

« Dispositif optique et procédé d'inspection d'objets structurés »

Domaine technique

5 La présente invention concerne un dispositif d'inspection tridimensionnelle d'objets structurés. Elle vise également un procédé d'inspection d'objets structurés mis en œuvre dans ce dispositif.

Le domaine de l'invention est plus particulièrement mais de manière non limitative celui de la mesure et du contrôle dimensionnel des dispositifs dans
10 le domaine des microsystèmes (MEMs) et en microélectronique.

Etat de la technique antérieure

Les techniques de fabrication en microélectronique et dans les microsystèmes (MEMs, MOEMs) évoluent notamment vers la réalisation de structures volumiques complexes, aptes à permettre une meilleure intégration
15 en volume des fonctions de ces systèmes.

L'évolution de ces techniques engendre une évolution des besoins en moyens de mesure et de contrôle dimensionnel, précisément pour mieux prendre en compte cet aspect volumique.

Les techniques de mesure optiques, en particulier à base d'imagerie et
20 d'interférométrie, sont largement utilisées pour leur aptitude à s'intégrer dans les environnements industriels et à fournir des informations précises dans des gammes de mesures allant de quelques millimètres à moins que le nanomètre. Elles présentent l'avantage de permettre des mesures sans contact, sans dégradation ni préparation des échantillons, avec des dispositifs
25 dont le coût reste raisonnable.

On connaît en particulier les techniques d'imagerie basées sur de la microscopie conventionnelle, usuellement en réflexion, qui permettent d'inspecter des surfaces et des motifs et d'effectuer par analyse d'image des mesures dimensionnelles dans un plan sensiblement perpendiculaire à l'axe
30 d'observation. Ces dispositifs comprennent habituellement une source de lumière, une caméra et une optique d'imagerie de grandissement adapté. Leur résolution latérale, de l'ordre du micromètre, est pour l'essentiel déterminée par le phénomène de diffraction optique, le grandissement et la qualité des optiques. Les mesures se font habituellement dans la partie visible

ou proche ultraviolet du spectre lumineux, ce qui permet de limiter la diffraction et d'utiliser des caméras et des optiques de coût raisonnable.

Dans le but d'obtenir des mesures quantitatives en profondeur (parallèlement à l'axe d'observation), la microscopie d'imagerie peut être complétée par des mesures interférentielles, selon des techniques de microscopie interférométrique. Le dispositif est alors complété par un interféromètre qui permet de superposer sur la caméra la lumière issue de la surface de l'objet à mesurer (l'onde de mesure) et une onde lumineuse de référence issue de la même source et réfléchiée par une surface de référence. On obtient ainsi des interférences entre les ondes de mesure et de référence qui permettent de mesurer la topologie d'une surface avec une résolution en profondeur de l'ordre du nanomètre. Pour des raisons de mise en œuvre similaires au cas de la microscopie d'imagerie, les mesures se font habituellement dans la partie visible du spectre lumineux.

La microscopie interférométrique permet de faire efficacement par exemple des mesures de topographie sur une première surface, ou des mesures d'épaisseurs de couches minces sensiblement transparentes aux longueurs d'ondes utilisées. Par contre elle permet difficilement des mesures d'épaisseur de matériaux supérieures à quelques dizaines de microns sans compensations optiques délicates à mettre en œuvre, et bien entendu elle ne permet pas de mesurer des épaisseurs de silicium, dans la mesure où ce matériau n'est pas transparent aux longueurs d'ondes visibles.

La problématique de la mesure des épaisseurs est efficacement résolue par des techniques de mesure interférométriques, en particulier basées sur l'interférométrie à faible cohérence dans l'infrarouge. En effet, nombre de matériaux très utilisés en microélectronique ou dans les microsystèmes tel que le silicium ou l'arséniure de gallium sont sensiblement transparent pour des longueurs d'ondes dans le proche infrarouge. Il s'agit en général de systèmes de mesures ponctuels, c'est-à-dire apte à mesurer une ou plusieurs hauteurs ou épaisseurs (dans le cas de mesures sur des empilements de couches) en un point de la surface de l'objet.

Une autre problématique dans les microsystèmes et en microélectronique est la mesure de hauteurs de motifs présentant un rapport de profondeur sur largeur (également appelé facteur d'aspect ou « aspect ratio » en anglais) important. Ces motifs, réalisée notamment par gravure

plasma profonde (« Deep RIE ») peuvent se présenter par exemple sous la forme de tranchées ou de trous de quelques micromètres de largeur sur plusieurs dizaines de micromètres de profondeur. La mesure de leur profondeur présente une difficulté particulière du fait précisément du facteur d'aspect. Toutes les techniques basées sur un faisceau optique de mesure qui présente une ouverture numérique importante, ce qui inclut les techniques à base d'imagerie, interférométriques ou non, et les techniques confocales, sont inopérantes car le faisceau ne peut pas atteindre dans des conditions exploitables le fond des structures.

Le document FR 2 892 188 de Courteville décrit un procédé et un dispositif apte à mesurer la hauteur de motifs qui présentent un facteur d'aspect élevé. Le dispositif comprend un faisceau de mesure sensiblement ponctuel, qui couvre une zone limitée à la surface de l'objet. La mesure de hauteur des motifs couverts par le faisceau est obtenue par division du front d'onde incident entre les parties hautes et basses des motifs et mesure interférométrique des déphasages induits entre ces fractions de fronts d'ondes après une étape de filtrage modal. Le dispositif décrit dans FR 2 892 188 peut avantageusement être mis en œuvre à des longueurs d'ondes infrarouges pour mesurer simultanément des épaisseurs de couches de matériaux semiconducteurs.

La caractérisation d'éléments en microélectronique ou dans les microsystèmes nécessite souvent simultanément des mesures de topologie et des mesures de hauteur ou d'épaisseur effectuées à des endroits particuliers. La localisation de ces mesures de hauteur ou d'épaisseur doit parfois être très précise, par exemple dans les applications de « chip level packaging » où des ouvertures ou vias de quelques micromètres de largeur espacés de plusieurs dizaines ou centaines de micromètres sont percés au travers du substrat semi-conducteur. Dans d'autres cas, des mesures de hauteur ou d'épaisseur doivent être effectuées dans une zone d'étendue limitée pour ne prendre en compte que certains motifs. Dans tous ces cas, le faisceau de mesure infrarouge doit donc être précisément ajusté en position et/ou en grandissement à la surface de l'objet.

On connaît le document FR 2 718 231 de Canteloup et al. qui décrit un procédé de mesure de hauteur ou d'épaisseur utilisant un faisceau de mesure ponctuel dont la position est visualisée sur une caméra. Le faisceau de

mesure traverse l'optique d'imagerie de la caméra de telle sorte à apparaître dans le champ visualisé. Ce dispositif permet de positionner précisément le faisceau de mesure sur la surface de l'objet. Toutefois la longueur d'onde de mesure interférométrique est dans ce cas incluse dans les longueurs d'ondes d'imagerie pour lesquelles l'optique d'imagerie est optimisée. Il s'agit d'une
5 contrainte forte de la mise en œuvre décrite dans FR 2 718 231, liée au fait notamment que les techniques de mesure interférométriques sont la plupart du temps très sensibles aux réflexions parasites, trajets optiques multiples et autres aberrations de fronts d'ondes qui apparaissent immanquablement
10 lorsqu'une optique n'est pas optimisée pour la longueur d'onde d'utilisation. En particulier, le procédé décrit dans FR 2 718 231 n'est pas transposable à un système de mesure interférométrique dans l'infrarouge.

Le but de la présente invention est de proposer un dispositif d'inspection d'objets structurés, apte à produire simultanément des mesures de
15 topographie, des mesures d'épaisseur de couches et de hauteur de motifs.

Exposé de l'invention

Cet objectif est atteint avec un dispositif microscope d'inspection d'objets structurés comprenant :

- une caméra,
- 20 - des moyens optiques d'imagerie aptes à produire sur la caméra une image de l'objet selon un champ de vue, lesquels moyens optiques d'imagerie comprenant un objectif distal disposé du côté de l'objet, et,
- un interféromètre à faible cohérence infrarouge, comprenant un faisceau de mesure avec une pluralité de longueurs d'ondes infrarouges, apte à
25 produire des mesures par interférences entre des rétro-réflexions dudit faisceau de mesure et au moins une référence optique distincte, caractérisé en ce que :
- il comprend en outre des moyens de couplage permettant de d'insérer le faisceau de mesure dans les moyens optiques d'imagerie de telle sorte qu'il
30 traverse l'objectif distal et qu'il intercepte ledit objet selon une zone de mesure sensiblement comprise dans le champ de vue des moyens d'imagerie, et
- l'interféromètre à faible cohérence infrarouge est équilibré de telle sorte que seules les rétro-réflexions du faisceau de mesure ayant lieu à des

distances optiques proches de la distance optique parcourue par ledit faisceau jusqu'à l'objet, définissant une étendue de mesure, produisent des mesures.

L'objectif distal peut être conçu pour produire des images à des longueurs d'ondes visibles. Il peut comprendre un objectif de microscope.

5 Le système d'imagerie du dispositif selon l'invention peut ainsi comprendre des composants classiquement utilisés en microscopie, ce qui présente des avantages substantiels en termes de coûts et de développement industriel. La caméra peut être une caméra CCD.

10 Le dispositif selon l'invention peut produire une image de l'objet à une longueur d'onde optique ou dans une pluralité de longueurs d'ondes optiques sensiblement comprises dans une gamme s'étendant de 200 à 1100 nanomètres, soit dans le proche ultraviolet (200 à 400 nm environs), le visible (400 à 780 nm environs) et/ou le proche infrarouge (780 à 1100 nm environs).

15 L'interféromètre à faible cohérence infrarouge peut produire, de manière non limitative, des mesures dimensionnelles effectuées selon des axes sensiblement parallèles à l'axe optique du système d'imagerie, tel que par exemple des mesures d'épaisseur de couches ou de hauteur. Grâce à l'utilisation de longueurs d'ondes infrarouges, ces mesures peuvent être
20 effectuées au travers de matériaux qui ne sont pas transparents aux longueurs d'ondes visibles comme le silicium et l'arséniure de gallium.

Le faisceau de mesure de l'interféromètre à faible cohérence peut comprendre des longueurs d'ondes comprises entre 1100 et 1700 nanomètres. Il peut notamment comprendre des longueurs d'ondes localisées
25 au voisinage de 1310 nm (nanomètres) et/ou de 1550 nm.

Le dispositif selon l'invention permet ainsi, simultanément :

- de visualiser, d'imager et de faire des mesures sur un échantillon ou un objet au moyen d'un système d'imagerie tel qu'un microscope,
- et d'effectuer des mesures en des zones précisément identifiées de
30 l'objet avec l'interféromètre infrarouge.

Suivant une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, les mesures avec l'interféromètre infrarouge sont effectuées au travers de la partie distale de l'optique d'imagerie, ce qui permet une réelle intégration de toutes les mesures.

Cette configuration soulève une difficulté particulière car les interféromètres sont en général très sensibles aux réflexions parasites subies par le faisceau de mesure, qui dégradent rapidement les caractéristiques de phases mesurées. C'est pour cela qu'en général ils sont mis en œuvre
5 séparément des systèmes d'imagerie, ou en tout cas avec des optiques optimisées pour leur longueur d'onde de travail, notamment du point de vue des traitements antireflets.

Ce problème est résolu dans le dispositif selon l'invention par la mise en œuvre d'interféromètres qui permettent de définir une « fenêtre de
10 cohérence » correspondant sensiblement à l'étendue de mesure. De cette manière, seules les rétro-réflexions du faisceau de mesure, c'est-à-dire les réflexions retournant dans l'interféromètre qui ont eu lieu à des distances optiques prédéterminées correspondant à l'étendue de mesure, contribuent de manière sensible au phénomène d'interférences. La distance optique est la
15 distance « vue » par la lumière, et correspond dans un milieu d'indice de réfraction n à la distance géométrique multipliée par l'indice n . Ainsi, la mesure n'est quasiment pas affectée par les perturbations que subit le faisceau de mesure dans l'optique d'imagerie.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des premiers
20 moyens de grandissement permettant de changer le grandissement des moyens optiques d'imagerie de telle sorte à modifier simultanément le champ de vue et la dimension de la zone de mesure dans des proportions sensiblement identiques.

Ces premiers moyens de grandissement peuvent être des éléments
25 optiques traversés simultanément par le faisceau d'imagerie et le faisceau de mesure. Ils permettent d'ajuster simultanément la zone observée (le champ de vue) et la zone de mesure couverte par le faisceau de mesure à la surface de l'objet, de telle sorte à les adapter aux dimensions caractéristiques des motifs de l'objet à mesurer.

30 Ces premiers moyens de grandissement peuvent comprendre au moins un élément parmi :

- une tourelle équipée d'optiques de grandissements différents, tel que des objectifs de microscope, et
- une optique à grandissement variable, tel qu'un zoom avec des lentilles
35 mobiles, ou des lentilles interchangeables.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des seconds moyens de grandissement permettant de modifier le grandissement du faisceau de mesure, de telle sorte à modifier la dimension de la zone de mesure relativement au champ de vue.

- 5 Ces seconds moyens de grandissement, qui peuvent être des éléments optiques traversés uniquement par le faisceau de mesure, permettent de conférer au dispositif un degré de liberté supplémentaire pour le réglage de la dimension de la zone de mesure.

- 10 Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens de déplacement relatif de l'objet et des moyens optiques d'imagerie, permettant de positionner le champ de vue à l'endroit désiré sur l'objet.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre également des moyens de déplacement relatif de l'objet et du faisceau de mesure, c'est-à-dire permettant de déplacer la zone de mesure dans le champ de vue.

- 15 Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens d'éclairage, produisant un faisceau d'éclairage avec des longueurs d'ondes visibles, disposés de telle sorte à illuminer l'objet au travers de l'objectif distal. Cette configuration correspond à une configuration classique de microscopie en réflexion.

- 20 Suivant un mode de réalisation, le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre, au niveau de l'objectif distal, un interféromètre à champ plein apte à produire sur la caméra des franges d'interférences superposées à l'image de l'objet, de telle sorte à en déduire une topographie de la surface de l'objet.

- 25 Il existe différentes façon bien connues de réaliser de tels interféromètres à plein champ, tels que les interféromètres de Michelson, Mirau, Linnik, etc.... Leur principe consiste à prélever une partie du faisceau d'éclairage, à le faire se réfléchir sur une surface de référence et à le superposer à la lumière réfléchi par l'objet sur la caméra. Les franges
30 d'interférences ainsi produites permettent de calculer une mesure d'altitude de la surface de l'objet en chaque point de l'image, et ainsi d'en déduire sa forme dans l'espace.

- L'interféromètre à champ plein peut comprendre un élément dichroïque sensiblement transparent aux longueurs d'ondes du faisceau de mesure. Cet
35 élément dichroïque peut être par exemple, suivant le type d'interféromètre

utilisé, un miroir, une lame séparatrice ou un cube séparateur. Il peut être disposé de telle sorte que le faisceau de mesure interférométrique infrarouge subisse un minimum de réflexions en traversant l'interféromètre à champ plein, qui reste pleinement fonctionnel aux longueurs d'ondes utiles du système d'imagerie.

Suivant ce mode de réalisation, le dispositif selon l'invention permet d'effectuer simultanément des mesures de profilométrie, c'est-à-dire de la forme tridimensionnelle de la surface de l'objet et des mesures accessibles uniquement grâce à l'interférométrie infrarouge.

Suivant un mode de réalisation, le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens d'éclairage disposés à l'opposé de l'objet par rapport aux moyens d'imagerie, comprenant une source de lumière avec des longueurs d'ondes supérieures à un micromètre.

Suivant ce mode de réalisation, les mesures sont donc faites en transmission. Ce mode de réalisation est particulièrement intéressant pour effectuer des mesures avec l'interféromètre infrarouge du côté de la face arrière (c'est-à-dire du substrat) de composants microélectronique par exemple. Il est ainsi possible de visualiser, sous formes de variations de densité lumineuse, des zones particulièrement opaques telles que des pistes métalliques pour positionner la zone de mesure de l'interféromètre infrarouge précisément par rapport à ces éléments. Il est possible de mettre en œuvre ce mode de réalisation avec des caméras dont le capteur est à base de silicium, qui conservent une sensibilité suffisante à des longueurs d'onde supérieures à 1 micromètre pour lesquelles le substrat silicium de l'objet devient transparent.

L'interféromètre à faible cohérence infrarouge mis en œuvre dans un dispositif selon l'invention peut, de manière non limitative, permettre de mesurer dans l'étendue de mesure au moins l'un des éléments suivants :

- l'épaisseur optique d'au moins une couche de matériau sensiblement transparent à des longueurs d'ondes du faisceau de mesure,

- l'épaisseur optique de couches d'un empilement de matériaux sensiblement transparents à des longueurs d'ondes du faisceau de mesure, dont les indices de réfraction sont sensiblement différents entre couches adjacentes,

- la hauteur de motifs dont au moins une partie haute et au moins une partie basse sont incluses dans la zone de mesure, selon par exemple le procédé décrit dans FR 2 892 188,

- la hauteur absolue, dans l'étendue de mesure, de points de contact du faisceau de mesure avec l'objet,

- la différence de hauteur entre des points de contact du faisceau de mesure avec l'objet en des positions différentes sur l'objet.

L'interféromètre à faible cohérence infrarouge mis en œuvre dans un dispositif selon l'invention peut également permettre de faire des mesures d'indices de réfractions, par exemple en mesurant des épaisseurs optiques de couches de matériaux dont l'épaisseur géométrique a pu être déterminée par ailleurs. Ce type de mesures peut par exemple permettre de vérifier la nature d'un matériau.

Pour visualiser la zone de mesure dans le champ de vue, le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre un faisceau de visualisation superposé au faisceau de mesure, lequel faisceau de visualisation comprenant au moins une longueur d'onde détectable par la caméra.

Ce faisceau de visualisation peut être ajusté de telle sorte qu'il intercepte la surface de l'objet selon la zone de mesure, ce qui permet de visualiser cette dernière directement sur l'image produite par la caméra.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens de traitement numérique et d'affichage, aptes à produire une image du champ de vue comprenant un affichage de la zone de mesure.

Cet affichage de la zone de mesure peut être généré par des moyens logiciels et superposé à l'image de la surface de l'objet.

Suivant un autre aspect, il est proposé un procédé d'inspection d'objets structurés comprenant :

- une production, sur une caméra, d'une image de l'objet selon un champ de vue, mettant en œuvre un objectif distal disposé du côté de l'objet, et,
- une production de mesures par interférences entre des rétro-réflexions d'un faisceau de mesure et au moins une référence optique distincte, à partir d'un interféromètre à faible cohérence infrarouge émettant ce faisceau de mesure avec une pluralité de longueurs d'ondes infrarouges,

caractérisé en ce que :

- il comprend en outre un couplage permettant d'insérer le faisceau de mesure dans les moyens optiques d'imagerie de telle sorte qu'il traverse l'objectif distal et qu'il intercepte ledit objet selon une zone de mesure sensiblement comprise dans le champ de vue des moyens d'imagerie, et

- 5 - l'interféromètre à faible cohérence infrarouge est équilibré de telle sorte que seules les rétro-réflexions du faisceau de mesure ayant lieu à des distances optiques proches de la distance optique parcourue par ledit faisceau jusqu'à l'objet, définissant une étendue de mesure, produisent des mesures.

10 La localisation de la zone de mesure dans l'image du champ de vue peut être mémorisée lors d'un calibrage préalable, en particulier lorsque la position du faisceau de mesure dans les moyens d'imagerie, donc dans le champ de vue, est fixe.

15 Suivant un aspect particulièrement avantageux du dispositif selon l'invention, les informations issues de la caméra et de l'interféromètre à faible cohérence peuvent être combinées pour produire une représentation tridimensionnelle de l'objet.

On obtient ainsi une représentation de l'objet suivant des aspects complémentaires, qui fournit des informations très utiles et difficilement accessibles avec des systèmes distincts. En effet, il est possible notamment :

- 20 - de faire des mesures d'épaisseurs de couches ou de hauteur de motifs localisées de manière très précise par rapport à des éléments caractéristiques de l'objet, identifiés sur sa surface ou en transparence,
- de générer une représentation tridimensionnelle de l'objet incluant la forme de la surface et l'épaisseur de couches sous jacentes précisément
- 25 localisées par rapport à cette surface,
- pour l'analyse de motifs à forts facteurs d'aspect (étroits et profonds) pour lesquels la profilométrie seule est inopérante, de compléter une représentation tridimensionnelle de la surface obtenue par profilométrie par la représentation des motifs avec leur profondeur réelle mesurée avec
- 30 l'interférométrie infrarouge.

Description des figures et modes de réalisation

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

- la figure 1 illustre un mode de réalisation de dispositif d'inspection selon l'invention,

- la figure 2 illustre des modes de réalisation d'interféromètres à champ plein dans un dispositif d'inspection selon l'invention, selon, figure 2a, la configuration dite de Michelson et, figure 2b, la configuration dite de Mirau,

- la figure 3 illustre un mode de réalisation d'un interféromètre à faible cohérence infrarouge dans un dispositif d'inspection selon l'invention,

- la figure 4b illustre des mesures d'épaisseur de couches obtenues avec un dispositif d'inspection selon l'invention, pour une position à la surface d'un objet illustrée à la figure 4a,

- la figure 5b illustre des mesures de hauteur de motif obtenues avec un dispositif d'inspection selon l'invention, pour une position à la surface d'un objet illustrée à la figure 5a.

En référence à la figure 1, un dispositif d'inspection selon l'invention comprend une voie d'imagerie et une voie de mesures interférométriques, destinées à fournir des mesures sur un objet à inspecter 4.

La voie d'imagerie comprend une caméra 1, équipée d'un capteur matriciel CCD 17. Elle comprend également des moyens optiques d'imagerie 2 aptes à former une image 50 de l'objet 4 sur le capteur 17 de la caméra 1, selon un champ de vue sensiblement proportionnel au grandissement des moyens optiques d'imagerie 2 et à la dimension du capteur 17.

Les moyens optiques d'imagerie 2 comprennent, selon une configuration classique en microscopie, un objectif distal 3 disposé du côté de l'objet et un relais optique ou lentille de tube 23, qui sont traversés par le faisceau d'imagerie 22 constitué de la lumière issue de l'objet 4 et projetée sur le capteur 17 de la caméra 1. L'objectif distal 3 est un objectif de microscope optimisé pour des longueurs d'ondes visibles.

La voie de mesure interférométrique infrarouge comprend un faisceau de mesure 6 infrarouge inséré dans les moyens optiques d'imagerie 2 par des moyens de couplage 7 de telle sorte qu'il soit incident sur l'objet 4 selon une zone de mesure essentiellement comprise dans le champ de vue de la voie d'imagerie.

Le faisceau de mesure 6 est issu d'un interféromètre à faible cohérence infrarouge 5 et amené par une fibre optique monomode 21 à un collimateur 20. Ce collimateur 20 forme un faisceau sensiblement collimaté 6 qui est

inséré dans les moyens optiques d'imagerie 2 par une lame séparatrice, de préférence dichroïque 7. L'utilisation d'une lame dichroïque, qui réfléchit le rayonnement infrarouge et transmet la lumière visible, n'est pas indispensable au fonctionnement du dispositif mais elle permet de minimiser les pertes et les réflexions parasites aussi bien dans la voie d'imagerie que dans la voie de mesure interférométrique. Le faisceau 6, sensiblement collimaté et dévié par la lame dichroïque 7, se propage dans les moyens optiques d'imagerie 2 selon une direction sensiblement parallèle à leur axe optique 24 pour être focalisé sur l'objet par l'objectif distal 3. Le collimateur 20 et l'objectif distal 3 constituent un système d'imagerie qui image le cœur de la fibre 21 dont est issu le faisceau de mesure 6 sur l'objet 4. La zone de mesure couverte par le faisceau de mesure 6 sur l'objet 4 est déterminée par le grandissement du système d'imagerie 20 et 3, la diffraction et l'effet éventuel d'une légère défocalisation du faisceau de mesure 6.

Lorsque le faisceau de mesure 6 est incident sur l'objet 4 selon une direction sensiblement perpendiculaire à la surface de ce dernier, dans des limites de tolérance dépendant son ouverture angulaire au niveau de l'objectif distal 3, les réflexions qui se produisent sur les interfaces de l'objet 4 sont recouplées dans la fibre optique 21 et traitées dans l'interféromètre 5.

Le dispositif selon l'invention comprend des moyens de déplacement 10 qui permettent de positionner le champ de vue à l'endroit désiré sur l'objet 4. Ces moyens de déplacement comprennent des moyens de déplacement dans le plan perpendiculaire à l'axe optique 24 du porte échantillon supportant l'objet 4, et des moyens de déplacement dans la direction de l'axe optique 24 de l'ensemble du système par rapport à l'objet 4.

Le dispositif selon l'invention comprend des moyens permettant de changer le grandissement, de telle sorte à :

- former sur la caméra 1 une image dont le champ de vue à la surface de l'objet 4 est adapté aux dimensions des motifs à inspecter, et
- ajuster la zone de mesure de telle sorte qu'elle soit également adaptée aux dimensions des motifs de l'objet 4,

Le grandissement est ajusté en modifiant le grandissement d'éléments optiques insérés entre la lame dichroïque 7 et l'objet 4 et traversés simultanément par les faisceaux de mesure 6 et d'imagerie 22, de telle sorte

à affecter simultanément le champ de vue et la dimension de la zone de mesure dans des proportions sensiblement identiques.

Le grandissement est modifié en changeant l'objectif de microscope 3, de telle sorte à obtenir sur la voie d'imagerie des grandissements de l'ordre de x2 à x50 principalement. Suivant le niveau d'automatisation recherché, le dispositif selon l'invention est équipé d'une tourelle porte-objectifs, éventuellement motorisée, qui permet de changer l'objectif 3 aisément.

En ajustant le grandissement de cette manière, on ajuste simultanément les dimensions physiques du champ de vue (visualisé sur la caméra 1) et de la zone de mesure (de la métrologie infrarouge) à la surface de l'objet, dans les proportions sensiblement similaires. En d'autres termes, avec un objectif 3 de grandissement x20, on visualise sur l'objet 4 un champ deux fois plus petit qu'avec un objectif x10, et la taille de la zone de mesure sur l'objet 4 est également sensiblement deux fois plus petite. Cela permet ainsi d'adapter en une opération la résolution de l'imagerie et de la métrologie infrarouge aux caractéristiques de l'objet 4. Il est aussi intéressant de noter que la taille en pixels de la zone de mesure telle que « vue » par le détecteur 17 de la caméra 1 est sensiblement indépendante du grandissement de l'objectif 3, et que donc on peut positionner précisément cette zone de mesure en se servant de l'imagerie à tous les grandissements.

Le dispositif selon l'invention comprend une source de lumière 12 dont le spectre d'émission comprend des longueurs d'ondes visibles. Cette source de lumière 12 comprend des diodes électroluminescentes (LED) blanches. Elle émet un faisceau d'éclairage 25 qui illumine l'objet 4 de telle sorte à en permettre l'imagerie par réflexion. Pour des raisons de clarté, le faisceau d'éclairage 25 n'est pas présenté sur la figure 1 après la lame 18.

En référence à la figure 3, l'interféromètre 5 est un interféromètre à faible cohérence fonctionnant dans l'infrarouge, à des longueurs d'ondes pour lesquelles beaucoup de matériaux usuels en microélectronique tels que le silicium sont sensiblement transparents.

L'interféromètre 5 est destiné à fonctionner au travers des moyens d'imagerie 2 et notamment de l'objectif distal 3 qui sont optimisés pour des longueurs d'ondes visibles, standards en microscopie. Or on sait que les traitements antireflets des optiques optimisés pour des longueurs d'ondes visibles tendent à augmenter au contraire sensiblement la réflectivité des

surfaces dans l'infrarouge, parfois jusqu'à 30%, ce qui constitue des conditions de mesure très sévères pour l'interférométrie infrarouge. Le procédé mis en œuvre dans l'interféromètre 5 permet précisément de le rendre pratiquement insensible aux réflexions parasites.

5 Ce résultat est atteint en mettant en œuvre un principe d'interférométrie à faible cohérence dans lequel seules les réflexions du faisceau de mesure 6 ayant eu lieu dans une zone ou étendue de mesure englobant les interfaces de l'objet 4 (ou du moins à une distance optique équivalente à la distance optique entre le collimateur 20 et l'objet 4 le long du faisceau 6) peuvent
10 provoquer des interférences exploitables.

Le cœur de l'interféromètre 5 est un double interféromètre de Michelson à base de fibres optiques monomodes. Il est illuminé par une source de lumière fibrée 42 qui est une diode superluminescente (SLD) dont la longueur d'onde centrale est de l'ordre de 1300 nm à 1350 nm et la largeur spectrale
15 de l'ordre de 60 nm. Le choix de cette longueur d'onde correspond en notamment à des critères de disponibilité des composants.

La lumière issue de la source est dirigée au travers du coupleur 40 et de la fibre 21 vers le collimateur 20, pour constituer le faisceau de mesure 6. Une partie du faisceau est réfléchi dans la fibre 21 au niveau du collimateur
20 20, pour constituer l'onde de référence.

Les rétroréflexions issues de l'objet 4 sont couplées dans la fibre 21 et dirigées avec l'onde de référence vers l'interféromètre de décodage construit autour du coupleur à fibres 41. Cet interféromètre de décodage a une fonction de corrélateur optique dont les deux bras sont, respectivement, une référence
25 fixe 44 et une ligne à retard temporelle 45. Les signaux réfléchis au niveau de la référence 44 et de la ligne à retard 45 sont combinés, au travers du coupleur 41, sur un détecteur 43 qui est une photodiode. La fonction de la ligne à retard 45 est d'introduire un retard optique entre les ondes incidentes et réfléchies, variable au cours du temps d'une manière connue, obtenu par
30 exemple par le déplacement d'un miroir.

La longueur des bras 44 et 45 de l'interféromètre de décodage 41 est ajustée de telle sorte à permettre de reproduire avec la ligne à retard 45 les différences de trajets optiques entre l'onde de référence réfléchi au niveau du collimateur 20 et les rétroréflexions issues de l'objet 4, auquel cas on
35 obtient au niveau du détecteur 43 un pic d'interférence 52 dont la forme et

largeur dépendent des caractéristiques spectrales de la source 42 (plus le spectre de la source 42 est large, plus le pic d'interférence 52 est étroit).

Ainsi, l'étendue de mesure est déterminée par la différence de longueur optique entre les bras 44 et 45 de l'interféromètre de décodage 41, et par la
5 course maximale de la ligne à retard 45. En outre, comme l'onde de référence est générée au niveau du collimateur 20 à l'extérieur du système d'imagerie 2, les réflexions parasites dans le système optiques ne contribuent pas de manière significative aux interférences.

Les figures 4 et 5 présentent des exemples de mesures illustrant le
10 fonctionnement du dispositif, après acquisition et traitement sur un ordinateur 16. Les mesures ponctuelles sont réalisées avec l'interféromètre infrarouge en des points précis de la surface de l'objet 4, à des positions 51 visualisées sur les images 50 de ce dernier, de telle sorte à produire une représentation de l'objet 4.

15 La figure 4 présente un exemple de mesure d'épaisseur. La figure 4b présente un signal interférométrique 52 obtenu avec l'interféromètre 5, qui correspond à une mesure d'épaisseur d'une couche de silicium **Ts** suivie d'un espace d'air **Tg**. Chaque interface rencontrée par le faisceau de mesure 6 et donnant lieu à une rétro-réflexion produit un pic d'interférence. Les distances
20 entre les pics correspondent à l'épaisseur optique de la couche, qu'il faut diviser par l'indice de réfraction pour avoir l'épaisseur réelle. La figure 4a présente l'image 50 de la surface de l'objet 4 avec la localisation 51 du lieu de la mesure.

La figure 5 présente un exemple de mesure de hauteur de motifs
25 obtenue avec l'interféromètre 5 tel que mis en œuvre selon le procédé décrit dans FR 2 892 188, par division de front d'ondes. Les motifs mesurés sont des trous. La figure 5b présente un signal interférométrique 52 obtenu avec l'interféromètre 5, pour une mesure de hauteur **H** d'un trou. La surface et le fond du trou réfléchissent chacun une fraction du front d'onde du faisceau de
30 mesure 6 incident, produisant ainsi un pic d'interférence. La distance entre les pics correspond à la hauteur **H** du trou. La figure 5a présente l'image 50 de la surface de l'objet 4 avec la localisation 51 du lieu de la mesure.

Dans la mesure où l'on reproduit dans la ligne à retard 45 les différences de trajets optiques entre l'onde de référence générée dans le collimateur 6 et
35 les réflexions issues de l'objet 4, l'interféromètre 5 peut être utilisé pour

mesurer des distances ou altitudes absolues sur l'objet. En effet, la position des pics d'interférence 52 dans l'étendue de mesure dépend de la distance optique entre l'interface correspondante de l'objet 4 et le collimateur 20 le long du trajet parcouru par le faisceau de mesure 6. Il est ainsi possible de mesurer des hauteurs de motifs ou d'autres éléments de relief, ou une topologie, en déplaçant l'objet 4 relativement au système d'imagerie 2 et en relevant l'évolution de la position des pics d'interférences 52 dans l'étendue de mesure.

La localisation de la zone de mesure dans l'image 50 est effectuée par une opération de calibrage préalable du dispositif, de telle sorte à pouvoir superposer à l'image visualisée un repère correspondant à la position de cette zone de mesure. Ce repère est visible à la position 51 dans l'image 50 de la figure 5a. Le calibrage peut être effectué par exemple en disposant à la place de l'objet une carte de visualisation infrarouge qui permet de voir sur la caméra le faisceau de mesure infrarouge 6.

Suivant un mode de réalisation, un faisceau de lumière 15 avec des longueurs d'ondes détectables par la caméra 1 est superposé au faisceau de mesure 6. Cette superposition peut être effectuée par exemple au moyen d'un coupleur à fibre inséré au niveau de l'interféromètre 5 avant le collimateur 20. Ce faisceau de visualisation 15 parcourt sensiblement le même trajet que le faisceau de mesure 6 dans le système d'imagerie 2 et produit sur la surface de l'objet 4 une tâche détectable par la caméra 1, visible par exemple à la figure 5a. Il est ainsi possible de visualiser directement sur l'image 50 la position de la zone de mesure sans calibrage préalable.

En référence à la figure 2, suivant un mode de réalisation, le dispositif selon l'invention comprend en outre un interféromètre à champ plein 13, inséré au niveau de l'objectif distal 3. Cet interféromètre à champ plein 13 permet de transformer le dispositif d'imagerie en profilomètre optique, apte à produire une cartographie d'altitude ou une représentation tridimensionnelle de la surface de l'objet 4. L'altitude de la surface est obtenue selon des procédés bien connus, en superposant à la lumière réfléchie par l'objet 4 sur le capteur 17 de la caméra 1 une onde de référence issue de la même source lumineuse 12 et ayant parcouru sensiblement la même distance optique jusqu'au capteur 17 que ladite lumière réfléchie par l'objet 4. Cette onde de référence est générée par un miroir de référence 31 situé dans un des bras de

l'interféromètre 13. Elle produit sur le capteur 17 des franges d'interférence dont la forme dépend de la différence de forme entre le miroir de référence 31 et la surface de l'objet 4. En exécutant une séquence de mesure dans laquelle on fait varier par exemple d'une manière prédéterminée la longueur relative des bras de l'interféromètre 13, en déplaçant l'objet 4 ou l'ensemble constitué de l'objectif 3 et de l'interféromètre 13, on obtient une pluralité de figures d'interférences qui permettent de calculer la forme tridimensionnelle de la surface avec une grande précision.

Différentes sortes d'interféromètres 13 sont utilisables, en fonction notamment du grandissement et de la distance de travail des objectifs 3. Parmi des exemples représentatifs on trouve :

- la configuration de Michelson, présentée à la figure 2a, selon laquelle un cube séparateur 30 (ou une lame séparatrice) est inséré sous l'objectif 3, et renvoie une fraction du faisceau d'éclairage incident 25 vers un miroir de référence 31 ;

- la configuration de Linnik, qui est une variante de la configuration de Michelson et qui comprend un objectif 3 dans chaque bras de l'interféromètre 13 ;

- La configuration de Mirau, présentée à la figure 2b, selon laquelle une lame semi-réfléchissante 32 renvoie une fraction du faisceau d'éclairage incident 25 vers un miroir de référence 31 inséré au centre de ce faisceau 25.

Pour des raisons de clarté, le faisceau d'éclairage 25 n'est pas présenté sur les figures 2a et 2b. Seuls les faisceaux d'imagerie 22 issus des réflexions sur le miroir 31 et l'objet 4 sont représentés.

Pour intégrer l'interféromètre 5 dans le profilomètre, il est préférable de limiter la réflexion du faisceau de mesure 6 sur le miroir de référence 31. Cette condition n'est pas indispensable mais permet d'éviter la présence d'un pic parasite de forte intensité dans les mesures. Ce résultat est atteint en utilisant un élément séparateur 30 ou 32 dichroïque sensiblement transparent aux longueurs d'ondes du faisceau de mesure 6, et qui présente la réflectivité désirée (par exemple de l'ordre de 50%) aux longueurs d'ondes du système d'imagerie. Il est également possible de mettre en œuvre un miroir de référence 31 dichroïque, qui réfléchit pas ou peu les longueurs d'onde du faisceau de mesure 6.

Un dispositif selon l'invention intégrant un interféromètre infrarouge et un profilomètre optique permet de construire un modèle tridimensionnel d'un objet 4 en combinant l'ensemble des mesures dans une représentation unique. Ce dispositif est particulièrement efficace pour contrôler des gravures
5 étroites et profondes tels que les trous présentés à la figure 5a. En effet, du fait de l'ouverture numérique du faisceau d'imagerie 22 (c'est-à-dire le demi-rapport entre sa largeur au niveau de l'objectif 3 et la distance de l'objectif 3 au point de focalisation), le profilomètre optique ne peut pas accéder au fond des trous pour en mesurer la profondeur. Cette mesure est par contre
10 accessible à l'interféromètre infrarouge 5 comme illustré à la figure 5. La combinaison des mesures permet ainsi d'obtenir une représentation tridimensionnelle de la surface plus complète, incluant les zones qui ne sont pas accessibles au profilomètre.

Suivant un mode de réalisation, le dispositif selon l'invention comprend
15 une source de lumière 14 qui émet un faisceau 19 permettant d'éclairer l'objet 4 par transparence. Ce mode de réalisation permet de réaliser une imagerie en transmission de l'objet 4. Pour des raisons de clarté, le faisceau d'éclairage 19 n'est pas présenté sur la figure 1 au-delà de l'objet 4.

Pour des applications en microélectronique notamment, la source de
20 lumière 14 est conçue de telle sorte à présenter un spectre d'émission s'étendant dans le proche infrarouge jusqu'à des longueurs d'ondes supérieures à 1 micromètre, pour lesquelles le silicium n'est plus totalement opaque. Cette source de lumière 14 peut être une lampe halogène. Il est alors possible, même avec une caméra 1 dont le capteur 17 est à base de silicium,
25 d'obtenir une image en transparence permettant de localiser par exemple des éléments de circuits sur un wafer 4 pour effectuer avec l'interféromètre infrarouge 12, des mesures à des endroits précis par la face arrière du wafer à l'opposé des éléments gravés.

Suivant des modes de réalisation particuliers, il est possible de mettre en
30 œuvre dans un dispositif selon l'invention une source de lumière 14 avec un spectre d'émission s'étendant dans le proche infrarouge (longueurs d'ondes entre 780 à 1100 nm environs) et/ou dans le proche ultraviolet (longueurs d'ondes entre 780 à 1100 nm environs), de faire de l'imagerie par réflexion de l'objet 4 à une ou une pluralité de ces longueurs d'ondes de la source 14. Il

est également possible de mettre en œuvre un interféromètre à champ plein 13 avec une telle source 14.

Suivant des modes de réalisation particuliers, la caméra 1 peut comprendre tout dispositif apte à acquérir des images d'un objet 4, tel que

5 par exemple :

- un capteur 17 matriciel de type CMOS,
 - des capteurs ponctuels ou en ligne associés à des moyens de balayage permettant de couvrir l'ensemble des points d'un champ de vue,
 - des capteurs ponctuels ou en ligne, éventuellement associés à des
- 10 moyens de balayage permettant d'acquérir des mesures sous forme de lignes.

Suivant des modes de réalisation particuliers :

- les lames séparatrices 7 et 18 peuvent être remplacées par tous moyens de séparation de faisceaux, tels que des cubes séparateurs, des composants polarisés etc. ;

15 - le collimateur 20 peut comprendre des moyens de déplacement 11 qui permettent de déplacer la position du faisceau de mesure 6, et donc la position de la zone de mesure sur l'objet relativement au champ de vue couvert par les moyens d'imagerie 2 ;

- le dispositif peut comprendre une optique additionnelle 8 à

20 grandissement variable, traversée simultanément par les faisceaux de mesure 6 et d'imagerie 22, et qui permet de modifier simultanément le champ de vue et la dimension de la zone de mesure à la surface de l'objet dans des proportions sensiblement identiques. Le grandissement de cette optique additionnelle 8 peut être ajusté de manière continue par déplacement

25 d'éléments optiques, ou de manière discrète par remplacement d'éléments optiques ;

- le relais optique 23 peut comprendre une optique à grandissement variable, qui permet de faire varier sur la caméra 1 le champ de vue et la taille de la zone de mesure. Le grandissement peut être ajusté de manière

30 continue par déplacement d'éléments optiques, ou de manière discrète par remplacement d'éléments optiques ;

- la source de lumière 12 peut comprendre une source halogène ;

- la source de lumière 12 peut comprendre toute source de lumière présentant un contenu spectral détectable par la caméra 1 ;

- l'interféromètre 5 peut être mis en œuvre à toutes longueurs d'onde infrarouge, notamment entre 1100 nm et 1700 nm, et notamment au voisinage de 1550 nm. La source 40 peut être tout type de source ou combinaison de sources infrarouges, produisant une pluralité de longueurs d'onde selon un spectre continu ou discontinu ;
 - L'interféromètre 5 peut comprendre tous types d'interféromètres à faible cohérence. Ce peut être un interféromètre de Michelson simple avec une ligne à retard dans l'un des bras. les retards optiques peuvent être décodés dans le domaine fréquentiel par des techniques d'analyse spectrale ;
 - L'interféromètre 5 peut être partiellement ou totalement réalisé avec de l'optique en propagation libre. L'interféromètre 5 peut également être partiellement ou totalement réalisé avec de l'optique intégrée, basée notamment sur des guides d'ondes planaires.
- 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

1. Dispositif microscope d'inspection d'objets structurés (4) comprenant :

- 5 - une caméra (1),
 - des moyens optiques d'imagerie (2) aptes à produire sur la caméra (1) une image de l'objet (4) selon un champ de vue, lesquels moyens optiques d'imagerie (2) comprenant un objectif distal (3) disposé du côté de l'objet (4),
 et,
10 - un interféromètre à faible cohérence infrarouge (5), comprenant un faisceau de mesure (6) avec une pluralité de longueurs d'ondes infrarouges, apte à produire des mesures par interférences entre des rétro-réflexions dudit faisceau de mesure (6) et au moins une référence optique distincte,
 caractérisé en ce que :
15 - il comprend en outre des moyens de couplage (7) permettant de d'insérer le faisceau de mesure dans les moyens optiques d'imagerie (2) de telle sorte qu'il traverse l'objectif distal (3) et qu'il intercepte ledit objet (4) selon une zone de mesure sensiblement comprise dans le champ de vue des moyens d'imagerie (2), et
20 - l'interféromètre à faible cohérence infrarouge (5) est équilibré de telle sorte que seules les rétro-réflexions du faisceau de mesure (6) ayant lieu à des distances optiques proches de la distance optique parcourue par ledit faisceau (6) jusqu'à l'objet (4), définissant une étendue de mesure, produisent des mesures.

25

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'objectif distal (3) est conçu pour produire des images à des longueurs d'ondes visibles.

3. Dispositif selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'objectif
30 distal (3) comprend un objectif de microscope.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le faisceau de mesure (6) comprend des longueurs d'ondes comprises entre 1100 et 1700 nanomètres.

5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des premiers moyens de grandissement (3, 8) permettant de changer le grandissement des moyens optiques d'imagerie (2) de telle sorte à modifier simultanément le champ de vue et la dimension de la zone de mesure dans des proportions sensiblement identiques.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits premiers moyens de grandissement (3, 8) comprennent au moins un élément parmi une tourelle équipée d'optiques de grossissements différents, et une optique à grossissement variable.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des seconds moyens de grossissement (9) permettant de modifier le grossissement du faisceau de mesure (6), de telle sorte à modifier la dimension de la zone de mesure relativement au champ de vue.

8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de déplacement (10) relatif de l'objet (4) et des moyens optiques d'imagerie (2).

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de déplacement (11) relatif de l'objet (4) et du faisceau de mesure (6).

10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'éclairage (12), produisant un faisceau d'éclairage (25) avec des longueurs d'ondes visibles, disposé de telle sorte à illuminer l'objet (4) au travers de l'objectif distal (3).

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, au niveau de l'objectif distal (3), un interféromètre à champ plein (13) apte à produire sur la caméra (1) des franges d'interférences superposées à

l'image de l'objet, de telle sorte à en déduire une topographie de la surface de l'objet (4).

5 **12.** Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'interféromètre à champ plein comprend un élément dichroïque (30, 31, 32) sensiblement transparent aux longueurs d'ondes du faisceau de mesure (6).

10 **13.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'éclairage (14) disposés à l'opposé de l'objet par rapport aux moyens d'imagerie, comprenant une source de lumière avec des longueurs d'ondes supérieures à un micromètre.

15 **14.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'interféromètre à faible cohérence infrarouge (5) permet de mesurer dans l'étendue de mesure au moins l'un des éléments suivants :

- l'épaisseur optique d'au moins une couche de matériau sensiblement transparent à des longueurs d'ondes du faisceau de mesure,
- la hauteur de motifs dont au moins une partie haute et au moins une partie basse sont incluses dans la zone de mesure,
- 20 - la hauteur absolue, dans l'étendue de mesure, de points de contact du faisceau de mesure (6) avec l'objet (4).

25 **15.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un faisceau de visualisation (15) superposé au faisceau de mesure (6), lequel faisceau de visualisation (15) comprenant au moins une longueur d'onde détectable par la caméra (1).

30 **16.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de traitement numérique et d'affichage (16), aptes à produire une image du champ de vue comprenant un affichage de la zone de mesure.

17. Procédé d'inspection d'objets structurés (4) comprenant :

- une production, sur une caméra (1), d'une image de l'objet (4) selon un champ de vue, mettant en œuvre un objectif distal (3) disposé du côté de l'objet (4), et,

5 - une production de mesures par interférences entre des rétro-réflexions d'un faisceau de mesure (6) et au moins une référence optique distincte, à partir d'un interféromètre à faible cohérence infrarouge (5) émettant ce faisceau de mesure (6) avec une pluralité de longueurs d'ondes infrarouges, caractérisé en ce que :

10 - il comprend en outre un couplage (7) permettant d'insérer le faisceau de mesure dans les moyens optiques d'imagerie (2) de telle sorte qu'il traverse l'objectif distal (3) et qu'il intercepte ledit objet (4) selon une zone de mesure sensiblement comprise dans le champ de vue des moyens d'imagerie (2), et

15 - l'interféromètre à faible cohérence infrarouge (5) est équilibré de telle sorte que seules les rétro-réflexions du faisceau de mesure (6) ayant lieu à des distances optiques proches de la distance optique parcourue par ledit faisceau (6) jusqu'à l'objet (4), définissant une étendue de mesure, produisent des mesures.

20 **18.** Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que la localisation de la zone de mesure dans l'image du champ de vue est mémorisée lors d'un calibrage préalable.

25 **19.** Procédé selon l'une des revendications 17 ou 18, caractérisé en ce que les informations issues de la caméra (1) et de l'interféromètre à faible cohérence (5) sont combinées pour produire une représentation tridimensionnel de l'objet (4).