

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 16.02.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.08.24 Bulletin 24/34.

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) : PARIS SCIENCES ET LETTRES Fondation — FR, ECOLE SUPERIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS Etablissement public — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) — FR et OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72 Inventeur(s) : MEIMON Serge, BARACAL DE MECE Pedro, THOUVENIN Olivier et KRAFFT Léa.

73 Titulaire(s) : PARIS SCIENCES ET LETTRES Fondation, ECOLE SUPERIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS Etablissement public, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES Etablissement public à caractère industriel et commercial.

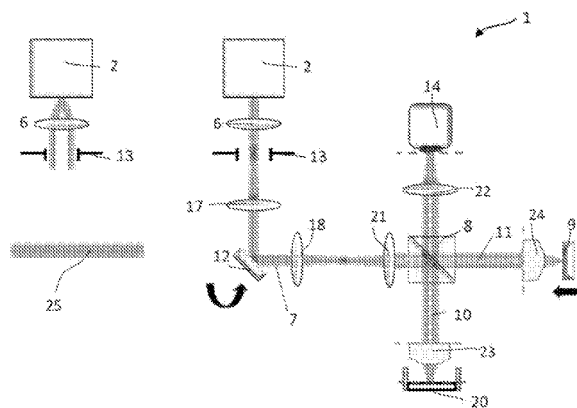
74 Mandataire(s) : IPAZ.

54 Dispositif et procédé pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant.

57 L'invention concerne un dispositif (1) d'imagerie interférométrique comprenant :

un module d'illumination (2) pour générer un faisceau de mesure (10) produisant une ligne lumineuse sur un objet et un faisceau de référence (11) ; des moyens interférométriques (8, 9) pour générer un signal d'interférence entre le faisceau de mesure rétrodiffusé et le faisceau de référence ; un capteur bidimensionnel (14) comprenant un obturateur déroulant ; des moyens de balayage pour déplacer la ligne lumineuse sur l'objet ; un module de synchronisation ayant un premier mode avec un décalage temporel nul entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, le capteur captant le signal d'interférence, et un deuxième mode avec un décalage temporel non nul entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, le capteur captant un signal incohérent ; un module pour produire des images à partir des signaux d'interférence et des signaux incohérents.

Figure pour abrégé : [Fig. 1]



Description

Titre de l'invention : Dispositif et procédé pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne un dispositif pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant. Elle concerne également un procédé pour imager un tel objet.
- [0002] Le domaine de l'invention est, de manière non limitative, celui de l'imagerie de milieux ou objets diffusants, tels que des tissus biologiques.

Etat de la technique

- [0003] De nombreuses techniques d'imagerie sont mises en œuvre dans tous les domaines scientifiques et notamment en médecine.
- [0004] Pour l'imagerie des tissus biologiques complexes, et notamment l'œil in vivo, on peut distinguer des techniques incohérentes et des techniques cohérentes.
- [0005] Les techniques incohérentes peuvent être basées sur une imagerie de réflectance directe ou sur une imagerie de phase et d'absorption.
- [0006] Les techniques cohérentes sont basées sur des mesures interférométriques de la lumière rétrodiffusée par certaines structures du tissu.
- [0007] Les techniques d'imagerie incohérentes sont généralement basées sur la mesure directe de la réflectance.
- [0008] En imagerie incohérente, une configuration plein champ permet de mesurer les photons rétrodiffusés par l'objet avec une caméra. Il s'agit d'une technique rapide permettant d'enregistrer tous les photons en parallèle. Cependant, elle est peu sensible car non seulement les photons rétrodiffusés par une couche d'intérêt sont captés, mais la caméra détecte également des photons diffusés par d'autres couches ou des photons multi-diffusés, ce qui résulte en un bruit de fond élevé.
- [0009] Dans les techniques d'imagerie confocales, les mesures sont réalisées point par point avec un système à balayage dans les deux dimensions transverses pour obtenir une image bidimensionnelle. Un filtrage confocal est réalisé pour filtrer les photons provenant d'autres profondeurs que celle de l'objet mesuré et les photons multiplement diffusés, et permettent donc d'imager avec un meilleur contraste. Cependant, cette technique souffre d'une faible vitesse d'acquisition dû au balayage.
- [0010] La résolution axiale de ces techniques dépend de l'ouverture numérique du système de mesure.
- [0011] Les techniques d'imagerie cohérentes sont généralement basées sur la mesure interférométrique de la lumière rétrodiffusée. Les techniques cohérentes permettent d'avoir accès au champ et à la phase des signaux captés.

- [0012] Une technique cohérente importante est la tomographie en optique cohérente (*Optical Coherence Tomography*, OCT). La tomographie en optique cohérente est une méthode de microscopie optique permettant d'imager, entre autres, des tissus biologiques complexes diffusants en sélectionnant une profondeur d'imagerie par interférométrie à faible cohérence. Dans cette technique interférométrique, un signal d'interférence entre la lumière diffusée par un échantillon et un faisceau de référence est détecté. En faible cohérence, par exemple en lumière blanche, les interférences sont localisées sur une zone étroite définissant la résolution axiale du système de mesure. La résolution axiale est ainsi découplée de la profondeur de champ et peut donc être arbitrairement petite. Grâce à l'interférométrie, les petits signaux sont amplifiés, rendant l'OCT particulièrement sensible.
- [0013] Parmi les techniques d'OCT, on distingue l'OCT en domaine de Fourier (FD-OCT) et l'OCT en domaine temporel.
- [0014] En FD-OCT, le spectre du signal interférométrique provenant d'une colonne de l'échantillon (et donc de différentes profondeurs) est enregistré, et l'information axiale des diffuseurs est récupérée par traitement numérique (Transformée de Fourier). On distingue l'OCT en domaine spectral, qui mesure le spectre grâce à un réseau de diffraction et un détecteur linéaire, et l'OCT à balayage de source, qui mesure le spectre par mesures successives via un détecteur ponctuel en balayant la longueur d'onde de la source optique. L'amplitude et la phase du faisceau échantillon sont obtenus directement par l'opération de Transformée de Fourier.
- [0015] En TD-OCT, le signal d'interférence provenant d'une profondeur donnée est mesuré directement en intégrant toutes les longueurs d'onde via un détecteur ponctuel. L'information de profondeur peut être obtenue en réalisant un balayage axial du miroir de référence. L'amplitude et la phase du signal incident peuvent être récupérés en faisant, par exemple, une modulation dite 4 phases, qui consiste à prendre 4 images successives en décalant le bras de référence de $\pi/2$ entre chaque image. En combinant astucieusement les images, il est possible de filtrer les photons provenant du seul plan de cohérence, et de séparer le terme d'amplitude des interférences et le terme de déphasage.
- [0016] On distingue également l'OCT à balayage, dans laquelle les mesures dans le plan transverse sont réalisées point par point par balayage, et l'OCT plein champ, dans laquelle un signal d'interférence est mesuré dans un plan bidimensionnel transverse et enregistré par une caméra.
- [0017] En TD-OCT à balayage, un scan axial du bras de référence ainsi qu'un scan transverse des positions scannées sont nécessaires pour imager un volume entier. En FD-OCT à balayage, en chaque point du champ de vue, l'information de toute la profondeur de l'échantillon est obtenue via une mesure unidimensionnelle, ty-

piquement avec un spectromètre, mais un scan bidimensionnel est nécessaire.

- [0018] Au contraire, l'OCT plein champ ne nécessite un balayage que dans la seule dimension axiale de l'objet ou échantillon, et permet donc de hautes cadences d'imagerie. Cependant, cette technique possède une sensibilité relativement faible, car les photons qui n'interfèrent pas sont captés par le détecteur, et bien que filtrés, ils contribuent à créer un bruit (bruit de grenaille) sur le détecteur. Il peut donc être avantageux de filtrer ces photons autrement, par exemple avec un filtre confocal, ce qui n'est possible qu'en OCT à balayage. En OCT plein champ, l'acquisition de tous les pixels de l'image simultanément empêche l'utilisation d'un filtrage confocal. L'utilisation d'un filtre confocal est aussi important pour limiter l'influence d'interférences parasites (*cross-talk* en anglais) dû aux photons multi-diffus.

Exposé de l'invention

- [0019] L'invention vise à résoudre les inconvénients de l'art antérieur décrits.
- [0020] Il est notamment un but de l'invention de proposer un dispositif et un procédé pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant permettant de réaliser de l'imagerie en plein champ à une vitesse et une sensibilité élevées.
- [0021] Il est un autre but de la présente invention de proposer un dispositif et un procédé pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant permettant à la fois l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant et l'imagerie incohérente en champ sombre, afin de pouvoir avantageusement combiner des contrastes différents.
- [0022] Il est encore un but de la présente invention de proposer un dispositif pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant dont la configuration est simple et compacte.
- [0023] Au moins un de ces buts est atteint avec un dispositif pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant, comprenant :
- un module d'illumination linéaire à faible cohérence configuré pour générer un faisceau de mesure et un faisceau de référence de section linéaire, le faisceau de mesure produisant une illumination en forme de ligne lumineuse de l'objet dans un champ de vue ;
 - des moyens interférométriques configurés pour générer un signal d'interférence résultant d'interférences entre le faisceau de mesure rétrodiffusé dans la ligne lumineuse et le faisceau de référence ;
 - un capteur bidimensionnel comprenant un obturateur déroulant ;
 - des moyens de balayage configurés pour déplacer la ligne lumineuse sur l'objet dans le champ de vue ;
 - un module de synchronisation configuré pour fonctionner dans un premier mode synchronisé avec un décalage temporel nul entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, dans lequel le capteur est configuré pour capter le

- signal d'interférence, et dans un deuxième mode synchronisé avec un décalage temporel non nul déterminé entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, dans lequel le capteur est configuré pour capter un signal lumineux, dit incohérent, provenant d'une zone non illuminée de l'objet ; et
- un module de traitement d'images configuré pour produire une image en champ clair à partir des signaux d'interférence et pour produire une image en champ sombre à partir des signaux incohérents.

- [0024] Le dispositif d'imagerie selon la présente invention permet d'allier les avantages d'une configuration en plein champ d'un dispositif d'imagerie basé sur l'interférométrie à faible cohérence et d'une configuration en champ sombre, et d'en combiner les contrastes obtenus. L'obturateur déroulant du capteur, et donc l'exposition successive de lignes de pixels du capteur, agit comme un filtrage spatial en temps réel, permettant d'augmenter considérablement la sensibilité de détection par rapport à une configuration en plein champ sans filtrage, et sans qu'un filtrage numérique supplémentaire pendant le traitement d'images soit nécessaire.
- [0025] Le dispositif selon l'invention permet ainsi de réaliser de l'imagerie interférométrique en champ clair. Dans la configuration du premier mode de synchronisation, l'illumination est synchronisée avec l'obturateur déroulant (ou diaphragme numérique dynamique) de sorte que seuls les pixels exposés à chaque pas de temps soient illuminés par de la lumière rétrodiffusée par l'objet et par le bras de référence. Il est possible de réaliser de l'interférométrie à faible cohérence pour imager un objet diffusant et obtenir des images de contraste de réflectivité. La vitesse d'imagerie dans cette configuration est la même que dans une configuration plein champ, tout en augmentant la sensibilité de détection grâce au filtrage spatial.
- [0026] Le module de traitement d'images est configuré pour produire une image en champ clair à partir des signaux d'interférence selon des techniques connues, telles que la modulation en 4 phases ou 5 phases, ou la démodulation synchrone sinusoïdale.
- [0027] Le dispositif selon l'invention permet également de réaliser de l'imagerie en champ sombre. Dans la configuration du deuxième mode de synchronisation, l'illumination est synchronisée avec l'obturateur déroulant de sorte que les pixels exposés à chaque pas de temps ne soient pas illuminés par la lumière rétrodiffusée par l'objet, et respectivement réfléchi dans le bras de référence, mais uniquement par de la lumière multi-diffusée. Cette configuration permet d'obtenir des images de contraste d'absorption et/ou de phase.
- [0028] Le module de traitement d'images est configuré pour produire une image en champ sombre à partir des signaux incohérents, c'est-à-dire, provenant de la lumière multi-diffusée par l'objet et ne produisant pas de signaux d'interférence.
- [0029] De manière importante, le dispositif selon l'invention est configuré pour imager un

objet ou échantillon à la fois en champ clair et en champ sombre, et d'exploiter les mesures obtenues selon les deux modes. La transition d'un mode de synchronisation vers l'autre est réalisée par un simple ajustement du décalage temporel entre l'obturateur déroulant du capteur et les moyens de balayage, sans qu'aucune manipulation mécanique par un opérateur soit nécessaire. Ainsi, à partir d'un même dispositif pouvant fonctionner selon différentes configurations en champ clair et en champ sombre, différents types d'images en plein champ peuvent être obtenus du même objet ou de la même zone de l'objet.

- [0030] Grâce au dispositif selon l'invention, il est possible de passer aisément d'une configuration en plein champ, permettant des mesures de la diffusion de structures à haut contraste d'intensité, à une configuration en champ sombre, à détection décalée, permettant des mesures de contraste de phase et/ou d'absorption. Une séquence avec différents types d'images peut notamment servir pour corriger numériquement les mouvements de l'objet imagé ou d'autres perturbations.
- [0031] Le dispositif selon l'invention permet ainsi, par rapport aux systèmes de l'état de l'art, d'augmenter la cadence d'imagerie tout en augmentant la sensibilité de la détection. Un compromis entre sensibilité et vitesse d'acquisition peut être obtenu en conservant un degré de confocalité dans une dimension transverse tout en parallélisant la détection des pixels dans l'autre dimension transverse avec la ligne lumineuse.
- [0032] Le dispositif selon l'invention permet avantageusement une implémentation facile à mettre en œuvre, ainsi que de bénéficier de la multi-modalité par la mesure du champ sombre.
- [0033] Dans le dispositif selon l'invention, l'illumination et la détection sont découplées, ou indépendantes, l'une de l'autre. Grâce à la présence d'un capteur bidimensionnel avec l'obturateur déroulant, la ligne de détection sur le capteur n'est pas dans une position fixe, il n'est pas nécessaire de « débalayer » la ligne en détection, c'est-à-dire de repasser par le système de scan pour annuler l'angle introduit. Il est alors aisé, moyennant un simple délai temporel, de regarder en dehors de la zone illuminée de l'objet pour obtenir les contrastes de phase et d'absorption. Ceci permet de passer rapidement d'un mode de synchronisation à l'autre.
- [0034] Grâce à la présence d'un capteur optique bidimensionnel (et non un capteur unidimensionnel), le dispositif selon l'invention est robuste par rapport à la non-linéarité des moyens de balayage, pouvant résulter des contraintes mécaniques de ces moyens, et aux aberrations optiques introduites par ceux-ci, pouvant provoquer respectivement des artefacts et une perte de résolution spatiale. Du fait du découplage entre l'illumination et la détection, les non-linéarités des moyens de balayage du faisceau lumineux peut entraîner un délai temporel entre l'illumination et la détection et ainsi la perte du signal. Lorsqu'il n'y a pas de signal, il est alors possible de constater directement la

non-linéarité du système de balayage, ce qui n'est pas possible en imagerie confocale ou ligne. En effet, dans les systèmes confocales et ligne, l'illumination et la détection étant couplées, les non-linéarités du système de balayage provoquent un artefact de distorsion de la structure de l'objet imagé.

- [0035] Le délai temporel pour passer d'un mode à l'autre est typiquement de quelques microsecondes.
- [0036] Une cadence d'imagerie élevée est notamment importante dans le cas de l'imagerie de l'œil, pour s'affranchir des défauts induits par les mouvements de ce dernier.
- [0037] Une sensibilité élevée permet de détecter des structures moins diffusantes, comme des cellules individuelles et leurs organelles.
- [0038] Le capteur bidimensionnel peut être, par exemple, une caméra CMOS (semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire, *complementary metal oxide semiconductor* selon la terminologie anglo-saxonne).
- [0039] Selon un mode de réalisation, le module de synchronisation peut être configuré pour fonctionner alternativement dans le premier mode synchronisé et le deuxième mode synchronisé pour chaque position de la ligne lumineuse dans le champ de vue.
- [0040] Alternativement, le module de synchronisation peut être configuré pour fonctionner dans le premier mode synchronisé et le deuxième mode synchronisé pour l'ensemble du champ de vue.
- [0041] Avantagusement, le module de traitement d'images peut être configuré pour produire une image de contraste de phase à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [0042] En effet, il est possible d'obtenir une image de contraste de phase augmenté en soustrayant deux images prises en champ sombre, représentant également des images de contraste de phase, avec un décalage temporel entre l'obturateur et les moyens de balayage positif ou négatif, respectivement.
- [0043] Alternativement ou en plus, le module de traitement d'images peut être configuré pour produire une image de contraste d'absorption à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [0044] En effet, il est possible d'obtenir une image de contraste d'absorption en additionnant deux images prises en champ sombre avec un décalage temporel entre l'obturateur et les moyens de balayage positif ou négatif, respectivement.
- [0045] Selon un mode de réalisation avantageux, le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre un module d'optique adaptative configuré pour corriger des défauts statiques et/ou dynamiques subis par le front d'onde de l'illumination traversant l'objet.
- [0046] Grâce au module d'optique adaptative, des défauts statiques et/ou dynamiques imposés au front d'onde par l'objet ou l'échantillon, par exemple l'œil humain,

peuvent être efficacement corrigés. L'optique adaptative est particulièrement importante lorsque l'objet à imager est épais avec des variations d'indice optique importantes, et/ou possède une surface non plane. La correction doit être réalisée rapidement, dans le cas des aberrations dynamiques, comme par exemple dans le cas de l'œil humain in vivo. La correction permet de maintenir une résolution élevée pour le dispositif même en présence de défauts ou perturbations. L'optique adaptative permet également d'assurer que l'illumination reste bien en forme de ligne, afin de ne pas limiter le contraste pouvant être obtenu avec le dispositif.

- [0047] De manière avantageuse, le module d'illumination peut comprendre une source lumineuse bidimensionnelle couplée à une lentille génératrice de ligne.
- [0048] Alternativement, le module d'illumination peut comprendre une source lumineuse étendue couplée avec un filtre spatial en forme de ligne, ou avec une matrice de miroirs (*digital micromirror device*, DMD).
- [0049] La source lumineuse peut être une source infrarouge.
- [0050] Les longueurs d'onde infrarouges n'étant que très peu absorbées par les tissus biologiques, elles sont particulièrement adaptées pour l'imagerie de tels tissus.
- [0051] Selon un exemple, la source lumineuse peut être une diode superluminescente (SLD). Les SLD ont l'avantage d'être relativement puissants (quelques milliwatts) et d'avoir une directivité élevée. De plus, leur faible longueur de cohérence temporelle permet d'atténuer les tavelures, c'est-à-dire, des distributions granulaires d'intensité.
- [0052] Selon un autre exemple, la source lumineuse peut être une diode électroluminescente (LED), ou encore un laser à balayage.
- [0053] La lentille génératrice de ligne peut être une lentille cylindrique ou une lentille de Powell.
- [0054] Une lentille de Powell garantit une distribution d'intensité homogène le long de la ligne lumineuse générée.
- [0055] Selon un autre aspect de la même invention, il est proposé un procédé pour imager un objet diffusant. Le procédé est mis en œuvre par un dispositif pour l'imagerie interférométrique comprenant un module d'illumination linéaire faible cohérence configuré pour générer un faisceau de mesure et un faisceau de référence de section linéaire, des moyens interférométriques, un capteur bidimensionnel comprenant un obturateur déroulant, des moyens de balayage, un module de synchronisation et un module de traitement d'images, et notamment par un dispositif d'imagerie interférométrique selon la présente invention.
- [0056] Le procédé selon l'invention comprend les étapes suivantes :
- [0057] - illumination de l'objet avec le faisceau de mesure produisant une illumination en forme de ligne lumineuse dans le champ de vue ;
- [0058] - génération d'un signal d'interférence résultant d'interférences entre le faisceau de

mesure rétrodiffusé dans la ligne lumineuse et le faisceau de référence ;

[0059] - balayage, par les moyens de balayage, de la ligne lumineuse sur l'objet dans le champ de vue ;

[0060] - synchronisation, par le module de synchronisation, des moyens de balayage et de l'obturateur déroulant avec un décalage temporel nul dans un premier mode synchronisé, dans lequel le capteur est configuré pour capter le signal d'interférence, et avec un décalage temporel non nul déterminé dans un deuxième mode synchronisé, dans lequel le capteur est configuré pour capter un signal lumineux, dit incohérent, provenant d'une zone non illuminée de l'objet ;

[0061] - détection, par le capteur, d'un signal d'interférence et/ou d'un signal incohérent ;

[0062] - production, par le module de traitement d'images, d'une image en champ clair à partir des signaux interférométriques et d'une image en champ sombre à partir des signaux incohérents.

[0063] De manière avantageuse, les étapes de synchronisation et de détection peuvent être réalisées alternativement pour produire une image en champ clair et pour produire une image en champ sombre successivement.

[0064] Il est en effet aisé de passer du premier mode synchronisé au deuxième mode synchronisé en ajustant le décalage temporel entre l'obturateur déroulant du capteur et les moyens de balayage. Des images en champ clair et en champ sombre peuvent ainsi être obtenues du même objet ou de la même partie de l'objet, permettant de combiner les avantages des deux modes pour obtenir d'avantage d'informations de l'objet imagé.

[0065] Selon un mode de réalisation avantageux, le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une étape de production d'une image de contraste de phase à partir d'au moins deux images en champ sombre.

[0066] Alternativement ou en plus, le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une étape de production d'une image de contraste d'absorption à partir d'au moins deux images en champ sombre.

[0067] Le procédé selon l'invention peut également comprendre une étape de correction de défauts statiques et/ou dynamiques subis par le front d'onde de l'illumination traversant l'objet.

[0068] Pour cela, un module d'optique adaptative peut être mis en œuvre comme décrit ci-dessus.

[0069] Le dispositif et le procédé selon l'invention peuvent être mis en œuvre dans de nombreuses applications nécessitant l'imagerie de structures, objets ou échantillons diffusants. Le dispositif et le procédé selon l'invention peuvent être mis en œuvre dans tous les domaines où la tomographie en optique cohérente (OCT) est utilisée et utile, à savoir, le diagnostic médical d'échantillons chirurgicaux, le diagnostic médical ophtalmologique (par exemple, de la cornée ou de la rétine) in vivo, et l'imagerie

d'échantillons biologiques. Cette dernière application est particulièrement importante en pharmacologie, notamment pour l'imagerie des organoïdes.

- [0070] Le dispositif et le procédé selon l'invention peuvent notamment être mis en œuvre dans l'OCT plein champ (FF-OCT), dans le domaine temporel ou spectral, ou dans l'OCT Fourier (FD-OCT) à balayage de source.
- [0071] Le dispositif et le procédé selon l'invention peuvent également être utilisés pour l'imagerie de matériaux divers.
- [0072] Plus particulièrement pour l'imagerie de la rétine, le dispositif et le procédé selon l'invention permettent d'observer la plupart des structures d'intérêt dans une rétine, qu'elles soient hautement rétro-diffusantes, comme les cônes et les bâtonnets, ou faiblement diffusantes en champ clair, ou moins diffusantes en champ sombre, comme par exemple des cellules ganglionnaires et capillaires sanguins. Les hautes cadences atteignables et le large de champ de vue imagé permettent de répondre à un besoin médical de scanner la zone la plus large possible tout en limitant le temps d'imagerie pour le patient en diminuant ainsi des artefacts de mouvement. La haute cadence permet également d'imager le flux sanguin dans des capillaires présents dans la rétine.

Description des figures et modes de réalisation

- [0073] D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'exemples nullement limitatifs, et des dessins annexés sur lesquels :
 - [Fig.1] la [Fig.1] est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un dispositif d'imagerie interférométrique selon l'invention ;
 - [Fig.2] la [Fig.2] est une représentation schématique d'un exemple d'un module d'illumination du dispositif selon l'invention ;
 - [Fig.3] la [Fig.3] montre une représentation schématique d'un premier mode de synchronisation mis en œuvre par le dispositif selon l'invention ; et
 - [Fig.4] la [Fig.4] montre une représentation schématique d'un deuxième mode de synchronisation mis en œuvre par le dispositif selon l'invention.
- [0074] Il est bien entendu que les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs. En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont combinables entre eux si rien ne s'oppose à cette combinaison sur le plan technique.
- [0075] Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures peuvent conserver la même référence.
- [0076] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un mode de réalisation non limitatif d'un dispositif d'imagerie interférométrique selon la présente invention.
- [0077] Le dispositif 1, tel que représenté sur la [Fig.1], peut être mis en œuvre pour réaliser les étapes d'un procédé d'imagerie interférométrique selon la présente invention. Des

exemples de réalisation du dispositif et du procédé selon l'invention seront décrits par la suite.

- [0078] Le dispositif 1 comprend un module d'illumination linéaire 2, des moyens interférométriques, des moyens de balayage 12 et un capteur d'images bidimensionnel 14.
- [0079] Le module d'illumination linéaire 2 comprend une source lumineuse à faible cohérence. Le module 2 permet de produire un faisceau lumineux de section linéaire, et ainsi un éclairage en forme de ligne dans le plan de l'objet 20 ou de l'échantillon à imager. Un exemple d'un tel module d'illumination est illustré sur la [Fig.2].
- [0080] Le module d'illumination 2, tel que représenté sur la [Fig.2], comprend une diode superluminescente (SLD) fibrée 3, un collimateur 4 et une lentille génératrice de ligne 5. La lentille 5 génératrice de ligne est de préférence une lentille de Powell. La lentille 5 peut également être une lentille cylindrique.
- [0081] La SLD 3 est une source bidimensionnelle. Elle a une émission large bande et une faible longueur de cohérence temporelle. Elle peut par exemple émettre à une longueur d'onde de 850 nm avec une bande passante spectrale de 55 nm.
- [0082] De manière alternative, la sortie de la source lumineuse peut également être non fibrée. Dans ce cas, si le faisceau lumineux sortant est déjà parallèle, un collimateur n'est pas nécessaire.
- [0083] Le faisceau 7 de la SLD 3 traverse le collimateur 4 et la lentille de Powell 5 qui convertit le faisceau collimaté en faisceau divergent de section linéaire. Le faisceau converti présente un angle d'ouverture dans une direction mais reste collimaté dans la direction orthogonale.
- [0084] La [Fig.1] illustre la forme du faisceau lumineux 7 sortant du module d'illumination 2 dans les deux plans (x, z) et (y, z), ainsi que sa section linéaire 25 dans le plan (x, y).
- [0085] Toujours en référence à la [Fig.1], un doublet achromatique 6 positionné en sortie du module d'illumination 2 permet ensuite de limiter le champ d'illumination dans la direction dans laquelle le faisceau est divergent, afin de minimiser les pertes de puissance. En superposant les plans focaux de la lentille cylindrique 5 et du doublet 6, une ligne lumineuse collimatée est formée après le doublet 6.
- [0086] Afin de garantir une illumination homogène sur les bords de la ligne lumineuse, et comme illustré sur la [Fig.1], une fente 13 peut être placée dans le plan focal image du doublet achromatique 6, ce plan focal étant conjugué au plan de l'objet ou échantillon à imager.
- [0087] Le dispositif 1 comprend également des moyens interférométriques. Dans le mode de réalisation représenté sur la [Fig.1], les moyens interférométriques comprennent un cube séparateur de faisceau 8 ainsi qu'un miroir 9 déplaçable. Le faisceau lumineux 7, en forme de ligne, issu du module d'illumination 2 est séparé par le cube séparateur 8 en un faisceau de mesure 10 et un faisceau de référence 11, formant un bras de mesure

et un bras de référence, respectivement, de l'interféromètre. Le faisceau de mesure 10 est dirigé vers l'objet 20 et focalisé sur celui-ci à l'aide d'une lentille 21 et un objectif 23, de façon à ce que l'objet soit illuminé avec la ligne lumineuse générée par le module d'illumination 2. La lumière diffusée par l'objet 20 repasse par le cube séparateur 8.

- [0088] Le miroir déplaçable 9 permet de varier la longueur du bras de référence. Le faisceau de référence 11, focalisé sur le miroir 9 par la lentille 21 et un objectif 24, est réfléchi par le miroir 9 vers le cube séparateur 8. Le faisceau de référence 11 interfère alors avec la lumière diffusée par l'objet 20.
- [0089] Dans le mode de réalisation représenté dans la [Fig.1], les moyens interférométriques sont agencés selon la configuration dite de Linnik.
- [0090] Bien entendu, d'autres configurations pour l'interféromètre sont envisageables.
- [0091] La ligne lumineuse est balayée sur l'objet 20 à imager, dans le champ de vue, à l'aide de moyens de balayage. Pour cela, le faisceau lumineux 7 émis par le module d'illumination est dirigé vers un miroir galvanométrique 12. Celui-ci permet de diriger le faisceau de mesure 10 vers l'objet 20 selon un angle variable, permettant de balayer l'ensemble du champ de vue avec la ligne lumineuse formée par le module d'illumination 2. Le faisceau de référence est également balayé par le miroir galvanométrique 12 sur le miroir de référence 9.
- [0092] L'amplitude du balayage peut être ajustée pour fournir un champ de vue déterminé. La fréquence de balayage du miroir galvanométrique est identique à la fréquence d'acquisition d'images plein champ sur le champ de vue. Par exemple, pour acquérir des images sur le champ de vue entier, la vitesse de balayage peut être de 100 Hz, et pour des images sur la moitié du champ de vue, la vitesse de balayage peut être de 200 Hz.
- [0093] L'illumination de l'objet 20 doit être en forme de ligne dans le plan focal image, et le miroir galvanométrique 12 doit se trouver dans le plan pupille pour que l'angle du miroir 12 permette un changement de position seul de la ligne lumineuse sur l'objet.
- [0094] Deux lentilles 17, 18 agencées de part et d'autre du miroir galvanométrique 12 permettent de passer d'un plan image à un plan pupille.
- [0095] Le dispositif 1 selon l'invention comprend un capteur bidimensionnel 14 configuré pour détecter des signaux d'interférence ainsi que de la lumière diffusée par l'objet. Les signaux lumineux sont focalisés sur le détecteur à l'aide d'une lentille 22. Le capteur 14 comprend un obturateur déroulant. Cet obturateur est un obturateur contrôlable électroniquement. Il est notamment possible d'ajuster la largeur de l'obturateur afin de définir le nombre de rangées ou lignes de pixels du capteur 14 qui sont exposés. Le temps de pose par rangée de pixels du capteur 14 est constant. La vitesse de l'obturateur déroulant est définie par la fréquence d'images du capteur 14.

- [0096] Le capteur 14 est par exemple une caméra CMOS équipée d'un obturateur déroulant.
- [0097] Le dispositif 1 selon l'invention comprend un module de synchronisation (non représenté) pour gérer le mode de synchronisation entre les moyens de balayage et l'obturateur déroulant du capteur 14.
- [0098] Un premier et un deuxième mode de synchronisation sont illustrés schématiquement sur les figures 3 et 4, respectivement. Dans les figures 3 et 4, le champ de vue du capteur est représenté par une matrice de 15 x 9 pixels 31. La ligne lumineuse résultante de la superposition de la lumière rétrodiffusée 32 et de la lumière réfléchie par le bras de référence sur le capteur est illustrée par un fond grisé. L'obturateur déroulant exposant les trois rangées de pixels est illustré par un rectangle 33 au trait épais.
- [0099] Dans un premier mode de synchronisation, le décalage temporel entre les moyens de balayage et l'obturateur déroulant est nul. Dans ce cas, le capteur capte la zone de l'objet illuminée par la ligne lumineuse, il détecte alors le signal d'interférence entre la lumière diffusée par l'objet et le faisceau de référence, pour chaque zone en forme de ligne illuminée sur l'objet. Il s'agit d'une détection en champ clair.
- [0100] Le principe de fonctionnement du premier mode de synchronisation est illustré dans la [Fig.3].
- [0101] Dans le premier mode de synchronisation, la lumière rétrodiffusée directement, en forme de ligne, par l'objet ainsi que le faisceau de référence sont détectés par les rangées de pixels 31 du capteur exposées par l'obturateur déroulant. Pour synchroniser l'obturateur déroulant avec les moyens de balayage, et notamment le miroir galvanométrique, un signal électronique déclencheur de type TTL (*transistor-transistor logic*) peut être généré et envoyé au capteur, de manière synchrone à un signal de tension linéaire, de type dent de scie généré et envoyé au miroir galvanométrique, par exemple avec une carte de sortie analogique.
- [0102] Pour filtrer la lumière multi-diffusée et non focalisée, le centre de la ligne lumineuse rétrodiffusée doit coïncider avec le centre des rangées de pixels exposés par l'obturateur.
- [0103] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.3], la ligne lumineuse rétrodiffusée 32 éclaire trois rangées de pixels 31 sur le capteur. La vitesse de l'obturateur déroulant est de t_i par rangée. L'exposition de la première rangée de pixels commence au moment t_0 , qui correspond par exemple à la montée du signal déclencheur. L'exposition de la rangée de pixels suivant commence après t_i , et ainsi de suite jusqu'à la dernière rangée de pixels de l'image.
- [0104] Le temps d'exposition t_{exp} est, par exemple, 50 μs , pour une fréquence d'acquisition de 200 Hz. Cela correspond à laisser chaque ligne exposée pendant l'équivalent de 10 rangées de pixels. Pour une largeur de la ligne d'illumination de 10 rangées de pixels sur le capteur 14, choisir un temps d'exposition de 50 μs est optimal. Pour un champ de

vue de 1000 rangées de pixels, cela correspond à un temps d'acquisition de 5,05 ms par image.

- [0105] Une image complète est acquise lorsque l'ensemble des pixels correspondant au champ de vue, soit les 1000 rangées, ont été exposées, c'est-à-dire en 5,05 ms. Pour obtenir une image à partir des signaux d'interférence, des méthodes connues (telles que la FD-OCT ou TD-OCT) peuvent être mises en œuvre.
- [0106] Le miroir galvanométrique revient à sa position initiale avant l'acquisition d'une nouvelle image.
- [0107] Les images obtenues selon ce premier mode de synchronisation sont des images de contraste de réflectance.
- [0108] Dans un deuxième mode de synchronisation, le décalage temporel entre les moyens de balayage et l'obturateur déroulant est non nul. Dans ce cas, le capteur capte un signal lumineux incohérent, provenant d'une zone non illuminée de l'objet. Il s'agit de la détection en champ sombre de la lumière multi-diffusée par l'objet.
- [0109] Le principe de fonctionnement du deuxième mode de synchronisation est illustré dans la [Fig.4].
- [0110] Dans le deuxième mode de synchronisation, la lumière rétrodiffusée directement, en forme de ligne, par l'objet ainsi que le faisceau de référence ne sont pas détectés par le capteur. Par conséquent, le capteur ne détecte pas de signaux d'interférence.
- [0111] Ici, l'obturateur déroulant du capteur est temporellement décalé par rapport au miroir galvanométrique (et donc la ligne lumineuse 32 sur le capteur) d'un temps de $3t_i$. Dans l'exemple représenté dans la [Fig.4], l'obturateur déroulant 33 est en avance par rapport à l'illumination. Dans le plan de la figure, les pixels exposés se trouvent alors en dessous des pixels éclairés.
- [0112] La ligne lumineuse rétrodiffusée 34 éclaire deux rangées 32 de pixels 31 sur le capteur, et la vitesse de l'obturateur déroulant est de t_i par rangée. L'exposition de la première rangée de pixels commence au moment t_0 , qui correspond par exemple à la montée du signal déclencheur. L'exposition de la rangée de pixels suivant commence après t_i , et ainsi de suite jusqu'à la dernière rangée de pixels de l'image. L'obturateur déroulant expose également deux rangées 35 de pixels, décalés de trois rangées par rapport aux rangées 32 éclairés.
- [0113] Bien entendu, l'obturateur déroulant peut également être retardé par rapport à l'illumination.
- [0114] Les images obtenues selon ce deuxième mode de synchronisation sont des images de champ sombre, à partir desquelles on peut générer des images de contraste de phase et d'absorption.
- [0115] Dans le dispositif selon l'invention, le module de synchronisation est configuré pour fonctionner dans le premier et le deuxième mode de synchronisation, en combinant

l'imagerie en champ clair et en champ sombre pour améliorer la qualité de l'imagerie par le dispositif.

- [0116] Pour obtenir une image de contraste de phase augmenté, deux images prises en champ sombre, représentant également des images de contraste de phase, peuvent être soustraites. L'une des deux images d'origine est captée avec un décalage temporel entre l'obturateur et les moyens de balayage positif, et l'autre image d'origine avec un décalage temporel négatif. Les décalages temporels ont de préférence la même valeur, mais changent uniquement de signe.
- [0117] Pour obtenir une image de contraste d'absorption, deux images prises en champ sombre peuvent être additionnées. L'une des deux images d'origine est captée avec un décalage temporel entre l'obturateur et les moyens de balayage positif, et l'autre image d'origine avec un décalage temporel négatif.
- [0118] Les paramètres du balayage et de la synchronisation, tels que le signal électronique déclencheur, la largeur et la vitesse de l'obturateur déroulant ou les différents décalages temporels mis en œuvre, peuvent être contrôlés via une interface utilisateur.
- [0119] De manière avantageuse, le dispositif selon l'invention peut également comprendre un module d'optique adaptative. Le module d'optique adaptative permet de mesurer et corriger un front d'onde aberré, par exemple dû à des mouvements de l'objet imagé, et donc d'améliorer la résolution des images.
- [0120] Le module d'optique adaptative comprend une source lumineuse (dite source d'analyse) telle qu'une diode super lumineuse fibrée, un capteur de front d'onde, par exemple de type Shack-Hartmann, et un miroir déformable. La longueur d'onde ou la bande spectrale de la source d'analyse est de préférence différente de celle de la source utilisée pour l'imagerie ; sinon, des filtres spectraux peuvent être utilisés pour séparer les sources. Le faisceau de la source lumineuse est dirigé vers l'objet. Le front d'onde déformé de la lumière rétrodiffusée par l'objet est dirigé vers le miroir déformable et réfléchi vers le capteur de front d'onde qui mesure la déformation du front d'onde. Le miroir déformable, qui fonctionne en tant que correcteur de front d'onde, est contrôlé en temps réel pour corriger le front d'onde détecté par le capteur de front d'onde.
- [0121] Dans le cas présent, le module d'optique adaptative doit être agencé dans le bras de mesure de l'interféromètre.
- [0122] Le front d'onde est corrigé à la fois pour le faisceau de mesure allant vers l'objet et le faisceau diffusé de l'objet, le correcteur de front d'onde étant placé dans un chemin commun à l'illumination et à l'imagerie.
- [0123] Le dispositif selon l'invention comprend également un module de traitement d'images.
- [0124] Le module de traitement d'images permet de produire une image d'interférence en champ clair à partir des signaux d'interférence. Différentes méthodes peuvent être

utilisées pour obtenir une image d'interférence à partir d'un signal d'interférence, en prenant des images successives à différentes positions du miroir de référence, telles que l'imagerie quatre phases, cinq phases, ou la détection synchrone. Ces méthodes sont connues et ne seront pas exposées plus en détails.

- [0125] Le module de traitement d'images permet également de produire une image en champ sombre à partir des signaux incohérents.
- [0126] Le module de traitement d'images comprend au moins un ordinateur, une unité centrale ou de calcul, un microprocesseur, et/ou des moyens logiciels adaptés.
- [0127] Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Dispositif (1) pour l'imagerie interférométrique d'un objet diffusant (20), comprenant :

- un module d'illumination linéaire faible cohérence (2) configuré pour générer un faisceau de mesure (10) et un faisceau de référence (11) de section linéaire, le faisceau de mesure (10) produisant une illumination en forme de ligne lumineuse de l'objet (20) dans un champ de vue ;
- des moyens interférométriques (8, 9) configurés pour générer un signal d'interférence résultant d'interférences entre le faisceau de mesure rétrodiffusé dans la ligne lumineuse et le faisceau de référence ;
- un capteur bidimensionnel (14) comprenant un obturateur déroulant ;
- des moyens de balayage (12) configurés pour déplacer la ligne lumineuse sur l'objet (20) dans le champ de vue ;
- un module de synchronisation configuré pour fonctionner dans un premier mode synchronisé avec un décalage temporel nul entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, dans lequel le capteur (14) est configuré pour capter le signal d'interférence, et dans un deuxième mode synchronisé avec un décalage temporel non nul déterminé entre l'obturateur déroulant et les moyens de balayage, dans lequel le capteur (14) est configuré pour capter un signal lumineux, dit incohérent, provenant d'une zone non illuminée de l'objet (20) ;
et
- un module de traitement d'images configuré pour produire une image en champ clair à partir des signaux d'interférence et pour produire une image en champ sombre à partir des signaux incohérents.

[Revendication 2]

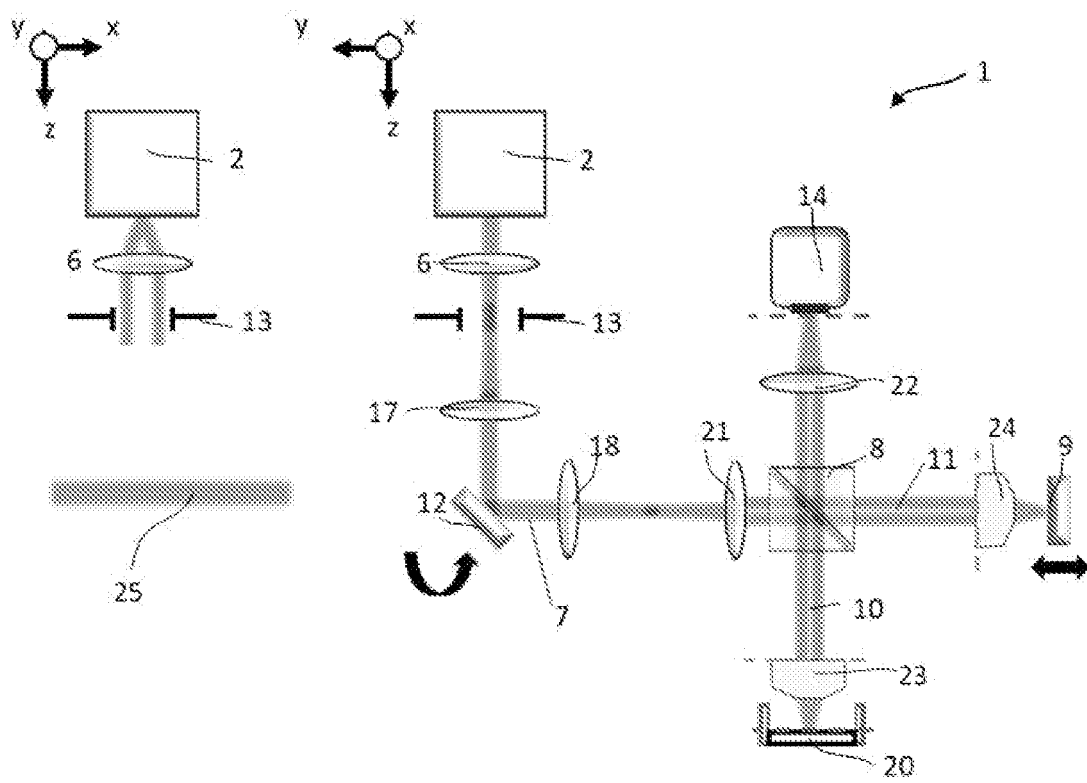
Dispositif (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le module de synchronisation est configuré pour fonctionner alternativement dans le premier mode synchronisé et le deuxième mode synchronisé pour chaque position de la ligne lumineuse dans le champ de vue.

- [Revendication 3] Dispositif (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le module de traitement d'images est configuré pour produire une image de contraste de phase à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [Revendication 4] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module de traitement d'images est configuré pour produire une image de contraste d'absorption à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [Revendication 5] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un module d'optique adaptative configuré pour corriger des défauts statiques et/ou dynamiques subis par le front d'onde de l'illumination traversant l'objet (20).
- [Revendication 6] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module d'illumination (2) comprend une source lumineuse infrarouge (3).
- [Revendication 7] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le module d'illumination (2) comprend une source lumineuse bidimensionnelle (3) couplée à une lentille (5) génératrice de ligne.
- [Revendication 8] Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le capteur (14) est un capteur à semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire.
- [Revendication 9] Procédé pour imager un objet diffusant (20), le procédé étant mis en œuvre par un dispositif (1) pour l'imagerie interférométrique comprenant un module d'illumination linéaire faible cohérence (2) configuré pour générer un faisceau de mesure (10) et un faisceau de référence (11) de section linéaire, des moyens interférométriques (8, 9), un capteur bidimensionnel (14) comprenant un obturateur déroulant, des moyens de balayage, un module de synchronisation et un module de traitement d'images, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- illumination de l'objet avec le faisceau de mesure (10) produisant une illumination en forme de ligne lumineuse dans le champ de vue ;
 - génération d'un signal d'interférence résultant d'interférences entre le faisceau de mesure rétrodiffusé dans la ligne lumineuse et le faisceau de référence ;

- balayage, par les moyens de balayage, de la ligne lumineuse sur l'objet (20) dans le champ de vue ;
- synchronisation, par le module de synchronisation, des moyens de balayage et de l'obturateur déroulant avec un décalage temporel nul dans un premier mode synchronisé, dans lequel le capteur (14) est configuré pour capter le signal d'interférence, et avec un décalage temporel non nul déterminé dans un deuxième mode synchronisé, dans lequel le capteur (14) est configuré pour capter un signal lumineux, dit incohérent, provenant d'une zone non illuminée de l'objet (20) ;
- détection, par le capteur (14), d'un signal d'interférence et/ou d'un signal incohérent ;
- production, par le module de traitement d'images, d'une image en champ clair à partir des signaux interférométriques et d'une image en champ sombre à partir des signaux incohérents.

- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que les étapes de synchronisation et de détection sont réalisées alternativement pour produire une image en champ clair et pour produire une image en champ sombre successivement.
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de production d'une image de contraste de phase à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de production d'une image de contraste d'absorption à partir d'au moins deux images en champ sombre.
- [Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de correction de défauts statiques et/ou dynamiques subis par le front d'onde de l'illumination traversant l'objet.

[Fig. 1]



[Fig. 2]

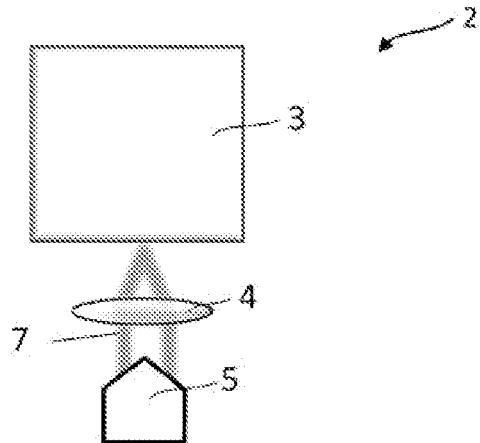


Fig. 2

[Fig. 3]

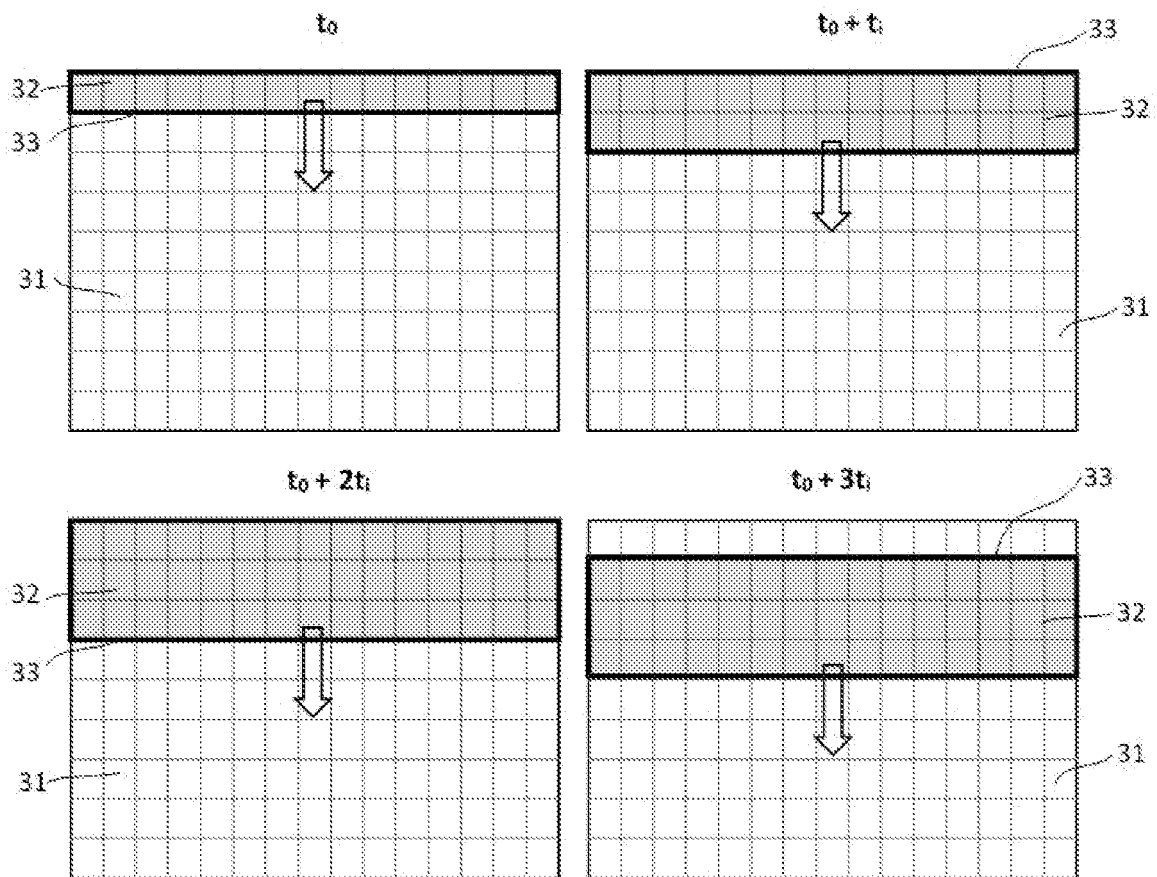


Fig. 3

[Fig. 4]

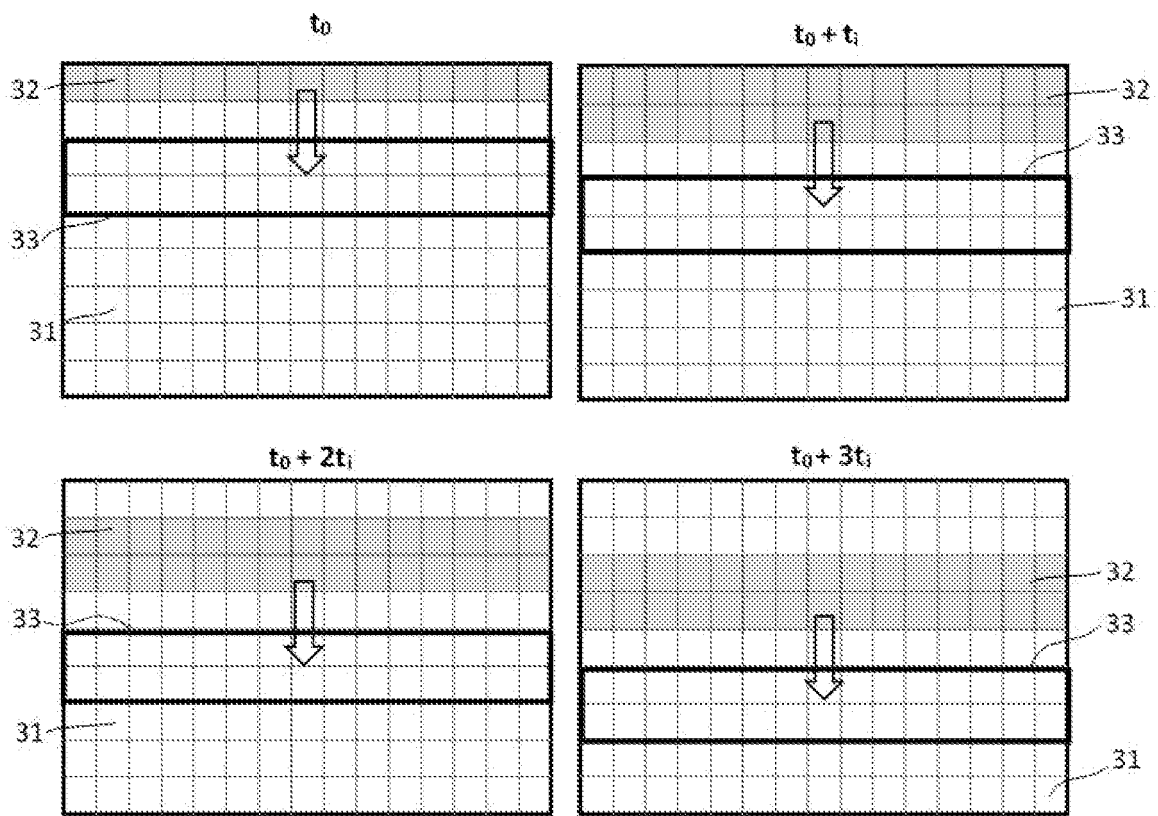


Fig. 4

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 918228
FR 2301470

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		
X	US 2022/175246 A1 (MORIGUCHI YOSHIKIYO [JP]) 9 juin 2022 (2022-06-09)	1, 9	G01B 9/0209
Y	* abrégé *	2-8,	G02B 26/10
	* revendications 1-27; figures 1-6 *	10-13	
	* alinéas [0067], [0079], [0089] - [0240] - alinéa [0240] *		

Y	FR 3 112 866 A1 (DAMAE MEDICAL [FR]) 28 janvier 2022 (2022-01-28)	2-8,	
	* abrégé *	10-13	
	* alinéa [0076] - alinéa [0089] *		
	* figure 1B *		

Y	US 8 237 835 B1 (MULLER MATTHEW STEFAN [US]) 7 août 2012 (2012-08-07)	2-8,	
	* abrégé *	10-13	
	* figure 12 *		
	* colonne 21, ligne 16 - ligne 42 *		

A	WO 2017/046225 A1 (ZEISS CARL MEDITEC INC [US]; ZEISS CARL MEDITEC AG [DE]) 23 mars 2017 (2017-03-23)	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
	* abrégé *		A61B

A	FR 3 101 702 A1 (FOGALE NANOTECH [FR]) 9 avril 2021 (2021-04-09)	1	
	* abrégé *		

A	WO 2010/150496 A1 (CANON KK [JP]; MUTO KENJI [JP] ET AL.) 29 décembre 2010 (2010-12-29)	1	
	* abrégé *		

Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
20 octobre 2023		Tommaseo, Giovanni	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2301470 FA 918228

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 **20-10-2023**
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
US 2022175246 A1	09-06-2022	CN 114364303 A	15-04-2022	
		EP 4029428 A1	20-07-2022	
		JP 7216218 B2	31-01-2023	
		JP WO2021049243 A1	18-03-2021	
		US 2022175246 A1	09-06-2022	
		WO 2021049243 A1	18-03-2021	

FR 3112866 A1	28-01-2022	AU 2021314471 A1	23-02-2023	
		BR 112023001071 A2	04-04-2023	
		CA 3189741 A1	27-01-2022	
		CN 116134361 A	16-05-2023	
		EP 4185914 A1	31-05-2023	
		FR 3112866 A1	28-01-2022	
		IL 299821 A	01-03-2023	
		JP 2023530196 A	13-07-2023	
		WO 2022017784 A1	27-01-2022	

US 8237835 B1	07-08-2012	AU 2012202900 B1	30-08-2012	
		CA 2777315 A1	19-11-2012	
		DK 2527901 T3	23-02-2015	
		EP 2527901 A2	28-11-2012	
		ES 2530742 T3	05-03-2015	
		US 8237835 B1	07-08-2012	

WO 2017046225 A1	23-03-2017	CN 108027229 A	11-05-2018	
		EP 3350540 A1	25-07-2018	
		EP 4155661 A2	29-03-2023	
		US 2018259316 A1	13-09-2018	
		US 2020064117 A1	27-02-2020	
		US 2021018311 A1	21-01-2021	
		US 2022268565 A1	25-08-2022	
		WO 2017046225 A1	23-03-2017	

FR 3101702 A1	09-04-2021	CN 114746713 A	12-07-2022	
		EP 4042098 A1	17-08-2022	
		FR 3101702 A1	09-04-2021	
		KR 20220073765 A	03-06-2022	
		US 2022397392 A1	15-12-2022	
		WO 2021069199 A1	15-04-2021	

WO 2010150496 A1	29-12-2010	CN 102802503 A	28-11-2012	
		EP 2445389 A1	02-05-2012	
		EP 3081147 A2	19-10-2016	
		EP 3130278 A1	15-02-2017	
		JP 5473429 B2	16-04-2014	
		JP 2011004978 A	13-01-2011	

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

FR 2301470 FA 918228

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 **20-10-2023**

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

US	2012092617	A1	19-04-2012
US	2016213246	A1	28-07-2016
WO	2010150496	A1	29-12-2010