(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 139 626***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 09687**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 D 15/00*** *(2023.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 14.09.23.

(30) **Priorité :** 14.09.22 US 63/406,333.

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 15.03.24 Bulletin 24/11.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

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

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

(71) **Demandeur(s) :** *NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY Université taïwanaise* — TW.

(72) **Inventeur(s) :** LIANG Chao-Wen.

(73) **Titulaire(s) :** NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY Université taïwanaise.

(74) **Mandataire(s) :** Cabinet Chaillot.

(54) DISPOSITIF DE MESURE DE FRONT D'ONDE OPTIQUE ET PROCÉDÉ DE MESURE ASSOCIÉ.

(57) DISPOSITIF DE MESURE DE FRONT D'ONDE OPTIQUE ET PROCÉDÉ DE MESURE ASSOCIÉ

Un dispositif et un procédé pour mesurer le décentrement d'une optique sous test. Le dispositif comprend une broche rotative pour charger et faire tourner l'optique sous test, un module de source de lumière pour fournir un faisceau lumineux incident à l'optique sous test, et un capteur de front d'onde pour recevoir des faisceaux lumineux de test avec différentes expositions à partir de l'optique sous test à une pluralité de directions azimutales.

Fig. 1

FR 3 139 626 - A1

Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF DE MESURE DE FRONT D'ONDE OPTIQUE ET PROCÉDÉ DE MESURE ASSOCIÉ

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne un dispositif de mesure optique, et en particulier un dispositif de mesure de front d'onde optique appliqué à la mesure d'une optique sous test, ainsi qu'un procédé de mesure associé.

[0002] ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

[0003] Il existe actuellement plusieurs procédés pour mesurer des surfaces optiques, l'un d'entre eux étant la métrologie par sonde. La métrologie par sonde utilise une sonde pour mesurer un profil de surface d'une lentille optique. Si les deux surfaces optiques d'une lentille optique sont mesurées avec la sonde, il est possible d'obtenir le profil des deux surfaces, le décentrement et l'inclinaison entre les deux surfaces optiques. Cependant, comme la sonde de mesure entre en contact avec la surface mesurée, elle peut provoquer un endommagement de l'optique sous test, et le processus de mesure peut être chronophage. Un autre procédé de mesure courant est l'interférométrie de Fizeau avec un hologramme généré par ordinateur (CGH). L'interférométrie de Fizeau classique est utilisée pour mesurer une surface optique sphérique ou une surface asphérique minimale. Si l'asphéricité de la surface est trop importante, il est impossible de mesurer ses franges d'interférence, le CGH est par conséquent nécessaire. La fonction du CGH est de convertir un faisceau lumineux émis par l'interférométrie en un front d'onde incident pour compenser une aberration de front d'onde de l'optique idéale sous test, permettant à l'interféromètre de mesurer des aberrations causées par la fabrication de l'optique sous test (décentrement, erreur de courbure de surface, etc.). Cependant, le CGH est un élément optique spécialisé et doit être conçu et fabriqué sur mesure avant d'être utilisé. Les processus de conception et de fabrication du CGH sont généralement chronophages et coûteux. En outre, le CGH a des exigences très strictes pour son processus d'alignement optique, de telle sorte qu'une mesure avec le CGH est généralement utilisée pour un type d'optiques dont le prix unitaire est élevé.

[0004] Bien que la plage dynamique d'un capteur de front d'onde classique soit plus élevée que celle de l'interférométrie, le capteur de front d'onde classique a toujours une plage dynamique limitée lors de la mesure d'une aberration asphérique, de telle sorte qu'il est toujours difficile de mesurer un front d'onde asphérique. Si le CGH est utilisé pour faciliter la mesure, des problèmes similaires à ceux de l'interférométrie de Fizeau avec l'assistance de CGH seront rencontrés. Par conséquent, un meilleur procédé de test optique est souhaité pour surmonter les difficultés susmentionnées.

Résumé de l'invention

[0005] Dans cette invention, un dispositif de mesure de front d'onde optique est proposé pour mesurer et une optique sous test. L'optique sous test peut être une lentille optique, un miroir optique ou un module optique composé de multiples éléments optiques. Le dispositif comprend une broche rotative pour charger et faire tourner l'optique sous test à une pluralité de directions azimutales, un module de source de lumière pour fournir un faisceau lumineux incident à l'optique sous test et générer un faisceau lumineux de test émis par l'optique sous test, et un capteur de front d'onde pour acquérir une ou plusieurs trames de caméra avec différentes expositions lorsque l'optique sous test se trouve à une pluralité de directions azimutales.

[0006] Dans cette invention, un procédé de mesure de front d'onde optique est proposé pour qualifier le décentrement d'une optique sous test. Le procédé implique : obtenir des images mesurées à différentes directions azimutales par l'intermédiaire d'une imagerie à grande gamme dynamique (imagerie HDR) de trames de caméra obtenues à différentes expositions par le dispositif de mesure de front d'onde optique. Les phases de front d'onde et les pentes de rayons mesurées à différentes directions azimutales sont analysées pour classer des aberrations qui changent avec la direction azimutale en tant qu'aberrations corrélées de l'optique sous test. Enfin, le décentrement de l'optique sous test est déterminé en analysant la phase de front d'onde de référence obtenue par l'intermédiaire d'un procédé de traçage de rayons.

Brève description des dessins

[0007] [Fig.1] est un diagramme de la relation entre un module de source de lumière, un faisceau lumineux incident et un capteur de front d'onde.

[0008] [Fig.2] est un diagramme de séparation de signal entre le système et une optique sous test.

[0009] [Fig.3] est un diagramme schématique d'une broche rotative, d'un module de source de lumière et d'un capteur de front d'onde d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un mode de réalisation de l'invention.

[0010] [Fig.4] est une vue en coupe schématique du module de source de lumière de la [Fig.1].

[0011] [Fig.5] est une vue en coupe schématique d'un module de source de lumière d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0012] [Fig.6] est un diagramme schématique de la broche rotative, du module de source de lumière et du capteur de front d'onde de la [Fig.1] équipés d'un bras robotique.

[0013] [Fig.7] est un diagramme schématique d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0014] [Fig.8] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un mode de réalisation de l'invention.

[0015] [Fig.9] est un diagramme schématique d'un dispositif de mesure de front d'onde optique approprié pour le procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.8].

[0016] [Fig.10] est un organigramme de l'étape S3 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.8].

[0017] [Fig.11] est un organigramme de l'étape S3 d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0018] [Fig.12] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0019] [Fig.13] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0020] [Fig.14] est un organigramme de l'étape S01 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.13].

[0021] [Fig.15] est un organigramme de l'étape S01 d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0022] [Fig.16] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention.

[0023] [Fig.17] est un organigramme de l'étape S21 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.12].

[0024] DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION PREFERES

[0025] Dans la technologie de mesure optique asphérique, un faisceau lumineux incident (IL à la [Fig.1]) traversant une optique sous test (E à la [Fig.1]) peut produire des aberrations optiques telles qu'une aberration sphérique, ce qui se traduit par une intensité de faisceau lumineux non-uniforme. C'est pourquoi un capteur de front d'onde classique n'est pas approprié pour la mesure de fronts d'onde asphériques. Pour résoudre ce problème, une technologie de mesure de front d'onde avec une imagerie à grande gamme dynamique (imagerie HDR) peut être utilisée pour obtenir les aberrations optiques dans un front d'onde asphérique avec une intensité lumineuse non-uniforme. Cette technologie peut surmonter les inconvénients de surexposition de points de Hartmann au centre du faisceau lumineux et de sous-exposition du bord qui se produisent fréquemment dans un capteur de front d'onde général, peut obtenir avec précision les caractéristiques d'imagerie des points de Hartmann avec différentes intensités lumineuses, et synthétiser avec précision des trames de caméra avec différentes expositions en images mesurées de points de Hartmann avec une grande gamme dynamique.

[0026] Comme le montre la [Fig.1], la technologie de mesure de front d'onde à grande gamme dynamique peut être utilisée pour effectuer une mesure de front d'onde en

transmettant le faisceau lumineux incident à travers l'optique sous test ou en le réfléchissant sur l'optique sous test. Bien que cette technologie puisse être directement utilisée pour mesurer des fronts d'onde asphériques, lors de la mesure de l'optique sous test, l'erreur d'alignement du capteur de front d'onde (130 à la [Fig.1]), l'erreur de déplacement de l'optique sous test, une erreur d'alignement du module de source de lumière (120 à la [Fig.1]) et analogues conduiront tous à une erreur significative de phase de front d'onde mesurée. Par conséquent, un alignement précis entre le capteur de front d'onde, l'optique sous test et le module de source de lumière est nécessaire avant la mesure. Cependant, l'alignement précis entre le capteur de front d'onde, l'optique sous test et le module de source de lumière est généralement l'étape la plus difficile à réaliser lors de la mesure. En présence d'une erreur de positionnement, l'erreur de phase de front d'onde d'alignement générée pendant la mesure peut entraîner une erreur ou une incertitude de mesure significative.

[0027] Sous l'influence de l'erreur d'alignement optique, une aberration W mesurée par un capteur de front d'onde peut être exprimée par l'Équation 1 suivante, où W_{WFS} est l'erreur d'alignement du capteur de front d'onde, W_{PLS} est l'erreur d'alignement du faisceau lumineux incident, et $W_{LENTILLE}$ est l'aberration de l'optique sous test, qui est la phase de front d'onde en tant qu'objectif à tester.

[0028] Équation 1 :

[0029] $$W = W_{WFS} + W_{PLS} + W_{LENTILLE}$$

[0030] Pour résoudre les problèmes de désalignement, une nouvelle approche est proposée, qui utilise la propriété directionnelle de l'aberration d'inclinaison et de l'aberration de coma générées par le désalignement. L'homme du métier sait que l'axe principal de l'aberration induite par le désalignement est parallèle à la direction du désalignement. En tournant l'optique sous test, la direction de son aberration tournera avec elle, permettant de la séparer davantage de l'aberration directionnelle fixe de l'erreur d'alignement qui est liée au désalignement du système.

[0031] Un polynôme de Zernike est une expression mathématique utilisée pour quantifier le front d'onde en termes d'un nombre fini de coefficients polynomiaux. Les coefficients Cn de son polynôme de Zernike Zn peuvent être déterminés à partir de données mesurées par le capteur de front d'onde à l'aide de la méthode de compensation des moindres carrés. Si l'on considère que l'optique sous test à mesurer est soumise à une mesure rotative, ce coefficient est également fonction d'un angle azimutal (Θ), à savoir $C_n(\Theta)$, et l'équation d'aberration sous l'angle azimutal (Θ) est alors exprimée dans l'Équation 2.

[0032] Équation 2 :

[0033] $$W(\theta) = \sum_{n=1}^{35} C_n(\theta) \times Z_n$$

[0034] Dans les polynômes de Zernike, chaque terme de Zernike non-symétrique a son conjugué dans différentes directions. Par exemple, les directions X et Y de l'aberration d'inclinaison mentionnée ci-dessus sont Z_1 et Z_2 , et les ordres des termes de Zernike de l'aberration de coma dans les directions X et Y sont Z_6 et Z_7. En utilisant l'orthogonalité des polynômes de Zernike, l'aberration d'inclinaison et l'aberration de coma de l'Équation 2 précédente à chaque angle de mesure différent Θ peuvent être réécrites respectivement sous la forme de l'Équation 3 et de l'Équation 4 suivantes.

[0035] Équation 3 :

[0036] $$W(\theta)_{Inclinaison} = C_1(\theta) \times Z_1 + C_2(\theta) \times Z_2$$

[0037] Équation 4 :

[0038] $$W(\theta)_{Coma} = C_6(\theta) \times Z_6 + C_7(\theta) \times Z_7$$

[0039] Comme le montre la [Fig.2], les coefficients de Zernike correspondants de l'aberration d'inclinaison et de l'aberration de coma acquis à huit directions azimutales différentes peuvent être reportés sur deux graphiques distincts. Avec la propriété directionnelle de l'aberration, les coordonnées des huit coefficients de Zernike mesurés forment un cercle, qui représente l'aberration de l'optique sous test à différents angles azimutaux. La relation ci-dessus peut être exprimée par l'Équation 5 suivante, où W est une aberration mesurée par le capteur de front d'onde, W_{DC} est une erreur d'alignement fixe déterminée par l'erreur de désalignement du module de source de lumière (W_{PLS}) et du capteur de front d'onde (W_{WFS}) dans l'Équation 1, $W_{LENTILLE}$ est une aberration de l'optique sous test, et Θ est un angle azimutal de l'optique sous test. Avec cette équation, après l'obtention de plusieurs points de données de mesure, l'aberration de l'optique sous test peut être obtenue en ajustant un cercle à l'aide de la méthode des moindres carrés.

[0040] Équation 5 :

[0041] $$W(\theta) = W_{DC} + W(\theta)_{LENTILLE}$$

[0042] Il convient de mentionner que, dans ce cadre de mesure, une phase de front d'onde de référence (W_r) de l'optique sous test et ses pentes de rayons associées peuvent être obtenues en utilisant différents procédés de simulation numérique tels que le traçage de rayons ou la simulation d'onde de diffraction, et une phase de front d'onde mesurée est comparée à une phase de front d'onde de référence générée par simulation, et la différence ($W - W_r$) représente l'erreur de front d'onde. Si l'optique sous test est une lentille optique, l'aberration de rotation représente l'aberration optique causée par le décentrement de la lentille optique. En outre, le changement de phase de front d'onde (ΔW_{Ref}) dû au décentrement unitaire (Δh) peut être calculé pendant le traçage de rayons, et ce changement peut être utilisé pour estimer la quantité de décentrement (dH) de l'optique sous test représentée par le front d'onde mesuré (W), tel que décrit

par l'équation suivante.

[0043] Équation 6 : $dH = (W - W_r) / \Delta W_{Ref} * \Delta h$

[0044] En outre, avant de procéder à la mesure de front d'onde, il faut déterminer les positions relatives du capteur de front d'onde, de l'optique sous test et du module de source de lumière dans la direction d'axe optique, c'est-à-dire les positions de conjugué optique ainsi nommées. Afin d'obtenir la performance de mesure optimale, en plus du fait que le faisceau lumineux incident remplisse autant que possible l'ouverture utile de l'optique sous test et que son faisceau lumineux de test transmis tombe dans la plage dynamique du capteur de front d'onde, le faisceau lumineux de test doit également remplir autant que possible les microlentilles sur le réseau de microlentilles du capteur de front d'onde. En augmentant le nombre de microlentilles pour l'échantillonnage de front d'onde afin d'obtenir la sensibilité la plus élevée, ou en trouvant une position qui peut obtenir une meilleure sensibilité de mesure de décentrement, cette position est la meilleure position de conjugué. En détail, le procédé de traçage de rayons peut être appliqué pour déterminer la hauteur de rayon marginale dans le plan de réseau de microlentilles de telle sorte que le faisceau optique de test remplisse les microlentilles au maximum sans effet de vignette ni un quelconque croisement caustique de faisceaux.

[0045] En outre, lorsque la position de conjugué pour la mesure est déterminée, l'ouverture numérique du faisceau lumineux incident est également déterminée. Lorsque l'ouverture numérique du faisceau lumineux incident, lors de la mesure réelle, est supérieure à la valeur nominale de conception, le faisceau lumineux incident se propage au-delà de l'ouverture utile de l'optique sous test et peut induire un problème de lumière parasite, ce qui entraîne une dégradation de la qualité de mesure du point de Hartmann. Lorsque l'ouverture numérique est inférieure à la valeur nominale de conception, le faisceau lumineux mesuré par le capteur de front d'onde après avoir traversé l'optique sous test devient plus petit, ce qui entraîne un remplissage insuffisant de l'ouverture testée de l'optique sous test, ce qui, dans des cas graves, peut même entraîner une diminution de la précision et de la répétabilité des mesures. Il est donc nécessaire de concevoir une ouverture à l'endroit du module de source de lumière pour commander l'ouverture numérique du faisceau lumineux incident.

[0046] La présente invention va maintenant être décrite plus spécifiquement en référence aux modes de réalisation suivants. Il convient de noter que les descriptions suivantes des modes de réalisation préférés de la présente invention ne sont présentées ici qu'à titre d'illustration et de description. Elles n'ont pas pour but d'être exhaustives ou d'être limitatives pour la forme précise divulguée.

[0047] La [Fig.3] est un diagramme schématique d'une broche rotative, d'un module de source de lumière et d'un capteur de front d'onde d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un mode de réalisation de l'invention. En référence à la [Fig.3], le

dispositif de mesure de front d'onde optique 100 est conçu pour mesurer une optique sous test E. Le dispositif de mesure de front d'onde optique 100 comprend une broche rotative 110, un module de source de lumière 120 et un capteur de front d'onde 130. La broche rotative 110 est conçue pour charger et faire tourner l'optique sous test E. Le module de source de lumière 120 est conçu pour fournir un faisceau lumineux incident IL qui est incident sur l'optique sous test E et pour générer un faisceau lumineux de test DL avec une aberration optique qui sort de l'optique sous test E lorsque l'optique sous test E est tournée. Le module de capteur de front d'onde 130 est conçu pour recevoir le faisceau lumineux de test DL lorsque l'optique sous test E tourne à une pluralité de directions azimutales différentes les unes des autres. Lorsque la broche rotative 110 tourne, le capteur de front d'onde 130 capture une pluralité de trames de caméra avec différentes expositions dans chacune des directions azimutales.

[0048] L'optique sous test E est, par exemple, une lentille unique. La lentille unique peut être une lentille sphérique, une lentille asphérique, une lentille à ménisque épais, une lentille en forme de M, une lentille plan-convexe, une lentille biconcave ou une lentille à ménisque mince, etc. En outre, l'optique sous test E peut être un module de lentilles optiques composé de multiples lentilles. Il peut s'agir d'une lentille de téléphone mobile, d'une lentille de caméra ou d'un ensemble lentille composé de multiples lentilles.

[0049] La [Fig.4] est une vue en coupe schématique du module de source de lumière de la [Fig.3]. En référence aux [Fig.3] et 4 conjointement, dans ce mode de réalisation, le module de source de lumière 120 comprend, par exemple, un faisceau de source de lumière SL et une lentille convergente 121. La lentille convergente 121 est placée entre le faisceau de source de lumière SL et l'optique sous test E. La lentille convergente 121 fait converger le faisceau lumineux incident IL vers un point focal F. Ce point focal F est alors utilisé comme source de lumière ponctuelle générant un front d'onde sphérique incident sur l'optique sous test E. Pour commander avec précision le rayon de courbure du front d'onde du faisceau lumineux incident IL sur l'optique sous test E, la distance entre le point focal F et l'optique sous test E doit être prédéterminée avec précision avant la mesure. On peut déterminer cette distance relative, par exemple, en connaissant la longueur focale de l'optique convergente et la position de la lentille convergente. La longueur focale de la lentille convergente peut être déterminée et la platine de translation 150 du module de source de lumière peut déterminer l'emplacement de la lentille convergente 121 le long de la platine qui est parallèle à l'axe optique de l'optique sous test E. D'autres étapes connexes seront décrites en détail dans les paragraphes suivants.

[0050] Toujours en référence à la [Fig.4], le faisceau de source de lumière SL dans ce mode de réalisation peut être généré par une source de lumière ponctuelle 122 générant un

faisceau lumineux divergent L devant passer à travers un collimateur 123, la source de lumière ponctuelle 122 étant, par exemple, une fibre amorce (FP). Le collimateur 123 est disposé entre la lentille convergente 121 et la fibre amorce (FP). En détail, la lentille convergente 121 est placée entre la source de lumière ponctuelle 122 et l'optique sous test E, et le module de source de lumière 120 peut également comprendre un collimateur 123 et une fibre optique OF, la fibre optique OF étant couplée à un élément électroluminescent (non représenté) pour former la source de lumière ponctuelle 122 à la fibre amorce (FP). Dans ce mode de réalisation, le collimateur 123 peut collimater le faisceau lumineux divergent L. En outre, si la fibre amorce (FP) est placée au point focal du collimateur 123, le collimateur peut collimater le faisceau de source de lumière SL avant qu'il ne soit incident sur la lentille convergente 121, de telle sorte que le foyer du faisceau lumineux incident IL est le point focal de la lentille convergente 121. Grâce à cette conception de conjugué optique, l'aberration optique à la fois du collimateur 123 et de la lentille convergente 121 peut être rendue minimale, ce qui réduit l'incertitude du front d'onde mesuré. En outre, la lentille convergente 121 peut être modularisée pour les diverses combinaisons de longueur focale et d'ouverture numérique. Par ailleurs, l'élément électroluminescent peut comprendre un élément électroluminescent laser, tel qu'une diode laser, et le faisceau lumineux divergent L sortant de la source de lumière ponctuelle 122 peut être un faisceau laser, mais d'autres modes de réalisation ne sont pas limités à cela.

[0051] La [Fig.5] est une vue en coupe schématique d'un module de source de lumière d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. Il est entendu que le module de source de lumière 120 peut être configuré avec d'autres types d'optiques sous test que la lentille convergente 121 et le collimateur 123. Par exemple, en référence à la [Fig.5], le module de source de lumière 120a peut également comprendre une ouverture 124. L'ouverture 124 est, par exemple, disposée entre le collimateur 123 et la lentille convergente 121. Plus précisément, l'ouverture 124 peut réduire le diamètre du faisceau de source de lumière SL. Il est entendu que, dans d'autres modes de réalisation, la position de l'ouverture 124 n'est pas limitée à un placement entre le collimateur 123 et la lentille convergente 121. Par exemple, en référence à la [Fig.3] et à la [Fig.5] conjointement, dans un mode de réalisation, l'ouverture 124 peut être disposée entre la lentille convergente 121 et l'optique sous test E ; en d'autres termes, l'ouverture 124 peut être située sur un chemin de transmission du faisceau lumineux incident IL. Dans un autre mode de réalisation, l'ouverture 124 peut être une ouverture du porte-lentille 111 de la broche rotative 110, et le porte-lentille 111 est conçu pour charger l'optique sous test E.

[0052] Toujours en référence à la [Fig.3], la broche rotative 110 de ce mode de réalisation peut être entraînée en rotation par une courroie et un moteur, mais le procédé

d'entraînement de la broche rotative 110 n'est pas limité par l'invention. Lorsque la mesure est effectuée à différentes directions azimutales, l'optique sous test E doit être alignée sur l'axe de rotation de la platine de rotation 112 de telle sorte que l'aberration mesurée à différentes directions azimutales ne change pas en raison de l'erreur de désalignement. Par conséquent, un dispositif d'alignement est nécessaire pour accomplir la tâche d'alignement. Dans ce mode de réalisation, la broche rotative 110 comprend, par exemple, une platine de rotation 112, une platine de translation 113 et un porte-lentille 111. La platine de translation 113 est placée sur la platine de rotation 112. La platine de rotation 112 est configurée pour faire tourner la platine de translation 113 pour qu'elle tourne le long de son axe de rotation A. Le porte-lentille 111 est placé sur la platine de translation 113 et est conçu pour charger l'optique sous test E. La platine de translation 113 est conçue pour entraîner le porte-lentille 111 en déplacement le long de la première direction X et de la deuxième direction Y, et la première direction X et la deuxième direction Y sont perpendiculaires à l'axe de rotation A et l'une par rapport à l'autre. En bref, la platine de translation 113 peut déplacer l'optique sous test E jusqu'au chemin de transmission du faisceau lumineux incident IL (illustré à la [Fig.4]). En outre, la platine de rotation 112 peut faire tourner la platine de translation 113 le long de la direction de rotation R ou de la direction opposée à la direction de rotation R, puis faire tourner l'optique sous test E aux différentes directions azimutales.

[0053] Pour effectuer la mesure tout en minimisant l'aberration de désalignement induite par le capteur de front d'onde 130 ou le module de source de lumière, le capteur de front d'onde 130 et le module de source de lumière 120 doivent tous deux être alignés sur la broche rotative 110 de telle sorte que les axes optiques du capteur de front d'onde et du module de source de lumière coïncident avec l'axe de rotation A de la broche rotative 110. Dans le mode de réalisation préféré, le dispositif de mesure de front d'onde optique 100 peut également comprendre la platine de translation 140 du capteur de front d'onde et la platine de translation 150 du module de source de lumière. La platine de translation 140 du capteur de front d'onde est reliée au capteur de front d'onde 130 et est conçue pour entraîner le capteur de front d'onde 130 en déplacement le long de la première direction X, de la deuxième direction Y et de la troisième direction Z. L'axe de rotation A de la broche rotative 110 est parallèle à un axe optique de l'optique sous test E. La troisième direction Z est configurée comme étant parallèle à l'axe de rotation A, et la première direction X et la deuxième direction Y sont configurées comme étant perpendiculaires à l'axe de rotation A et l'une par rapport à l'autre. La platine de translation 150 du module de source de lumière est reliée au module de source de lumière 120 et est conçue pour entraîner le module de source de lumière 120 en déplacement le long de la première direction X, de la deuxième direction Y et de la troisième direction Z. Par ailleurs, dans un mode de réalisation, la platine de translation

140 du capteur de front d'onde peut également être équipée d'une platine d'inclinaison (non représentée), et la platine d'inclinaison peut commander le capteur de front d'onde 130 pour l'incliner par rapport à un plan X-Y.

[0054] La [Fig.6] est un diagramme schématique de la broche rotative, du module de source de lumière et du capteur de front d'onde de la [Fig.3] équipés d'un bras robotique. En référence à la [Fig.6], dans ce mode de réalisation, le dispositif de mesure de front d'onde optique 100 comprend en outre, par exemple, un bras robotique 160, et le bras robotique 160 est conçu pour prélever et placer l'optique sous test E. En détail, le bras robotique 160 peut prélever et placer l'optique sous test E rapidement. Par exemple, dans un mode de réalisation, le bras robotique 160 peut comprendre un bras robotique mécanique SCARA à quatre axes (également connu sous le nom d'ensemble bras mécanique à flexibilité sélective à quatre axes), qui a une meilleure précision de positionnement.

[0055] La [Fig.7] est un diagramme schématique d'un dispositif de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. La structure du dispositif de mesure de front d'onde optique 100a de ce mode de réalisation est la même que celle du mode de réalisation de la [Fig.3], conçue pour mesurer le front d'onde optique réfléchi sur une surface de miroir ou une surface hautement réfléchissante, et les différences sont décrites ci-dessous. En référence à la [Fig.7], le dispositif de mesure de front d'onde optique 100a peut également comprendre un module de diviseur de faisceau 170. Le module de diviseur de faisceau 170 est conçu pour être placé entre l'optique sous test E et le capteur de front d'onde 130, et situé sur le chemin optique du faisceau lumineux incident IL. Le module de diviseur de faisceau 170 est conçu pour réfléchir le faisceau lumineux incident IL vers l'optique sous test E, et le faisceau lumineux incident est réfléchi pour former le faisceau lumineux de test DL. Le faisceau lumineux de test DL traverse le module de diviseur de faisceau 170 et est ensuite acquis par le capteur de front d'onde. Plus précisément, le module de diviseur de faisceau 170 peut comprendre un diviseur de faisceau 171, le diviseur de faisceau 171 étant situé sur le chemin optique du faisceau lumineux incident IL et pouvant réfléchir le faisceau lumineux incident IL vers l'optique sous test E. En outre, le faisceau lumineux de test DL traverse le diviseur de faisceau 171, de telle sorte que le faisceau lumineux de test DL se propage vers le capteur de front d'onde 130.

[0056] La [Fig.8] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un mode de réalisation de l'invention. La [Fig.9] est un diagramme schématique d'un dispositif de mesure de front d'onde optique approprié pour le procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.8]. En référence à la [Fig.8] et à la [Fig.9] conjointement, le procédé de mesure de front d'onde optique peut être appliqué au dispositif de mesure de front d'onde optique 100 ou 100a, et ce mode de réalisation

prend le dispositif de mesure de front d'onde optique 100 comme exemple. Le procédé de mesure de front d'onde optique comprend les étapes suivantes pour réaliser la mesure. Tout d'abord, en référence à l'étape S1 : déplacer le module de source de lumière 120 jusqu'à une première position prédéterminée et déplacer le capteur de front d'onde 130 jusqu'à une seconde position prédéterminée. En détail, la première position prédéterminée peut être déterminée en fonction d'une première distance D1 entre le point focal F (illustré à la [Fig.4]) et le porte-lentille 111, et la seconde position prédéterminée peut être déterminée en fonction d'une seconde distance D2 entre la surface S de l'optique sous test E et le capteur de front d'onde 130. Après déplacement du module de source de lumière 120 à la première position prédéterminée et du capteur de front d'onde 130 à la seconde position prédéterminée, passer à l'étape S2 : amener le faisceau lumineux incident IL provenant du module de source de lumière 120 à être incident sur l'optique sous test E. Lorsque l'optique sous test E est tournée à une pluralité de directions azimutales différentes les unes des autres par la broche rotative 110 (illustrée à la [Fig.3]), un faisceau lumineux de test DL (illustré à la [Fig.3]) sortant de l'optique sous test E tournée à la pluralité de directions azimutales différentes les unes des autres est généré. Le faisceau lumineux de test DL est reçu et une pluralité de trames de caméra avec différentes expositions sont obtenues par le capteur de front d'onde 130. Après obtention de la pluralité de trames de caméra avec différentes expositions, passer à l'étape S3 : obtenir une image mesurée à partir des trames de caméra et générer une phase de front d'onde mesurée ou des pentes de rayons mesurées à partir de l'image mesurée, la phase de front d'onde mesurée et les pentes de rayons mesurées correspondant aux différentes directions azimutales. En outre, l'image mesurée peut être synthétisée à partir des trames de caméra.

[0057] La [Fig.10] est un organigramme de l'étape S3 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.8]. La [Fig.11] est un organigramme de l'étape S3 d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. En référence à la [Fig.8] et à la [Fig.10] conjointement, en outre, lorsque l'étape S3 de la [Fig.8] est exécutée, le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre l'étape S31 de la [Fig.10] : des trames de caméra avec différentes expositions peuvent être obtenues en modulant une intensité lumineuse du faisceau lumineux incident du module de source de lumière. En détail, la modulation du module de source de lumière peut fournir des faisceaux lumineux incidents avec différentes intensités lumineuses pour traverser l'optique sous test dans différentes directions azimutales, de façon à en outre former des faisceaux lumineux de test avec différentes intensités lumineuses pour que le capteur de front d'onde reçoive et génère des trames de caméra avec différentes expositions. En référence à la [Fig.8] et à la [Fig.11], dans un autre mode de réalisation, lorsque l'étape S3 de la [Fig.8] est réalisée, le procédé de mesure de front

d'onde optique peut inclure l'étape S32 de la [Fig.11] : des trames de caméra avec différentes expositions peuvent être obtenues en réglant le capteur de front d'onde pour capturer les trames de caméra avec différents temps d'obturation. Plus précisément, le capteur de front d'onde peut être connecté à un module d'obturation, le module d'obturation pouvant changer le temps d'exposition du capteur de front d'onde, changeant ainsi l'intensité du faisceau lumineux de test reçu par le capteur de front d'onde. De cette manière, le capteur de front d'onde génère des trames de caméra avec différentes expositions pendant différentes durées d'exposition.

[0058] La [Fig.12] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. Les étapes du procédé de mesure de front d'onde optique de ce mode de réalisation sont similaires à celles du mode de réalisation de la [Fig.8], et seules les différences vont être décrites ci-dessous. En référence à la [Fig.8] et à la [Fig.12], après l'étape S1 de la [Fig.8], le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre en outre l'étape S21 de la [Fig.12] : aligner l'axe optique de l'optique sous test E sur l'axe de rotation A de la broche rotative 110. L'axe optique et l'axe de rotation A sont tous deux parallèles à la troisième direction Z (illustrée à la [Fig.3]), et la platine de translation peut alors déplacer l'optique sous test le long de la première direction X et de la deuxième direction Y (toutes deux illustrées à la [Fig.3]), de telle sorte que l'axe optique de l'optique sous test E est aligné sur l'axe de rotation A de la broche rotative 110. Les caractéristiques de la platine de translation ont été décrites dans ce qui précède, de telle sorte que la description associée est omise ici.

[0059] La [Fig.13] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. Les étapes du procédé de mesure de front d'onde optique de ce mode de réalisation sont similaires à celles du mode de réalisation de la [Fig.8], et seules les différences vont être décrites ci-dessous. En référence à la [Fig.8] et à la [Fig.13], avant l'étape S1 de la [Fig.8], c'est-à-dire avant le déplacement du module de source de lumière à la première position prédéterminée et le déplacement du capteur de front d'onde à la seconde position prédéterminée, le procédé de mesure de front d'onde optique peut en outre comprendre les étapes suivantes. En référence à l'étape S01 de la [Fig.13] : analyser et déterminer une position de conjugué optique optimale en fonction d'une prescription de conception de l'optique sous test par un logiciel de traçage de rayons. En détail, le logiciel de traçage de rayons peut être exécuté par un dispositif informatique, et le dispositif informatique comprend, par exemple, un serveur, un ordinateur de bureau ou un ordinateur portable, mais l'invention n'est pas limitée à cela. Dans ce mode de réalisation, après détermination de la position de conjugué optique optimale, passer à l'étape S02 : déterminer la première position prédéterminée et la seconde position prédéterminée du module de source de

lumière et du capteur de front d'onde par rapport à l'optique sous test E dans la troisième direction Z en fonction de la position de conjugué optique optimale, la première position prédéterminée correspondant au module de source de lumière et la seconde position prédéterminée correspondant au capteur de front d'onde. En outre, la troisième direction est parallèle à l'axe optique de l'optique sous test et est, par exemple, la troisième direction z illustrée à la [Fig.3].

[0060] La [Fig.14] est un organigramme de l'étape S01 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.13]. En référence à la [Fig.13] et à la [Fig.14] conjointement, à l'étape S01 de la [Fig.13], lors de la détermination de la position de conjugué optique optimale en fonction de la prescription de conception de l'optique sous test par le traçage de rayons, le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre les étapes suivantes. En référence à l'étape S011 de la [Fig.14] : générer une phase de front d'onde de référence ou une pente de rayons de référence en traçant les rayons de la prescription optique de l'optique sous test sur le plan de surface comme le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde. En outre, le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde reçoit le faisceau lumineux de test et génère la phase de front d'onde mesurée ou la pente de rayons mesurée en fonction du faisceau lumineux de test. Plus précisément, la phase optique mesurée est comparée à la phase de front d'onde de référence, et la pente de rayons mesurée est comparée à la pente de rayons de référence. Par ailleurs, dans d'autres modes de réalisation, le nombre à la fois de phases de front d'onde de référence et de pentes de rayons de référence peut être pluriel.

[0061] La [Fig.15] est un organigramme de l'étape S01 d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. En référence à la [Fig.13] et à la [Fig.15], dans un autre mode de réalisation, lorsque l'étape S01 de la [Fig.13] est réalisée, le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre l'étape S012 de la [Fig.15] : générer la phase de front d'onde de référence ou les pentes de rayons d'un décentrement de lentille unitaire dans le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde pour quantifier un décentrement de l'optique sous test. En détail, la relation est illustrée dans l'Equation 6 précédente.

[0062] La [Fig.16] est un organigramme d'un procédé de mesure de front d'onde optique selon un autre mode de réalisation de l'invention. Les étapes du procédé de mesure de front d'onde optique de ce mode de réalisation sont similaires à celles du mode de réalisation de la [Fig.13], et seules les différences vont être décrites ci-dessous. En référence à la [Fig.13] et à la [Fig.16] conjointement, après l'étape S01 de la [Fig.13], le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre les étapes suivantes. En référence à l'étape S013 de la [Fig.16] : déterminer une ouverture numérique du faisceau lumineux incident en fonction de la position de conjugué optique optimale de

l'optique sous test, sélectionner une lentille convergente appropriée ou une ouverture placée entre une source de lumière ponctuelle et l'optique sous test à travers l'ouverture numérique, et ajuster la première position prédéterminée de la lentille convergente dans la troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de la position de conjugué optique optimale. Les caractéristiques de la lentille convergente et de l'ouverture ont été décrites en détail dans ce qui précède, de telle sorte que la description associée est omise ici.

[0063] La [Fig.17] est un organigramme de l'étape S21 du procédé de mesure de front d'onde optique de la [Fig.12]. Les étapes du procédé de mesure de front d'onde optique de ce mode de réalisation sont similaires à celles du mode de réalisation de la [Fig.12], et seules les différences vont être décrites ci-dessous. En référence à la [Fig.12] et à la [Fig.17] conjointement, à l'étape S21 de la [Fig.12], le procédé de mesure de front d'onde optique peut comprendre l'étape S211 de la [Fig.17] : entraîner le porte-lentille en déplacement le long de la première direction et de la deuxième direction par la platine de translation, la première direction et la deuxième direction qui sont perpendiculaires à l'axe de rotation et l'une par rapport à l'autre. La platine de translation, l'axe de rotation, la première direction et la deuxième direction ont déjà été décrits dans ce qui précède, de telle sorte que la description associée est omise ici.

[0064] Par rapport à l'état antérieur de la technique, le procédé de mesure de front d'onde optique dans ce mode de réalisation est approprié pour le dispositif de mesure de front d'onde optique décrit ci-dessus, de telle sorte que le front d'onde aberrant de l'optique sous test peut être mesuré sans utiliser de CGH ou d'optique nulle.

[0065] En résumé, le dispositif de mesure de front d'onde optique de l'invention adopte la broche rotative pour faire tourner l'optique sous test à la pluralité de directions azimutales différentes les unes des autres, utilise le capteur de front d'onde pour capturer une pluralité de trames de caméra de l'optique sous test avec différentes expositions dans chacune des directions azimutales, et synthétise les trames de caméra en une image mesurée par l'intermédiaire de l'imagerie HDR. En d'autres termes, le dispositif de mesure de front d'onde optique de l'invention mesure le front d'onde sortant de l'optique sous test en combinant les images mesurées par l'imagerie HDR et le procédé d'acquisition de front d'onde par rotation d'angle azimutal, les caractéristiques des points de Hartmann pouvant être obtenues avec plus de précision à partir de l'image synthétisée à grande gamme dynamique qu'à partir d'une image mesurée classique d'une seule trame d'exposition, et des images mesurées dans différentes directions azimutales pouvant être utilisées pour séparer le front d'onde de l'optique sous test de l'erreur de front d'onde causée par l'alignement du système. Par conséquent, le dispositif de mesure de front d'onde optique de l'invention peut mesurer le front d'onde de l'optique sous test avec une meilleure précision et une plus grande flexibilité.

[0066] Bien que l'invention ait été décrite en termes de ce qui est actuellement considéré comme étant les modes de réalisation les plus pratiques et les plus préférés, il est entendu que l'invention n'a pas besoin d'être limitée au mode de réalisation divulgué. Au contraire, elle est destinée à couvrir diverses modifications et dispositions similaires comprises dans l'esprit et la portée des revendications annexées, auxquelles il convient d'accorder l'interprétation la plus large afin d'englober toutes ces modifications et structures similaires.

Revendications

[Revendication 1] Dispositif de mesure de front d'onde optique pour tester une optique sous test, le dispositif de mesure de front d'onde optique comprenant :
une broche rotative faisant tourner ladite optique sous test dans une pluralité de directions azimutales différentes ;
un module de source de lumière émettant un faisceau lumineux incident qui se propage jusqu'à ladite optique sous test, à partir duquel un faisceau lumineux de test est généré ;
un capteur de front d'onde acquérant ledit faisceau lumineux de test dans au moins l'une de ladite pluralité de directions azimutales différentes ; et
ledit capteur de front d'onde capture une pluralité de trames de caméra avec différentes expositions pour acquérir ledit faisceau lumineux de test.

[Revendication 2] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 1, dans lequel ledit module de source de lumière comprend un faisceau de source de lumière et une lentille convergente, la lentille convergente est positionnée entre ledit faisceau de source de lumière et ladite optique sous test, faisant converger le faisceau lumineux incident vers un point focal, la distance relative entre ledit point focal et ladite optique sous test est prédéterminée par la prescription de conception de l'optique sous test.

[Revendication 3] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 2, dans lequel un faisceau lumineux divergent est collimaté par un collimateur formant ledit faisceau de source de lumière, ledit faisceau lumineux divergent se propage à partir d'une source de lumière ponctuelle, ladite source de lumière ponctuelle est générée à partir d'une fibre amorce, et ledit collimateur est placé entre ladite lentille convergente et ladite fibre amorce.

[Revendication 4] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 1, comprenant en outre un module de diviseur de faisceau, dans lequel ledit module de diviseur de faisceau est disposé entre ladite optique sous test et ledit capteur de front d'onde, et est situé sur un chemin de propagation dudit faisceau lumineux incident, le module de diviseur de faisceau redirige ledit faisceau lumineux incident vers ladite optique sous test, et ledit faisceau lumineux incident est réfléchi sur ladite optique sous test en formant ledit faisceau lumineux de test, ledit faisceau lumineux de test est capturé par ledit capteur de front d'onde

après avoir traversé ledit module de diviseur de faisceau.

[Revendication 5] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 3, dans lequel ledit module de source de lumière comprend en outre une ouverture, l'ouverture est disposée entre le collimateur et la lentille convergente ou entre la lentille convergente et ladite optique sous test, ou l'ouverture est une ouverture d'un porte-lentille de la broche rotative, et le porte-lentille maintient ladite optique sous test.

[Revendication 6] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 1, dans lequel la broche rotative comprend une platine de rotation, une platine de translation et un porte-lentille, la platine de translation est disposée sur la platine de rotation, la platine de rotation possède un axe de rotation, la platine de rotation fait tourner la platine de translation pour qu'elle tourne le long dudit axe de rotation, le porte-lentille est disposé sur la platine de translation et maintient ladite optique sous test, la platine de translation déplace le porte-lentille le long d'une première direction et d'une deuxième direction, et la première direction et la deuxième direction sont perpendiculaires à l'axe de rotation et l'une par rapport à l'autre.

[Revendication 7] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 1, comprenant en outre au moins l'une parmi une platine de translation de capteur de front d'onde et une platine de translation de module de source de lumière, dans lequel :

la platine de translation de capteur de front d'onde est reliée au capteur de front d'onde et entraîne le capteur de front d'onde en déplacement le long d'une première direction, d'une deuxième direction et d'une troisième direction, dans lequel un axe de rotation de la broche de rotation est parallèle à l'axe optique de ladite optique sous test, la troisième direction est parallèle à l'axe de rotation, la première direction et la deuxième direction sont orthogonales à l'axe de rotation et l'une par rapport à l'autre ;

la platine de translation de module de source de lumière est reliée au module de source de lumière et est conçue pour entraîner le module de source de lumière en déplacement le long de la première direction, de la deuxième direction et de la troisième direction.

[Revendication 8] Dispositif de mesure de front d'onde optique selon la revendication 1, comprenant en outre un bras robotique pour prélever et placer ladite optique sous test sur ledit porte-lentille.

[Revendication 9] Procédé de mesure de front d'onde optique approprié pour un dispositif

de mesure de front d'onde optique pour tester une optique sous test, le dispositif de mesure de front d'onde optique comprenant une broche rotative faisant tourner ladite optique sous test, un module de source de lumière et un capteur de front d'onde, le procédé de mesure de front d'onde optique comprenant :

déplacer le module de source de lumière jusqu'à une première position prédéterminée, et déplacer le capteur de front d'onde jusqu'à une seconde position prédéterminée ;

amener un faisceau lumineux incident à être incident sur ladite optique sous test par le module de source de lumière, et un faisceau lumineux de test se propageant hors de ladite optique sous test ;

lorsque ladite optique sous test est tournée à une pluralité de directions azimutales différentes par la broche rotative, le faisceau lumineux de test est acquis par le capteur de front d'onde dans ladite pluralité de directions azimutales différentes ;

ledit capteur de front d'onde acquiert le faisceau lumineux de test pour une pluralité de trames de caméra avec différentes expositions dans au moins l'une de ladite pluralité de directions azimutales différentes.

[Revendication 10] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 9, dans lequel les trames de caméra avec différentes expositions sont obtenues en modulant une intensité lumineuse du faisceau lumineux incident du module de source de lumière.

[Revendication 11] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 9, dans lequel les trames de caméra avec différentes expositions sont obtenues en configurant le capteur de front d'onde pour capturer les trames de caméra avec différents temps d'obturation.

[Revendication 12] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 9, dans lequel, avant les étapes selon lesquelles, lorsque ladite optique sous test est tournée à une pluralité de directions azimutales différentes par la broche rotative, le faisceau lumineux de test est acquis par le capteur de front d'onde à ladite pluralité de directions azimutales différentes, le procédé de mesure de front d'onde optique comprend en outre l'alignement d'un axe optique de ladite optique sous test sur l'axe de rotation de ladite broche rotative.

[Revendication 13] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 9, la première position prédéterminée et la seconde position prédéterminée étant déterminées par le procédé :

déterminer une position de conjugué optique optimale en fonction d'une

prescription de conception de ladite optique sous test par traçage de rayons ; et

déterminer la première position prédéterminée et la seconde position prédéterminée du module de source de lumière et du capteur de front d'onde par rapport à ladite optique sous test dans une troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de ladite position de conjugué optique optimale.

[Revendication 14] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 13, dans lequel, lors de la détermination de la position de conjugué optique optimale en fonction de la prescription de conception de ladite optique sous test par le procédé de traçage de rayons, le procédé de mesure de front d'onde optique comprend :

générer une phase de front d'onde de référence ou une pente de rayons de référence dans le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde ; ou

générer la phase de front d'onde de référence ou la pente de rayons de référence en fonction du décentrement de surface ou d'éléments de ladite optique sous test dans le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde de façon à quantifier le décentrement de surface ou d'éléments de ladite optique sous test.

[Revendication 15] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 13, dans lequel, après ladite détermination de la position de conjugué optique optimale en fonction de la prescription de conception de ladite optique sous test par le procédé de traçage de rayons, le procédé de mesure de front d'onde optique comprend en outre :

déterminer une ouverture numérique du faisceau lumineux incident en fonction de la position de conjugué optique optimale de ladite optique sous test, sélectionner une lentille convergente appropriée ou une ouverture pour commander la vitesse de convergence de faisceau lumineux incident, et ajuster la première position prédéterminée de la lentille convergente dans la troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de la position de conjugué optique optimale.

[Revendication 16] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 15, dans lequel la broche rotative comprend un porte-lentille, le porte-lentille maintenant ladite optique sous test, l'ouverture est disposée entre un collimateur et la lentille convergente ou entre la lentille convergente et ladite optique sous test, ou l'ouverture est une ouverture du porte-lentille.

[Revendication 17] Procédé de mesure de front d'onde optique selon la revendication 12, dans lequel la broche rotative comprend une platine de rotation, une platine de translation et un porte-lentille, la platine de translation est disposée sur la platine de rotation, la platine de rotation possède l'axe de rotation et entraîne la platine de translation en rotation le long de l'axe de rotation, le porte-lentille est disposé sur la platine de translation et maintient ladite optique sous test, dans lequel l'étape consistant à aligner l'axe optique de ladite optique sous test sur l'axe de rotation de la broche rotative comprend l'entraînement du porte-lentille en déplacement le long d'une première direction et d'une deuxième direction par la platine de translation, et la première direction et la deuxième direction sont perpendiculaires à l'axe de rotation et l'une par rapport à l'autre.

[Fig. 1]

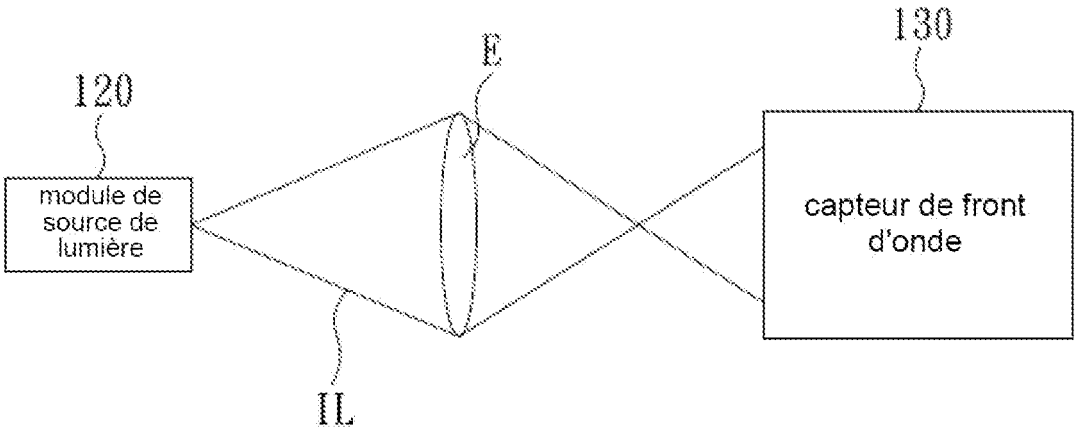


FIG. 1

[Fig. 2]

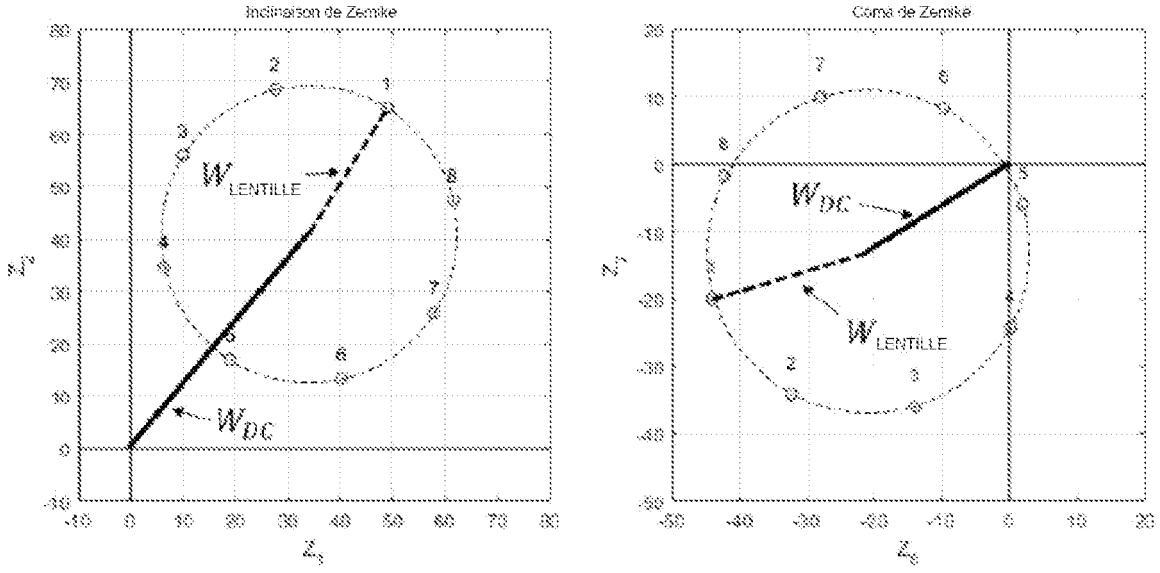


FIG. 2

[Fig. 3]

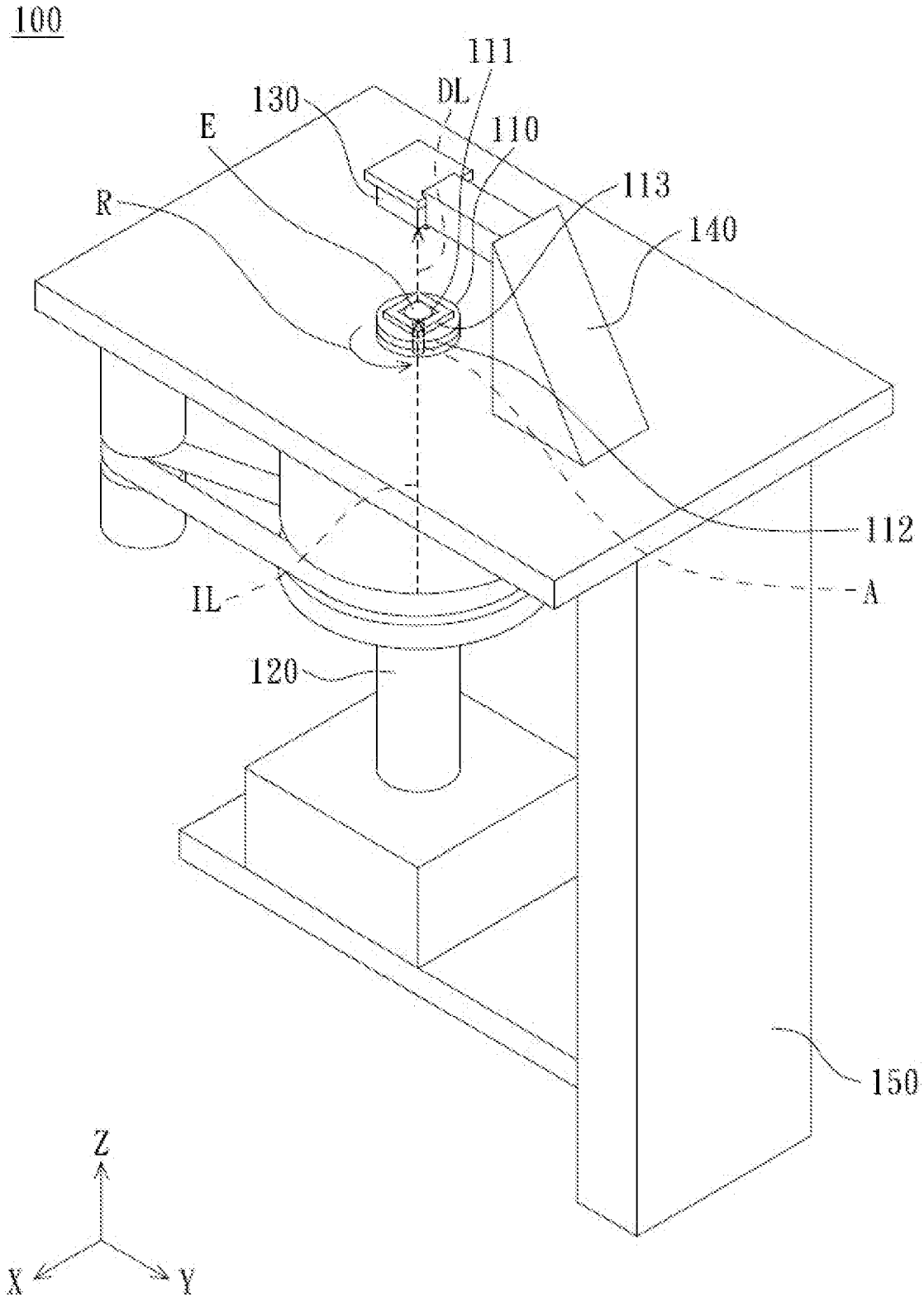


FIG. 3

[Fig. 4]

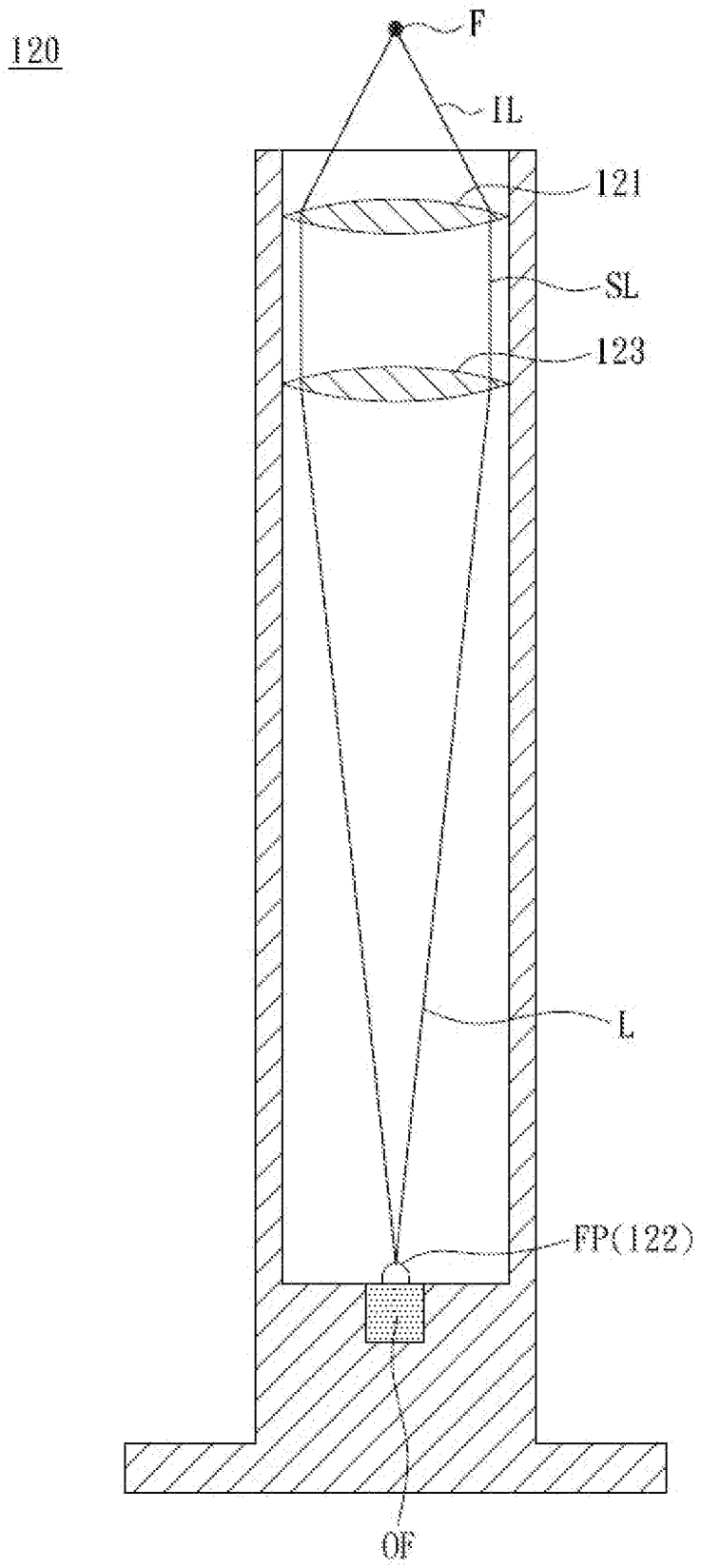


FIG. 4

[Fig. 5]

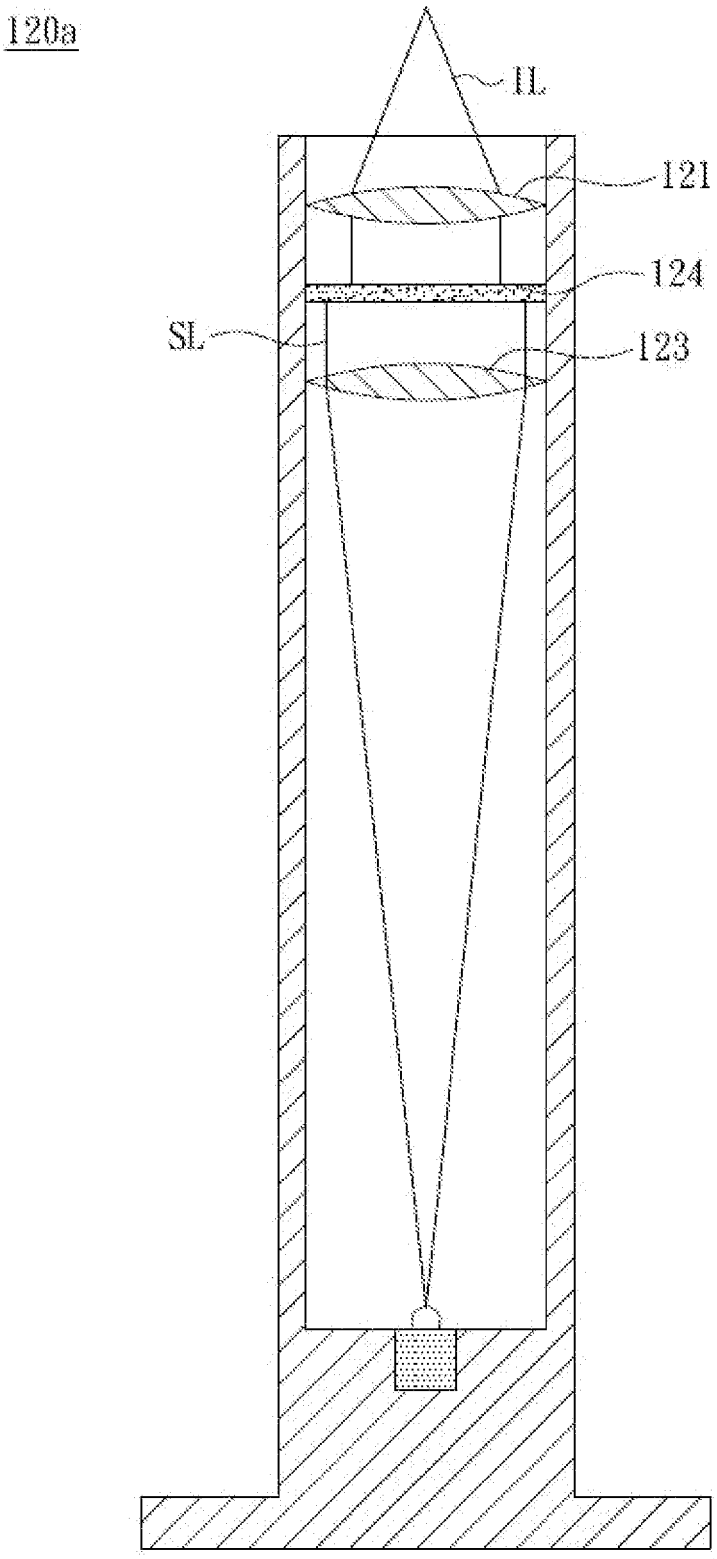


FIG. 5

[Fig. 6]

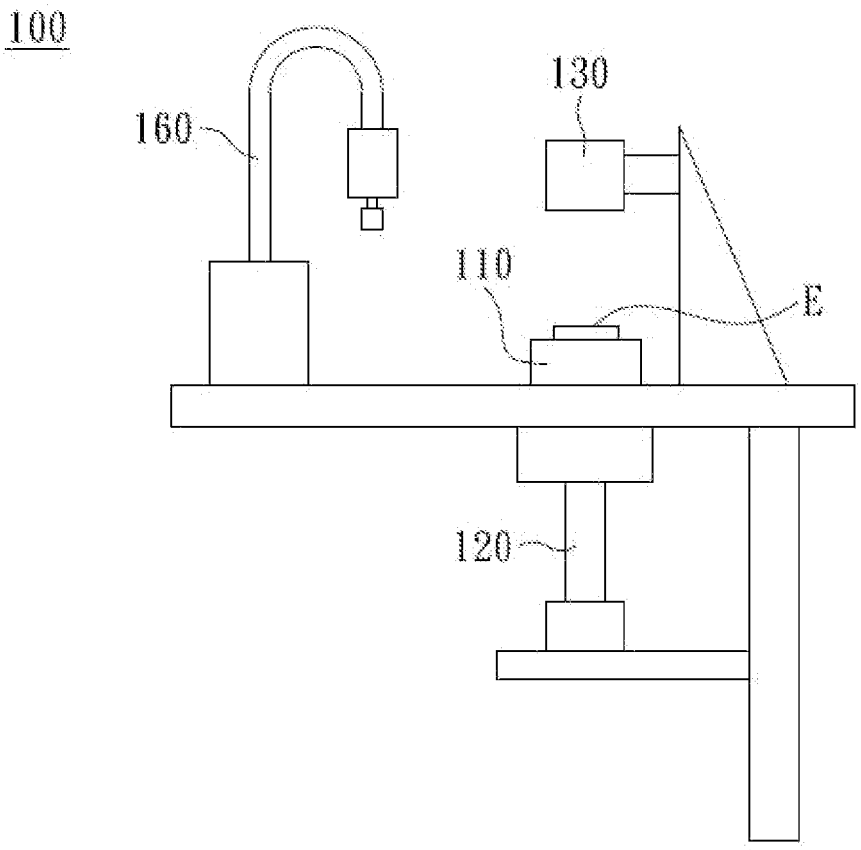


FIG. 6

[Fig. 7]

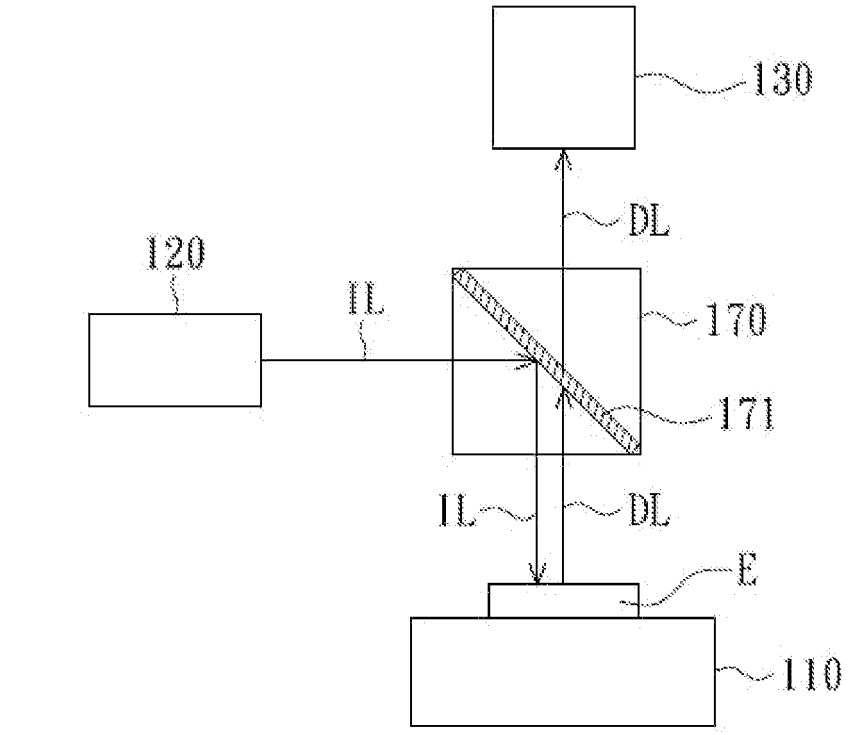


FIG. 7

[Fig. 8]

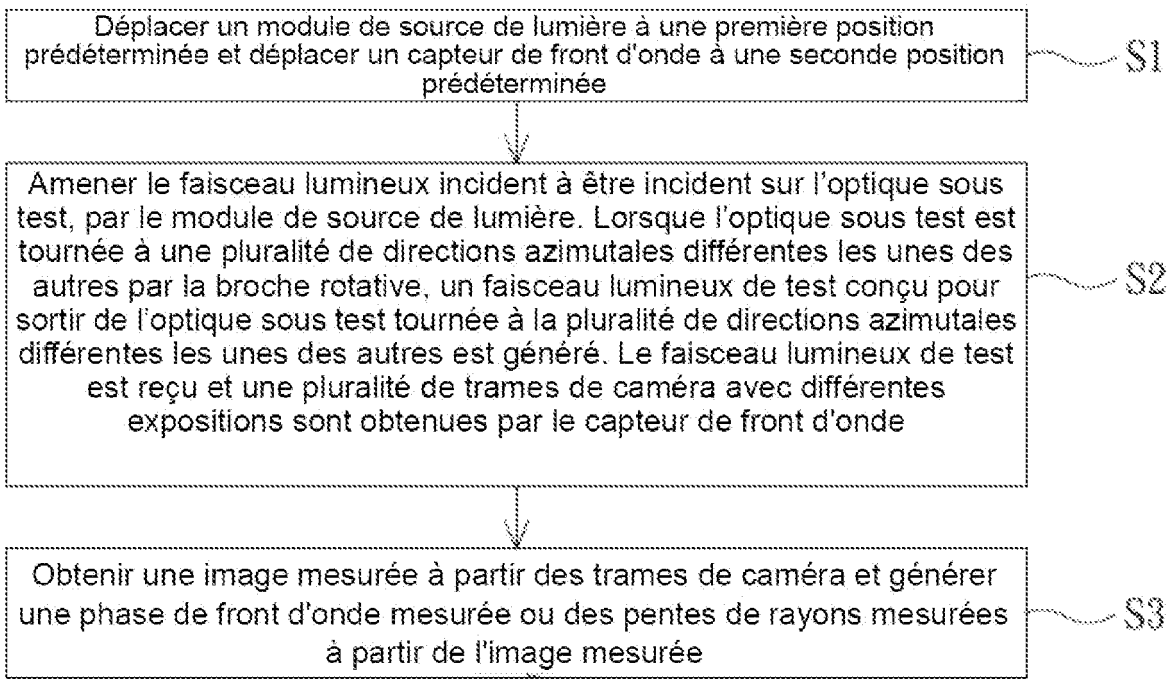


FIG. 8

[Fig. 9]

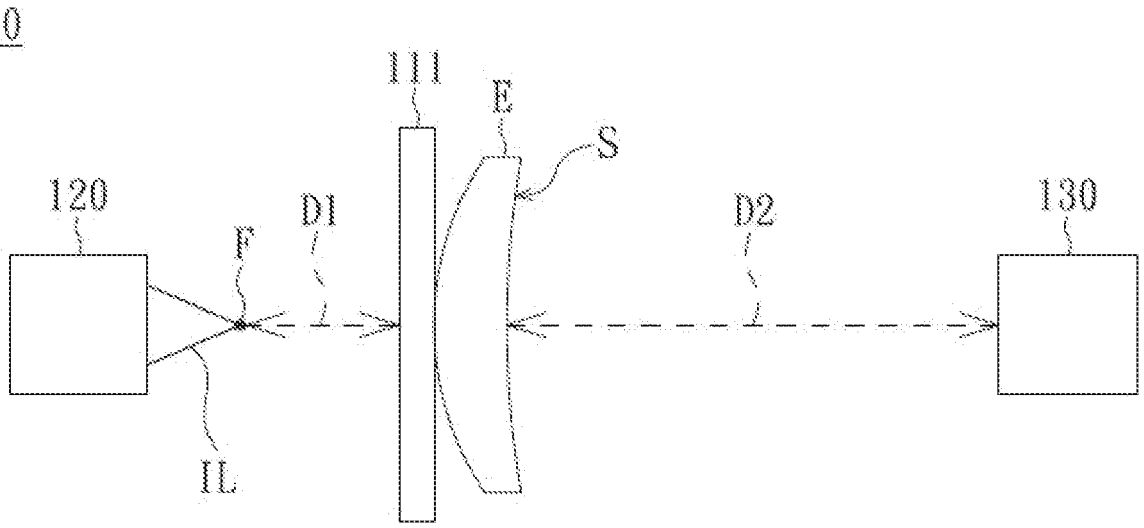


FIG. 9

[Fig. 10]

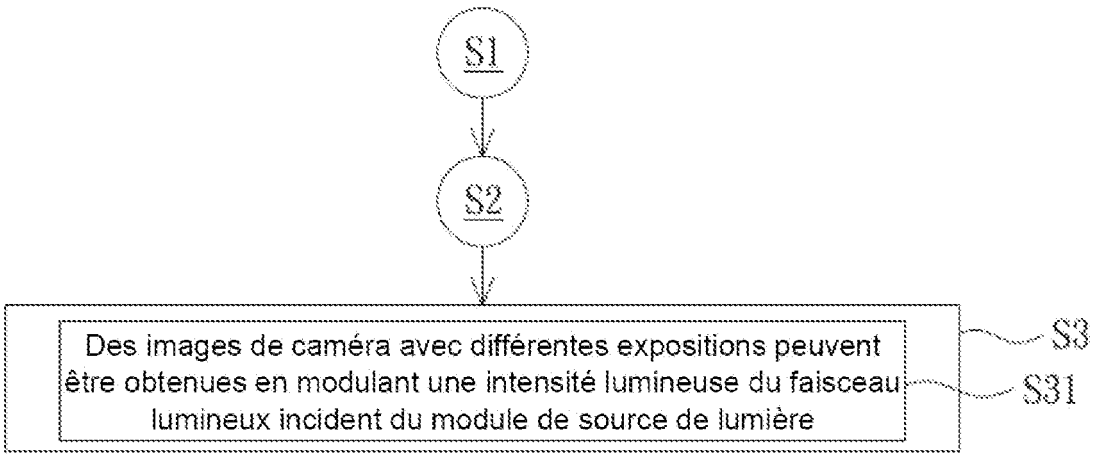


FIG. 10

[Fig. 11]

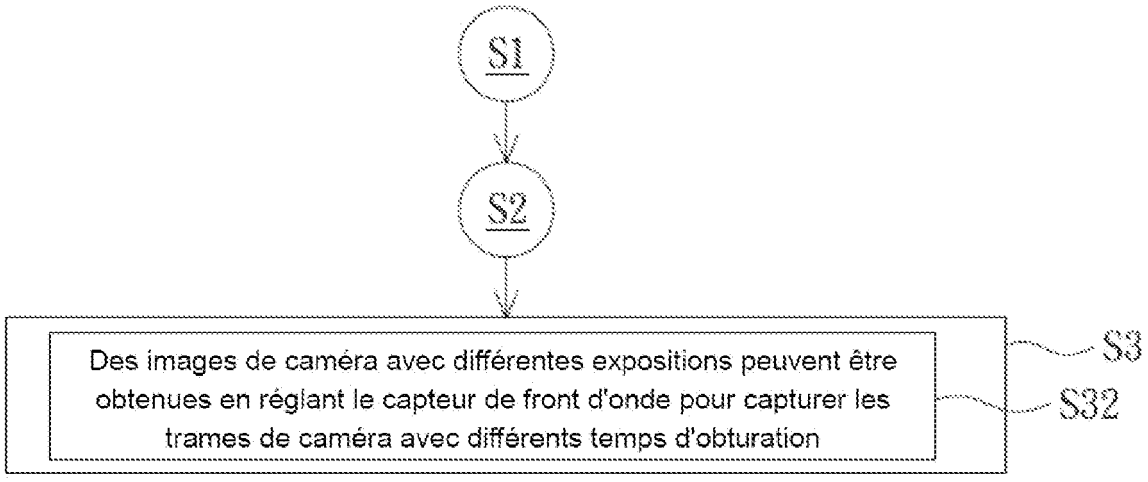


FIG. 11

[Fig. 12]

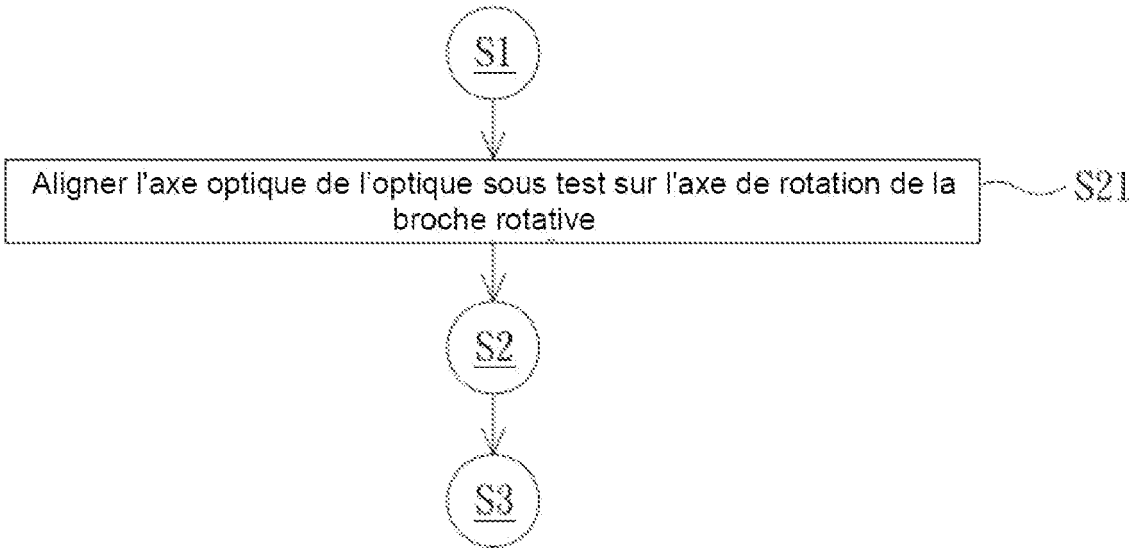


FIG. 12

[Fig. 13]

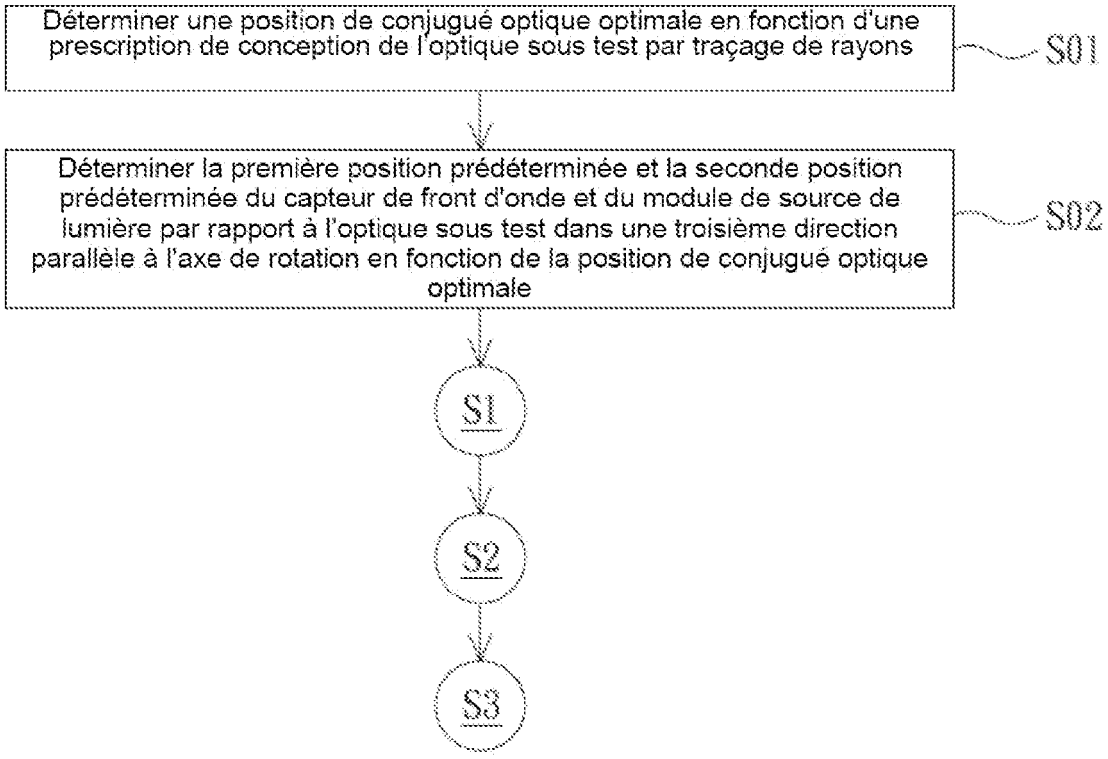

Déterminer une position de conjugué optique optimale en fonction d'une prescription de conception de l'optique sous test par traçage de rayons
S01
Déterminer la première position prédéterminée et la seconde position prédéterminée du capteur de front d'onde et du module de source de lumière par rapport à l'optique sous test dans une troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de la position de conjugué optique optimale
S02
S1
S2
S3

FIG. 13

[Fig. 14]

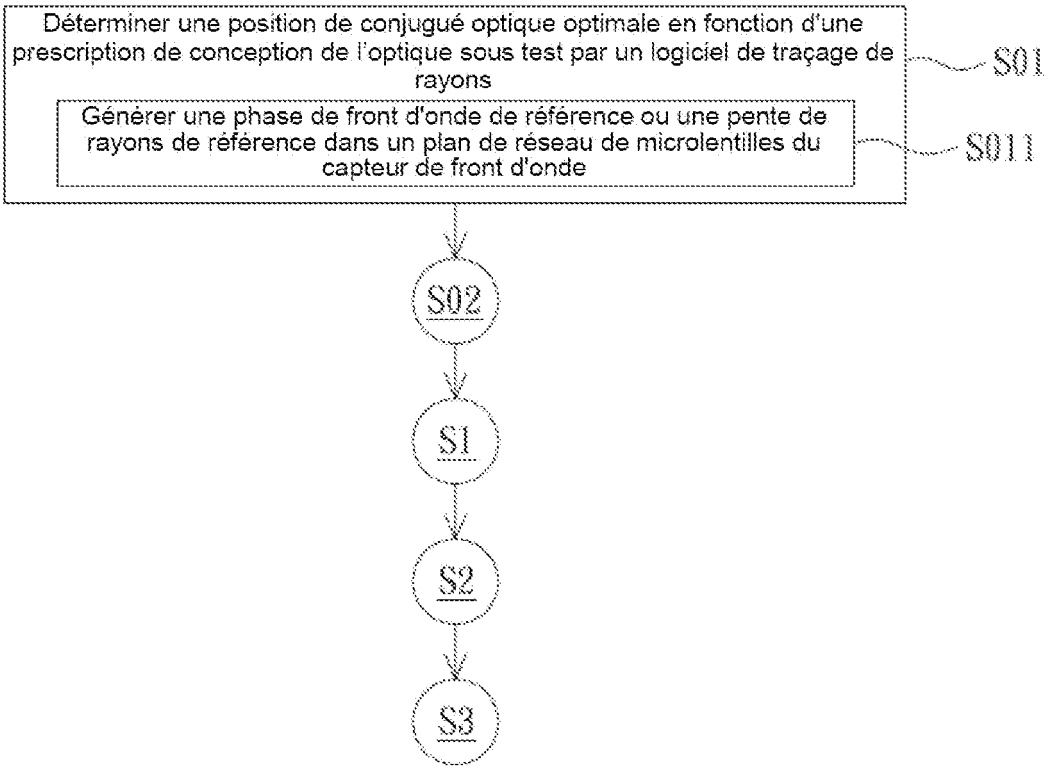

Déterminer une position de conjugué optique optimale en fonction d'une prescription de conception de l'optique sous test par un logiciel de traçage de rayons
S01
Générer une phase de front d'onde de référence ou une pente de rayons de référence dans un plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde
S011
S02
S1
S2
S3

FIG. 14

[Fig. 15]

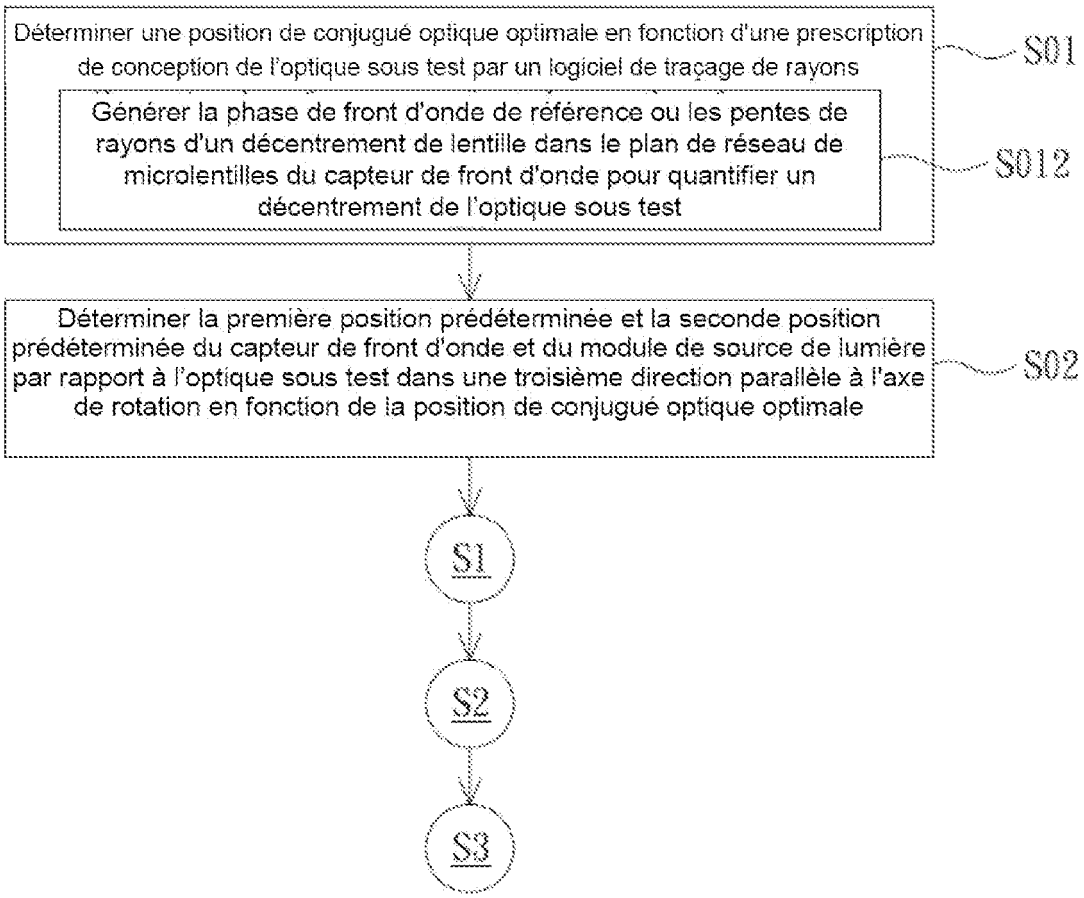

Déterminer une position de conjugué optique optimale en fonction d'une prescription de conception de l'optique sous test par un logiciel de traçage de rayons
Générer la phase de front d'onde de référence ou les pentes de rayons d'un décentrement de lentille dans le plan de réseau de microlentilles du capteur de front d'onde pour quantifier un décentrement de l'optique sous test
S012
S01
Déterminer la première position prédéterminée et la seconde position prédéterminée du capteur de front d'onde et du module de source de lumière par rapport à l'optique sous test dans une troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de la position de conjugué optique optimale
S02
S1
S2
S3

FIG. 15

[Fig. 16]

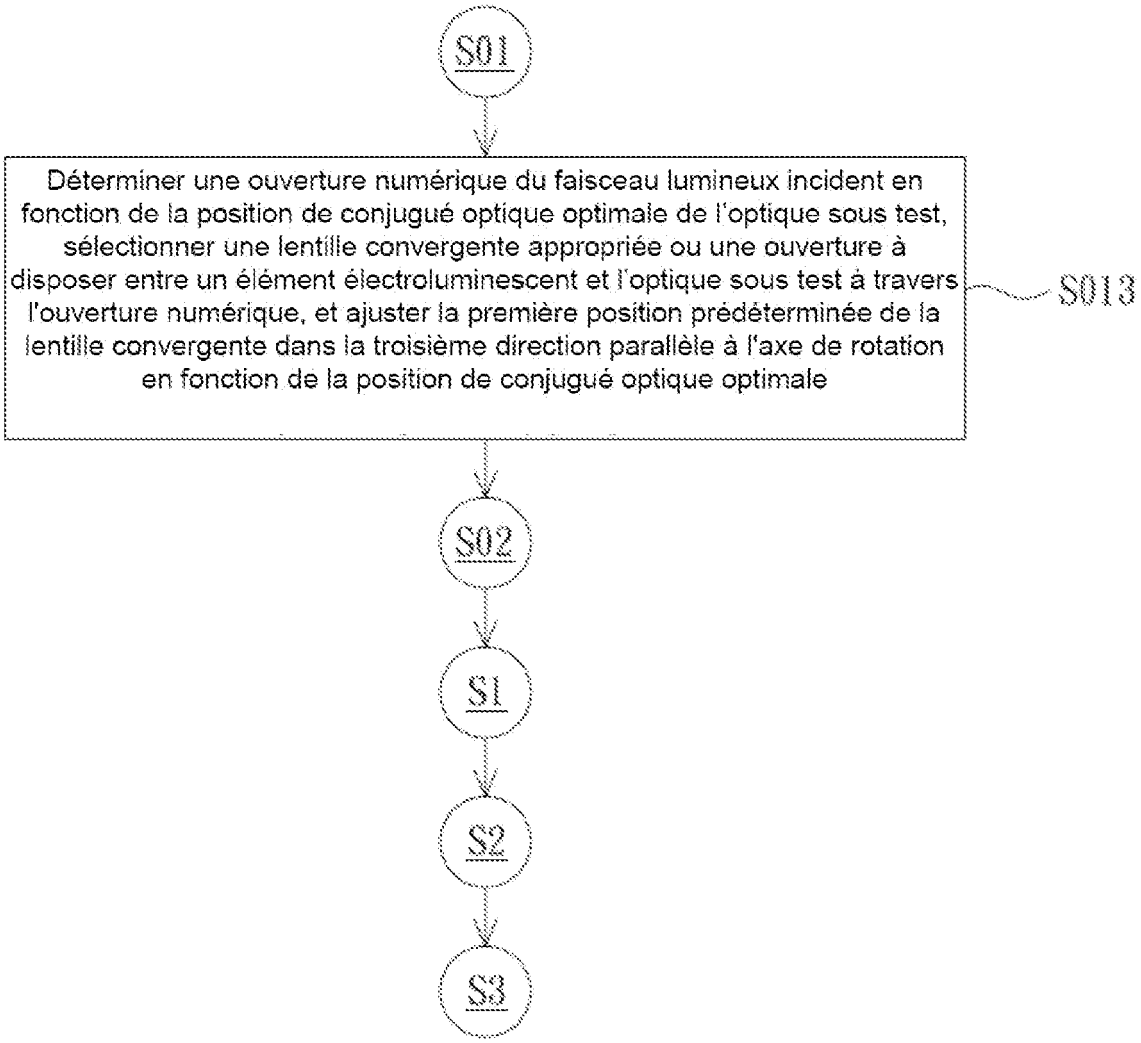

S01
Déterminer une ouverture numérique du faisceau lumineux incident en fonction de la position de conjugué optique optimale de l'optique sous test, sélectionner une lentille convergente appropriée ou une ouverture à disposer entre un élément électroluminescent et l'optique sous test à travers l'ouverture numérique, et ajuster la première position prédéterminée de la lentille convergente dans la troisième direction parallèle à l'axe de rotation en fonction de la position de conjugué optique optimale
S013
S02
S1
S2
S3

FIG. 16

[Fig. 17]

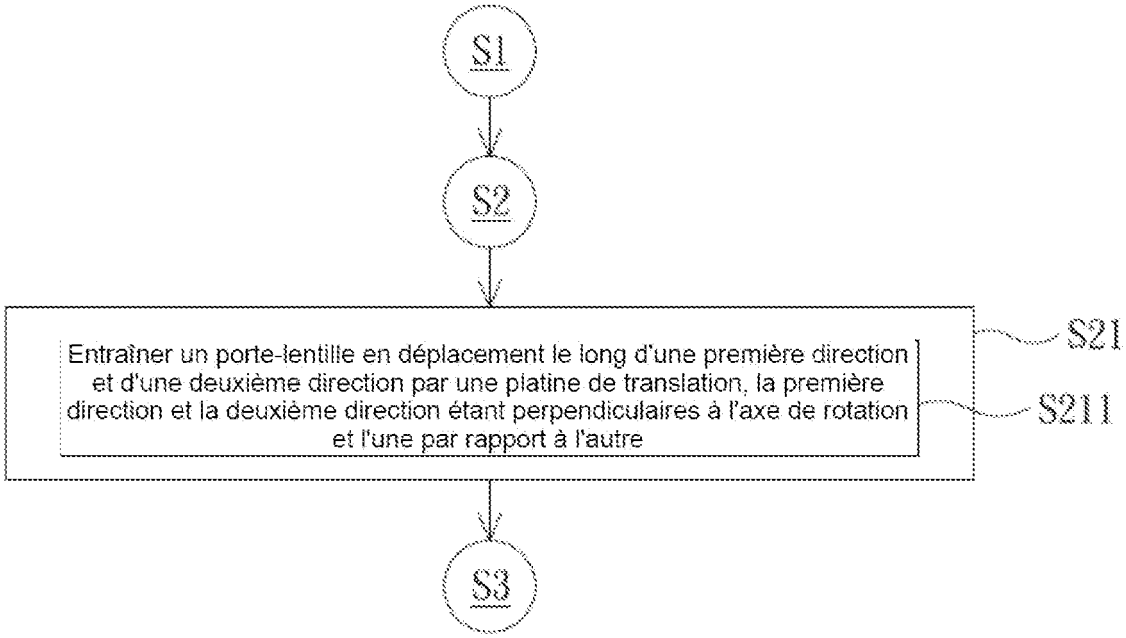

S1
S2
Entraîner un porte-lentille en déplacement le long d'une première direction et d'une deuxième direction par une platine de translation, la première direction et la deuxième direction étant perpendiculaires à l'axe de rotation et l'une par rapport à l'autre
S21
S211
S3

FIG. 17