionneurs peuvent alors être prévus pour permettre le réglage en position du module de génération 4, de la lentille de mise en position 61, du diaphragme de sélection 7, ou du miroir de réglage 320.

[0118] En d'autres termes, l'unité informatique est configurée pour piloter des actionneurs dédiés au réglage du faisceau laser 5.

[0119] A titre indicatif, le faisceau laser théorique présente une forme sensiblement cylindrique et une homogénéité d'intensité en section.

[0120] Lorsque le faisceau laser 5 est mal centré, il ne présente ni une homogénéité d'intensité, ni un profil souhaité, ce qui provoque une ablation partielle de l'échantillon 2 et, par voie de conséquence, une mauvaise qualité de plasma et donc une difficulté, voire une impossibilité, de cartographier convenablement l'échantillon 2. En d'autres termes, une géométrie de cratère non circulaire de taille supérieure à celle souhaitée et présentant une ZAT (Zone Affectée Thermiquement) étendue perturbant les mesures.

[0121] Grâce au dispositif de captation 11, le temps de réglage du système 1 est considérablement réduit et peut être effectué de manière visuelle, au bénéfice et la rapidité de réglage du dispositif d'analyse 3, et donc de la qualité d'analyse.

Revendications

[Revendication 1] Système (1) d'analyse élémentaire d'un échantillon (2) à étudier, incluant un dispositif d'analyse (3) comprenant un bâti sur lequel sont montés :

- un module de génération (4) d'un faisceau laser (5),
- un module de mise en forme du faisceau laser (5) intégrant au moins une lentille de mise en forme (61) et un diaphragme de sélection (7) d'une partie du faisceau laser (5) émis par le module de génération (4),
- des moyens optiques de focalisation (8) du faisceau laser (5) sur l'échantillon (2) à étudier,

caractérisé en ce que le système (1) d'analyse comprend également un dispositif de captation (11) de caractéristiques du faisceau laser (5) émis par le module de génération (4), destiné à être intercalé entre le module de mise en forme et les moyens optiques de focalisation (8),
le dispositif de captation (11) comprenant :

- un miroir de déviation (111) du faisceau laser (5), susceptible d'adopter une position de déviation dans laquelle le miroir engendre un faisceau laser dévié (500) ;
- une cellule photosensible (112) destinée à acquérir une image du faisceau laser dévié (500) ;
- des moyens optiques de grandissement (113) du faisceau laser dévié (500), intercalés entre le miroir de déviation (111) et la cellule photosensible (112), et
- des moyens de transmission (114) de l'image acquise par la cellule photosensible (112) à un dispositif d'affichage (12).

[Revendication 2] Système (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens optiques de grandissement (13) du faisceau laser dévié (500) comprennent :

- une première lentille grandissante (1131) présentant une première focale f1, et
- une deuxième lentille grandissante (1132) présentant une deuxième focale f2,

la première focale f1 et la deuxième focale f2 étant choisies de sorte que le rapport f2/f1 soit supérieur ou égal à 2.

[Revendication 3] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif de captation (11) est monté amovible sur le bâti.

[Revendication 4] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif de captation (11) comprend une pluralité de miroirs de renvoi (116) intercalés entre le miroir de déviation (111) et la cellule photosensible (112), pour agrandir le faisceau dévié (500) en le redirigeant selon plusieurs directions jusqu'à la cellule photosensible (112).

[Revendication 5] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif de captation (11) intègre également un filtre optique (117) intercalé entre la cellule photosensible (112) et le miroir de déviation (111), pour filtrer des ondes du faisceau laser dévié (500) en fonction d'une plage d'ondes admissibles par la cellule photosensible (112).

[Revendication 6] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif d'affichage (12) de l'image acquise par la cellule photosensible (112), connecté aux moyens de transmission (114) est intégré au système.

[Revendication 7] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- le diaphragme de sélection (7) est configuré pour sélectionner une partie du faisceau laser (5) émis par le module de génération (4), et à délimiter la forme de l'impact du faisceau laser (5) sur un échantillon (2) à analyser,
- la ou les lentilles sont configurées pour projeter à l'infini l'image du faisceau laser (5) en sortie du diaphragme de sélection (7),
- les moyens optiques de focalisation (8) sont configurés pour recevoir l'image du diaphragme de sélection (7) projetée à l'infini par la ou les lentilles et la focaliser sur un échantillon (2) à étudier de façon à produire un plasma sur une surface de cet échantillon (2),

et en ce que le système (1) comprend également des moyens de collecte

(9) d'une émission optique du plasma et des moyens de détermination (10) configurés pour analyser un spectre de l'émission optique et définir une composition élémentaire de l'échantillon (2) à étudier sur lequel le faisceau laser (5) est projeté.

[Revendication 8] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend également une unité informatique (118) couplée à la cellule photosensible (112), l'unité informatique (118) étant configurée pour piloter des actionneurs dédiés au réglage du faisceau laser (5).

[Revendication 9] Dispositif de captation (11) d'un profil du faisceau laser (5) pour système (1) d'analyse selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un miroir de déviation (111) d'un faisceau laser (5), engendrant un faisceau laser dévié (500) ;
- une cellule photosensible (112) destinée à acquérir une image du faisceau laser dévié (500) ;
- des moyens optiques de grandissement (113) du faisceau laser dévié (500), intercalés entre le miroir de déviation (111) et la cellule photosensible (112), et
- des moyens de transmission (114) de l'image acquise par la cellule photosensible (112) à un dispositif d'affichage (12).

[Revendication 10] Procédé de réglage d'un dispositif d'analyse (3) d'un système (1) d'analyse selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

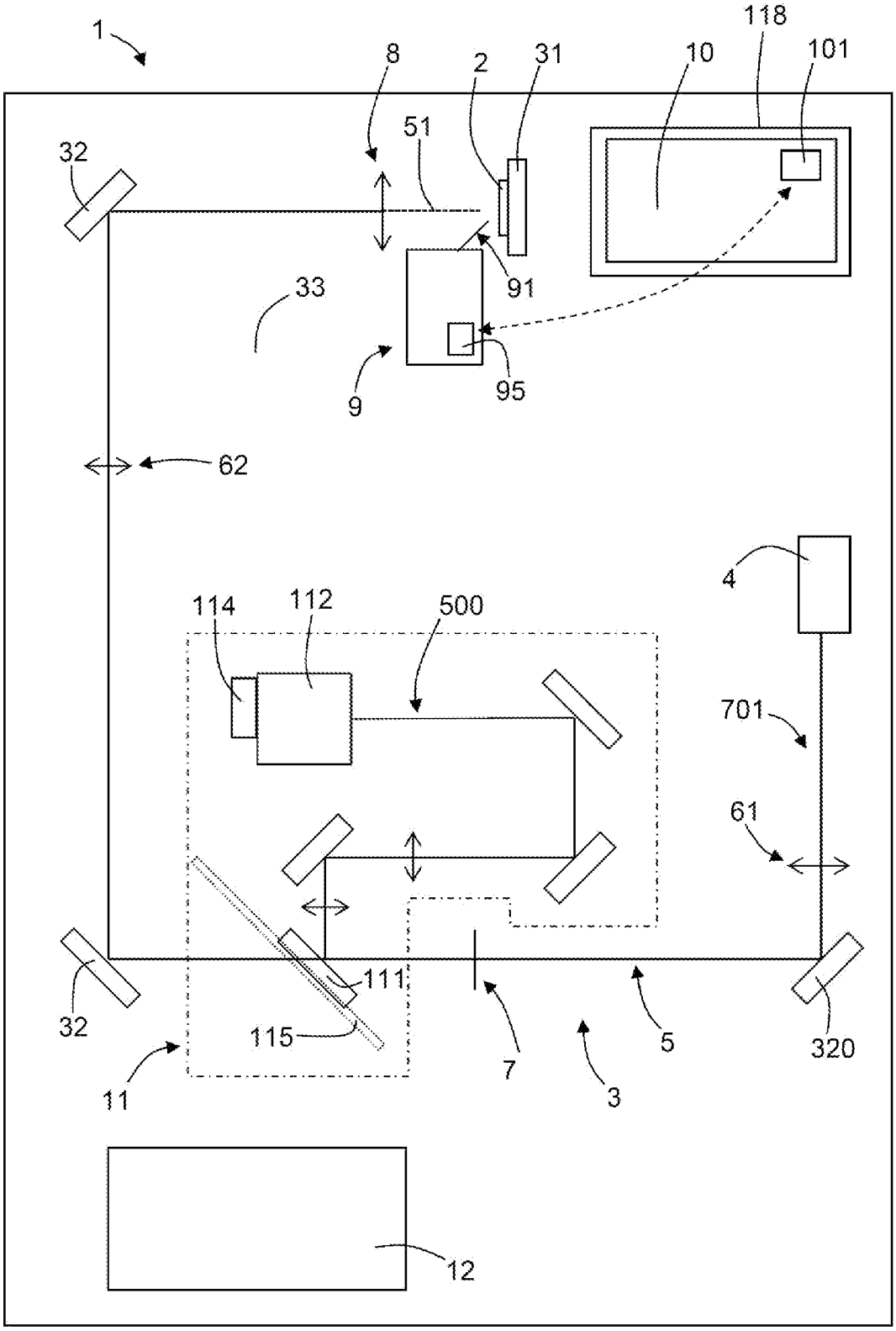
- positionner le miroir de déviation (111) dans sa position de déviation ;
- générer un faisceau laser (5) par le module de génération (4) ;
- capter une image du faisceau dévié (500) par la cellule photosensible (112) ;
- analyser l'image captée par la cellule photosensible (112) pour détecter un défaut de profil du faisceau laser (5) par rapport à un profil théorique ;
- corriger, si un défaut de profil est détecté, une orientation du module de génération (4) et/ou de la lentille de mise en forme (6) ou du diaphragme de sélection (7), et
- recommencer les étapes consistant à capter, analyser et

corriger jusqu'à ce qu'aucun défaut de profil ne soit détecté par rapport au profil théorique .

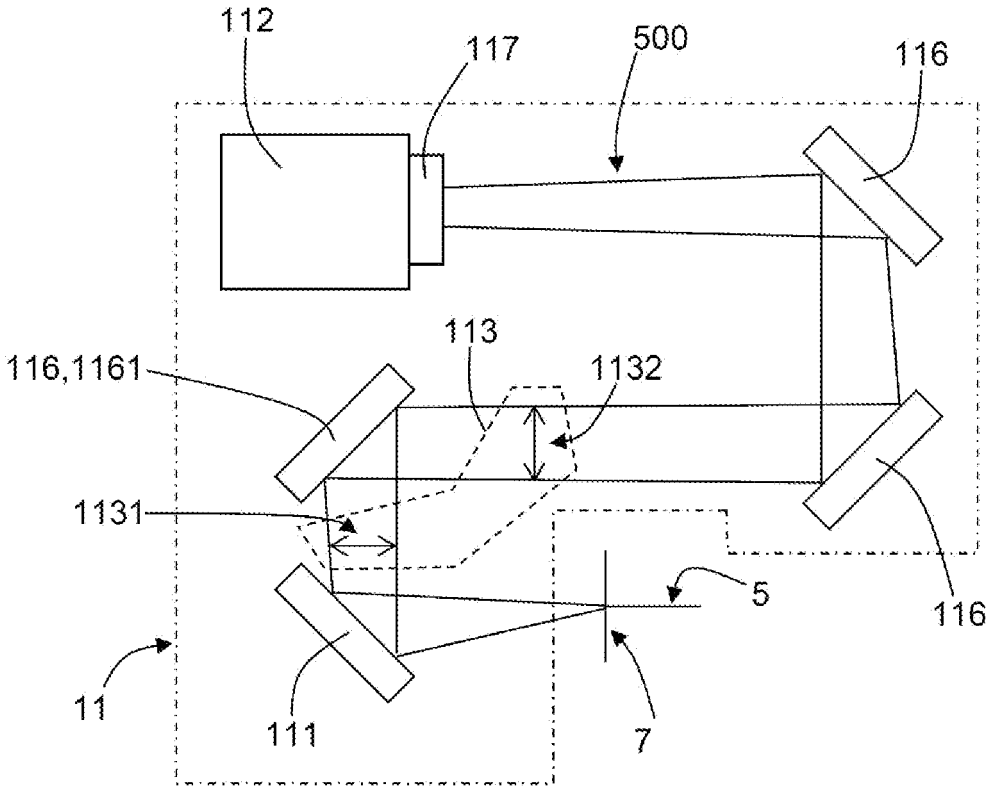
[Revendication 11] Procédé de réglage selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape consistant à analyser l'image comprend également une sous-étape de contrôle de l'homogénéité de l'intensité du faisceau laser (5), et en ce que l'étape consistant à corriger est réalisé lorsqu'une inhomogénéité de l'intensité du faisceau laser (5) est constatée.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comprend également une étape d'asservissement d'actionneurs dédiés au réglage du faisceau laser (5).

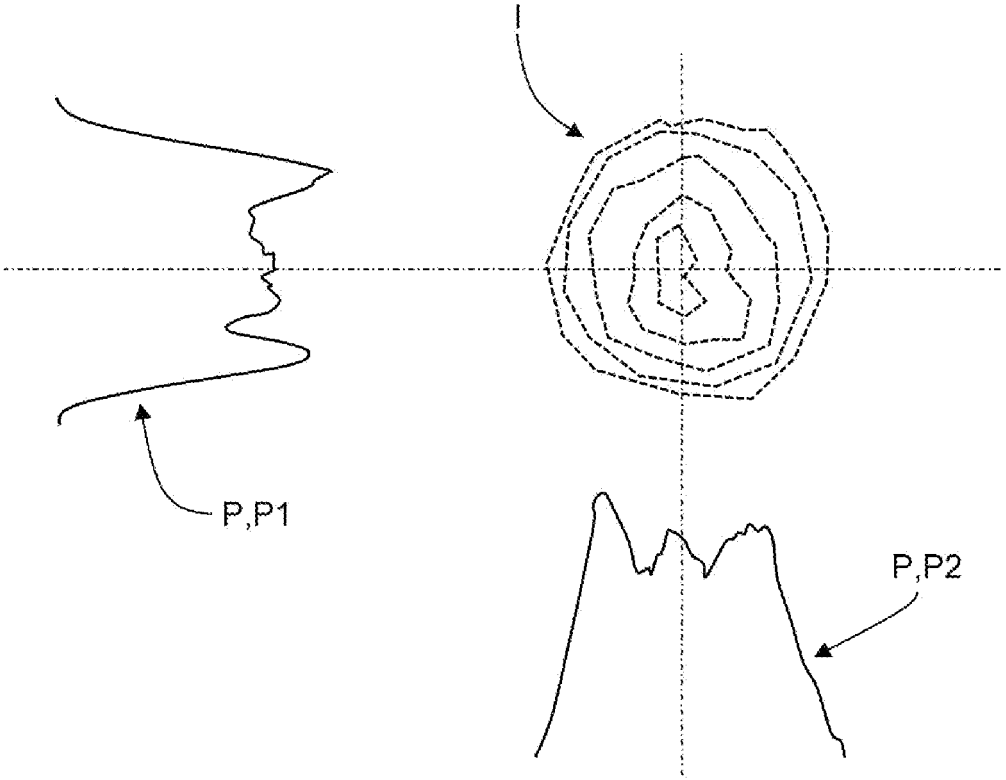
[Fig. 1]


1
8
2
31
10
118
101
51
32
91
33
9
95
62
4
114
112
500
701
61
111
32
115
7
5
320
11
3
12

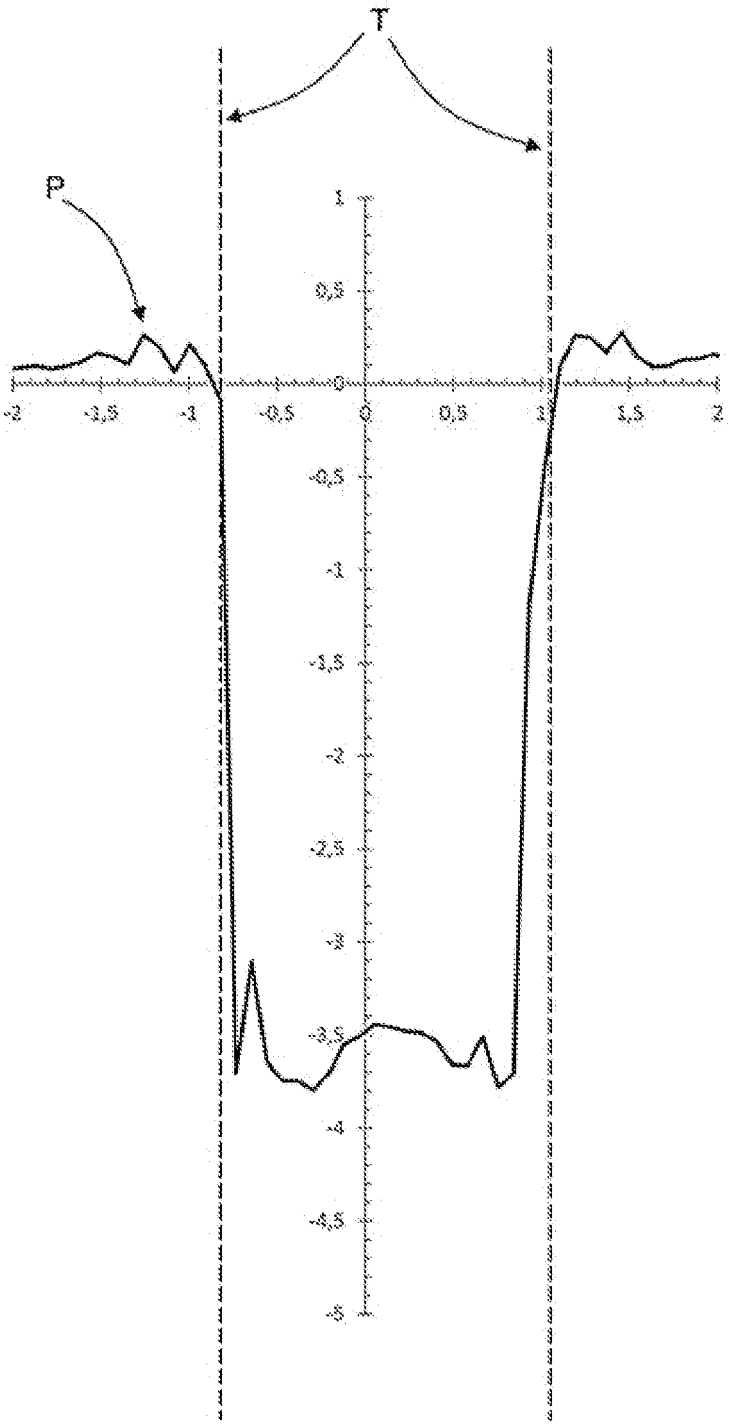
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 914995
FR 2213971

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	CN 113 624 745 A (UNIV TSINGHUA ET AL.) 9 novembre 2021 (2021-11-09) * alinéas [0024], [0031]; figure 1 *	1-7	G01N21/71
Y	SAMEK OTA ET AL: "Femtosecond pulse shaping using a liquid-crystal display: Applications to depth profiling analysis", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, 2 HUNTINGTON QUADRANGLE, MELVILLE, NY 11747, vol. 76, no. 8, 4 août 2005 (2005-08-04), pages 86104-086104, XP012079678, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.1994897 * le document en entier *	1-12	
X	US 2019/061063 A1 (KUKI JUNICHI [JP] ET AL) 28 février 2019 (2019-02-28)	9	
Y	* alinéas [0023] - [0032], [0034] - [0041]; figures 1-2,4-5 *	1-12	
A	ZHAO D ET AL: "Quantification of erosion pattern using picosecond-LIBS on a vertical divertor target element exposed in W7-X", NUCLEAR FUSION, PUBLISHING SECTION. VIENNA, AT, vol. 61, no. 1, 8 décembre 2020 (2020-12-08), page 16025, XP020361320, ISSN: 0029-5515, DOI: 10.1088/1741-4326/ABC408 [extrait le 2020-12-08] * abrégé; figures 3,8 * * Section 3.3. *	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01J G01N

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
22 juin 2023	Riblet, Philippe

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213971 FA 914995

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 22-06-2023
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 113624745 A	09-11-2021	AUCUN	
US 2019061063 A1	28-02-2019	CN 109454324 A	12-03-2019
		DE 102018214335 A1	28-02-2019
		JP 6955932 B2	27-10-2021
		JP 2019039830 A	14-03-2019
		KR 20190022337 A	06-03-2019
		SG 10201807226R A	28-03-2019
		TW 201913049 A	01-04-2019
		US 2019061063 A1	28-02-2019

EPO FORM P0465