

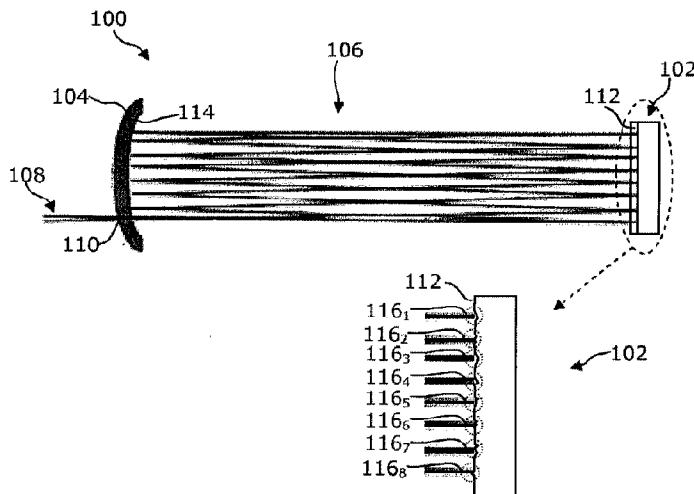


(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2015/01/15
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/08/06
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2023/04/04
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/07/12
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2015/050711
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/113831
(30) Priorité/Priority: 2014/01/30 (FR1450715)

(51) Cl.Int./Int.Cl. G02B 26/06 (2006.01),
G02B 27/00 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
MORIZUR, JEAN-FRANCOIS, FR;
LABROILLE, GUILLAUME, FR;
TREPS, NICOLAS, FR
(73) Propriétaire/Owner:
CAILABS, FR
(74) Agent: ANGLEHART ET AL.

(54) Titre : DISPOSITIF DE TRAITEMENT D'UN RAYONNEMENT LUMINEUX/OPTIQUE, PROCEDE ET SYSTEME DE CONCEPTION
D'UN TEL DISPOSITIF

(54) Title: DEVICE FOR PROCESSING LIGHT/OPTICAL RADIATION, METHOD AND SYSTEM FOR DESIGNING SUCH A DEVICE



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un dispositif (100) pour traiter un rayonnement lumineux (108) comprenant au moins deux éléments optiques réfléchissants (102, 104) définissant une cavité multipassage (106) de sorte qu'au moins un desdits éléments optiques (102, 104) réfléchit ledit rayonnement lumineux (108) au moins deux fois en au moins deux emplacements de réflexion différents, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément, dit correcteur, présentant au moins un emplacement, dit correcteur, réalisant une réflexion ou transmission dudit rayonnement optique et dont la surface est irrégulière de sorte que le profil de phase spatiale dudit emplacement correcteur (116) présente un déphasage différent pour plusieurs points de réflexion ou transmission différents dudit emplacement correcteur (116). L'invention concerne également un procédé et un système pour concevoir un tel dispositif (100).

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
6 août 2015 (06.08.2015)

(10) Numéro de publication internationale

WO 2015/113831 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G02B 26/06 (2006.01) *G02B 27/00* (2006.01)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/050711

(22) Date de dépôt international :
15 janvier 2015 (15.01.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1450715 30 janvier 2014 (30.01.2014) FR

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Déposant : CAILABS [FR/FR]; 8 rue du 7ème régiment d'artillerie, Immeuble LE ZEPHIR, F-35000 Rennes (FR).

(72) Inventeurs : MORIZUR, Jean-François; 6 bis Rue de Quineleu, F-35000 Rennes (FR). LABROILLE, Guillaume; 2 rue Pierre-Henri Teitgen, F-35000 Rennes (FR). TREPS, Nicolas; 59 rue de la Fontaine au Roi, F-75011 Paris (FR).

Publiée :

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

(74) Mandataire : PONTET ALLANO & ASSOCIES; Parc Les Algorithmes, Bâtiment PLATON, CS 70003 SAINT-AUBIN, F-91192 GIF SUR YVETTE cedex (FR).

(54) Title : DEVICE FOR PROCESSING LIGHT/OPTICAL RADIATION, METHOD AND SYSTEM FOR DESIGNING SUCH A DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF DE TRAITEMENT D'UN RAYONNEMENT LUMINEUX/OPTIQUE, PROCEDE ET SYSTEME DE CONCEPTION D'UN TEL DISPOSITIF

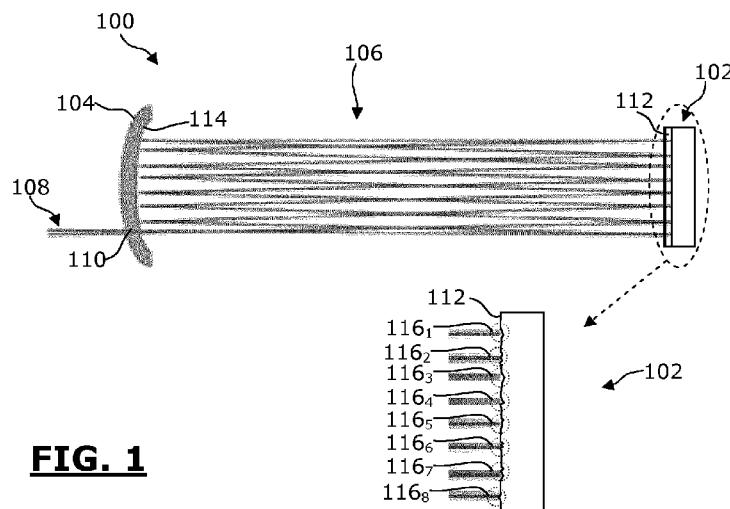


FIG. 1

(57) Abstract : The invention relates to a device (100) for processing light radiation (108), comprising at least two reflective optical elements (102, 104) which define a multi-pass cavity (106) such that at least one of said optical elements (102, 104) reflects said light radiation (108) at least twice in at least two different reflection locations, characterised in that it comprises at least one element, referred to as a correction element, having at least one location, referred to as a correction location, which produces a reflection or transmission of said optical radiation and of which the surface is irregular such that the spatial-phase profile of said correction location (116) has a different phase shift for a plurality of different reflection or transmission points at said correction location (116). The invention also relates to a method and to a system for designing such a device (100).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/113831 A1

L'invention concerne un dispositif (100) pour traiter un rayonnement lumineux (108) comprenant au moins deux éléments optiques réfléchissants (102, 104) définissant une cavité multipassage (106) de sorte qu'au moins un desdits éléments optiques (102, 104) réfléchit ledit rayonnement lumineux (108) au moins deux fois en au moins deux emplacements de réflexion différents, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément, dit correcteur, présentant au moins un emplacement, dit correcteur, réalisant une réflexion ou transmission dudit rayonnement optique et dont la surface est irrégulière de sorte que le profil de phase spatiale dudit emplacement correcteur (116) présente un déphasage différent pour plusieurs points de réflexion ou transmission différents dudit emplacement correcteur (116). L'invention concerne également un procédé et un système pour concevoir un tel dispositif (100).

- 1 -

« Dispositif de traitement d'un rayonnement lumineux/optique, procédé et système de conception d'un tel dispositif »

La présente invention concerne un dispositif de traitement d'un
5 rayonnement lumineux/optique, en particulier par une succession de propagations et de modifications de la phase spatiale du rayonnement lumineux. Elle concerne également un procédé et un système pour la conception d'un tel dispositif.

10 Le domaine de l'invention est le domaine du traitement d'un rayonnement optique et en particulier le domaine du traitement d'un rayonnement optique nécessitant une succession de propagations du rayonnement lumineux.

15 **Etat de la technique**

Le document WO2012/085046 A1 décrit un système pour corriger l'effet d'un milieu diffusant sur un rayonnement optique ayant propagé dans ce milieu diffusant, ou pour transformer de manière arbitraire les propriétés spatiales d'un rayonnement optique. Il s'agit d'un système de traitement du 20 rayonnement lumineux.

Le système décrit dans ce document comprend une pluralité de moyens optiques (lames de phase ou modulateurs de phase spatiale), séparés les uns des autres, dont le profil de phase peut être ajusté individuellement lors d'une étape d'optimisation, et qui permettent chacun de 25 modifier la phase spatiale du rayonnement lumineux qui les traverse ou qui se réfléchit sur eux. C'est la séquence de ces modifications de phase spatiales du rayonnement lumineux séparés par des propagations qui permet de traiter de manière générale le rayonnement lumineux.

Plus généralement, les systèmes optiques prévus pour traiter un 30 rayonnement lumineux comprennent une pluralité de moyens optiques séparés les uns des autres et réalisant chacun un traitement donné sur le rayonnement optique.

Ces systèmes optiques qui comprennent plusieurs moyens optiques permettant de modifier le profil de phase du rayonnement et dans lesquels le

- 2 -

rayonnement optique réalise une succession de propagations présentent un inconvenient majeur. Dans ces systèmes, le positionnement des moyens optiques les uns par rapport aux autres et par rapport au rayonnement lumineux, doit être très précis, typiquement de l'ordre du micron, ce qui peut

5 être difficile à atteindre, consommateur en temps de montage, et augmente les contraintes sur la rigidité du montage. Le mauvais positionnement d'un élément optique provoque une dégradation du traitement réalisé sur le rayonnement optique. Le rayonnement optique en sortie du dispositif de traitement est donc alors dégradé. Cette dégradation peut prendre la forme,

10 par exemple, d'une perte d'intensité ou d'une déformation spatiale non voulue du rayonnement de sortie.

L'invention a pour but de pallier les inconvenients précités.

Un autre but de l'invention est de proposer un dispositif de traitement

15 d'un rayonnement optique plus facile à construire.

Encore un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif de traitement d'un rayonnement optique plus rapide à construire.

Enfin un autre but de la présente invention, est de proposer un dispositif de traitement d'un rayonnement optique plus résistant aux chocs et

20 vibrations.

Exposé de l'Invention

L'invention permet d'atteindre au moins l'un des buts précités par un dispositif pour traiter un rayonnement lumineux comprenant au moins deux

25 éléments optiques réfléchissants définissant une cavité multipassage de sorte qu'au moins un desdits éléments optiques réfléchit ledit rayonnement lumineux au moins deux fois, en particulier en au moins deux emplacements de réflexion différents, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un élément, dit correcteur, présentant au moins un emplacement, dit

30 correcteur, réalisant une réflexion ou une transmission dudit rayonnement optique et dont la surface est irrégulière de sorte que le profil de phase spatiale dudit emplacement correcteur présente un déphasage différent pour plusieurs points de réflexion/transmission différents dudit emplacement correcteur.

- 3 -

Autrement dit, un emplacement correcteur modifie les phases d'au moins deux composantes spatiales d'un rayonnement lumineux différemment.

Ainsi, le dispositif selon l'invention traite un rayonnement lumineux ou optique par une cavité multipassage définie de manière fixe et par un nombre d'éléments optiques faible, dans laquelle le rayonnement lumineux est réfléchi une pluralité de fois. La phase spatiale du rayonnement lumineux est modifiée lors d'au moins une réflexion ou transmission sur au moins un élément correcteur.

10 Par conséquent, le dispositif selon l'invention réalise avec un même élément correcteur fixe, une ou des modifications de phase spatiale du rayonnement lumineux.

Plus généralement, le dispositif selon l'invention permet de réaliser une pluralité de modifications de la phase spatiale du rayonnement lumineux 15 avec un seul et même élément optique fixe, pouvant présenter des profils de phase différents pour différents emplacements de réflexion ou de transmission, alors que les systèmes de l'état de la technique prévoient d'utiliser autant d'éléments optiques que de modifications de la phase spatiale du rayonnement lumineux.

20 Le dispositif selon l'invention est plus facile à mettre en place, à utiliser et plus rapide à configurer, car le nombre d'éléments optiques à positionner entre eux et par rapport au rayonnement optique est plus faible. En outre, le faible nombre d'éléments optiques rend le dispositif selon l'invention moins couteux à fabriquer et permet d'améliorer la rigidité et la 25 solidité du système final.

Bien entendu, s'agissant d'une cavité multipassage, le rayonnement optique est réfléchi sur chaque élément réfléchissant à tour de rôle. Autrement dit, deux réflexions du rayonnement optique sur un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage sont séparées par 30 une réflexion sur l'autre des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage.

- 4 -

Dans la présente invention, « la phase spatiale du rayonnement » est définie par les phases de l'ensemble des composantes spatiales du rayonnement.

De plus, le « profil de phase spatiale d'un emplacement correcteur » 5 (de réflexion ou de transmission) est défini par l'ensemble des déphasages spatiaux (modifications de la phase spatiale) apportés par l'ensemble des points de réflexion ou de transmission dudit emplacement correcteur sur les différentes composantes spatiales du rayonnement lumineux lors d'une même réflexion ou transmission du rayonnement sur ledit emplacement 10 correcteur. Le profil de phase peut être très simple dans le cas d'une réflexion sur un miroir plan.

En outre, selon l'invention un emplacement correcteur peut réaliser soit une réflexion du rayonnement soit une transmission du rayonnement.

15 Chaque élément optique réfléchissant (parmi l'au moins deux éléments optiques réfléchissants définissant une cavité multipassage) réfléchit ledit rayonnement lumineux de préférence une pluralité de fois (de préférence au moins 4 fois, de préférence au moins 6 fois).

20 Selon l'invention, les irrégularités d'un emplacement correcteur peuvent être obtenues :

- en modifiant les profondeurs de la surface de réflexion ou de transmission par gravure de ladite surface ou dépôt d'une résine sur ladite surface, auquel cas la profondeur de réflexion ou de 25 transmission est modifiée, et/ou
- en déposant sur, ou en réalisant, l'emplacement correcteur avec une matière modulant la phase des composantes spatiales du rayonnement, auquel cas la profondeur de réflexion ou de transmission n'est pas modifiée, par exemple avec des cristaux 30 liquides.

Selon un exemple de réalisation préféré, mais nullement limitatif, les irrégularités d'un emplacement correcteur peuvent présenter des structures

- 5 -

spatiales au moins 5 fois plus petites que la taille totale de l'emplacement correcteur.

Avantageusement, au moins un élément optique correcteur peut être 5 formé par un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage. Dans ce cas, le nombre d'éléments optique du dispositif selon l'invention est diminué car un même élément optique est à la fois correcteur et définit la cavité multipassage.

10 Selon un exemple de réalisation particulier, le dispositif selon l'invention peut comprendre un unique élément correcteur correspondant à un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage. Ainsi, le dispositif selon l'invention est plus simple à configurer et moins coûteux car il nécessite un seul élément optique modifiant la phase spatiale 15 du rayonnement qui définit également la cavité multipassage.

Selon un autre exemple de réalisation particulier, le dispositif selon l'invention peut comprendre deux éléments correcteurs correspondant respectivement aux éléments optiques réfléchissants définissant la cavité 20 multipassage. Dans ce cas, chaque élément optique réfléchissant définissant la cavité multipassage comprend au moins un emplacement de réflexion correcteur modifiant la phase spatiale du rayonnement.

Dans cette version, le dispositif selon l'invention permet de réaliser une modification de la phase spatiale du rayonnement lumineux par les deux 25 éléments réfléchissants définissant la cavité multipassage. Ainsi, il est possible de réaliser un traitement plus complet du rayonnement lumineux avec un nombre de réflexions plus faible dans la cavité multipassage. Par conséquent, dans cette version, le dispositif selon l'invention réalise un traitement du rayonnement lumineux en minimisant le nombre d'éléments 30 optiques nécessaires.

Selon l'invention, au moins un élément correcteur peut être disposé dans la cavité multipassage et être distinct des éléments optiques réfléchissants définissant ladite cavité multipassage.

- 6 -

Dans ce cas, au moins un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage peut également être correcteur. Alternativement, les éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage peuvent ne pas être correcteurs.

5

Dans une version préférée du dispositif selon l'invention, au moins deux, en particulier tous les, emplacements de réflexion d'au moins un élément correcteur sont correcteurs. Ainsi, chaque emplacement correcteur présente une surface de réflexion ou de transmission irrégulière de sorte que 10 le profil de phase spatiale de chaque emplacement correcteur présente un déphasage différent pour plusieurs points de réflexion ou transmission dudit emplacement correcteur.

Dans cette version, le dispositif selon l'invention permet de réaliser une modification de la phase spatiale du rayonnement lumineux lors de 15 plusieurs, en particulier toutes les réflexions ou transmissions, sur l'élément correcteur. Ainsi, il est possible de réaliser un traitement plus complet et plus complexe du rayonnement lumineux dans la cavité multipassage.

Avantageusement, au moins deux emplacements correcteurs d'un 20 même élément correcteur présentent des profils de phase différents. Ainsi, le dispositif permet de modifier différemment la phase spatiale du rayonnement lors de réflexions ou transmissions sur ces deux emplacements correcteurs d'un même élément optique correcteur.

Alternativement ou en plus, au moins deux emplacements correcteurs 25 d'un même élément correcteur présentent des profils de phase identiques. Ainsi, le dispositif permet de modifier de manière identique la phase spatiale du rayonnement lors de réflexions ou transmission sur ces deux emplacements correcteurs d'un même élément optique correcteur.

30 En outre, au moins deux emplacements correcteurs de deux éléments optiques correcteurs différents peuvent présenter des profils de phase spatiale identiques ou différents.

- 7 -

Selon un exemple de réalisation, au moins un élément optique correcteur peut être une lame de phase.

Avantageusement, au moins un élément optique correcteur peut être une lame de phase présentant au moins deux profils de phase spatiale 5 différents pour au moins deux emplacements correcteurs.

Dans ce cas, la lame de phase couvre au moins deux emplacements correcteurs différents. Chaque partie de la lame de phase correspondant à un emplacement correcteur présente un profil de phase spatiale souhaité pour cet emplacement correcteur, qui peut être différent du profil de phase 10 spatiale souhaité pour un autre emplacement correcteur couvert par la lame de phase. Ainsi, l'unique lame de phase couvrant plusieurs emplacements correcteurs comporte au moins deux parties présentant des profils de phase spatiales différents. Dans ce mode de réalisation la construction du dispositif selon l'invention est facilitée car une seule et unique lame de phase est 15 manipulée et positionnée dans la cavité multipassage.

Suivant un exemple de réalisation, la lame de phase peut être un miroir gravé, mais peut aussi être une résine déposée sur un substrat.

Avantageusement, au moins un élément optique correcteur peut être 20 un modulateur de phase spatiale présentant au moins deux profils de phase spatiale différents pour au moins deux emplacements correcteurs.

Dans ce cas, le modulateur de phase spatial couvre au moins deux emplacements correcteurs différents. Chaque partie du modulateur de phase spatial correspondant à un emplacement correcteur présente un profil de 25 phase spatiale souhaité pour cet emplacement correcteur, qui peut être différent du profil de phase spatiale souhaité pour un autre emplacement correcteur couvert par la lame de phase. Ainsi, l'unique modulateur de phase spatial couvrant plusieurs emplacements correcteurs comporte au moins deux parties présentant des profils de phase spatiales différents. Dans ce 30 mode de réalisation le coût du dispositif selon l'invention est réduit car un seul et unique modulateur de phase spatial est nécessaire pour le dispositif.

Suivant un exemple de réalisation, le modulateur de phase spatial peut être un miroir déformé par des actuateurs, mais peut aussi une

- 8 -

matrice de cristaux liquides dont les propriétés de biréfringence sont contrôlées par une matrice d'électrodes.

En outre, au moins un élément réfléchissant définissant la cavité multipassage peut comprendre une ouverture traversante permettant d'injecter le rayonnement optique à traiter dans la cavité multipassage et/ou de sortir le rayonnement optique de ladite cavité multipassage après traitement.

10 Dans une forme de réalisation préférée et non limitative du dispositif selon l'invention, l'un des éléments optiques réfléchissants peut présenter une surface réfléchissante plane et l'autre des éléments optiques réfléchissants peut présenter une surface réfléchissante incurvée.

15 En particulier, la surface plane peut être une lame de phase présentant un ou des emplacements de réflexion correcteurs, la surface incurvée n'appliquant aucune modification de la phase spatiale particulière du rayonnement lumineux autre que la courbure mentionnée.

20 Dans une version préférée, mais nullement limitative, du dispositif selon l'invention, les éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage peuvent être positionnés suivant deux directions perpendiculaires entre-elles. Dans ce cas, le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre un miroir, dit intermédiaire, disposé en regard desdits éléments optiques réfléchissants selon un angle de 45° par rapport à la 25 direction de chacun desdits éléments optiques réfléchissants, et réfléchissant 99% du rayonnement lumineux.

Le miroir intermédiaire peut être un élément correcteur ou non.

30 Dans cette version non limitative, le dispositif selon l'invention est plus facile à configurer car il est facile d'observer chacun des éléments optiques réfléchissants de manière individuelle en observant, par exemple le 1% du rayonnement lumineux qui traverse le miroir intermédiaire.

Dans cette version du dispositif selon l'invention, la cavité multipassage est dite « coudée ».

- 9 -

Selon un autre aspect de l'invention il est proposé un procédé pour traiter un rayonnement optique mettant en œuvre un dispositif selon l'invention.

5

Selon encore un autre aspect de l'invention il est proposé un système pour traiter un rayonnement optique, ledit système comprenant :

10

- un dispositif selon l'invention ;
- un moyen pour injecter ledit rayonnement dans ledit dispositif correcteur ; et
- un moyen pour collecter le rayonnement à la sortie dudit dispositif correcteur.

15

Selon encore un autre aspect de l'invention il est proposé un procédé pour concevoir un dispositif selon l'invention, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

20

- propager le rayonnement optique à traiter et un rayonnement, dit de référence, dans une cavité multipassage définie entre deux éléments optiques réfléchissants de sorte qu'au moins un desdits éléments optiques réfléchit ledit rayonnement optique au moins deux fois, en particulier en au moins deux emplacements de réflexion différents ;

25

- optimiser l'interférence entre lesdits rayonnements, ladite optimisation comprenant au moins une itération des étapes suivantes réalisées pour au moins un emplacement correcteur, sur au moins un élément correcteur :

30

- déterminer, un paramètre relatif à une interférence entre lesdits rayonnements, par exemple au niveau dudit au moins un emplacement correcteur, et

- modifier le profil de phase spatiale dudit au moins un emplacement correcteur ; et

- configurer, au niveau dudit au moins un emplacement correcteur, le profil de phase spatiale, déterminé lors de ladite étape d'optimisation, et fournissant l'interférence optimisée.

- 10 -

Chacun des rayonnements à traiter et de référence peut être :

- un rayonnement effectivement propagé dans ladite cavité multipassage, le rayonnement de référence se propageant dans un sens de propagation opposé au sens de propagation du rayonnement optique à traiter ; ou
- un rayonnement virtuel représenté par un ensemble de données numériques. Dans ce second cas, les propagations des rayonnements reflètent les propriétés mesurées dans la cavité multipassage.

Dans le cas où le rayonnement à traiter et/ou le rayonnement de référence est virtuel, le procédé peut comprendre une étape pour collecter des données sur la géométrie de la cavité multipassage en mesurant les positions et la distribution d'amplitude des réflexions ou transmissions du rayonnement de référence et/ou à traiter, sur les différents éléments optiques en l'absence de profil de phase. Une telle mesure peut être réalisée par un moyen de mesure, tel qu'une caméra CCD, disposée en regard ou derrière l'emplacement de réflexion ou de transmission.

Dans le cas où la cavité multipassage est coudée, le miroir intermédiaire peut être en partie réfléchissant et le moyen de mesure, par exemple la caméra CCD, peut être disposé derrière le miroir intermédiaire en regard de l'emplacement correcteur, et plus généralement en regard de l'élément réfléchissant ou transmettant sur lequel se trouve l'emplacement de réflexion correcteur.

Le rayonnement à traiter et/ou le rayonnement de référence peuvent être propagés dans la cavité multipassage par simulation sur des moyens informatiques, la simulation tenant compte des caractéristiques de la cavité, à savoir caractéristiques optiques et physiques des éléments optiques définissant la cavité, la longueur de la cavité, les angles relatifs des différents éléments optiques, etc ; caractéristiques calculées en utilisant entre autres les informations capturées lors de l'étape de collecte de données relatives à la géométrie de la cavité multipassage.

- 11 -

La propagation des rayonnements virtuels de référence et à traiter au travers de la cavité peut être réalisée pour fournir les caractéristiques des rayonnements de référence et à traiter au niveau de chacun des emplacements correcteurs dans la cavité, à savoir l'intensité et le déphasage
5 de chaque composante spatiale du rayonnement de référence et du rayonnement à traiter au niveau de chacun des emplacements correcteurs, de manière à déterminer le paramètre de corrélation de ces deux rayonnements comme décrit ci-dessus.

10 De plus, dans le cas où le traitement à réaliser est la correction de l'effet d'un milieu diffusant sur un rayonnement optique ayant parcouru ce milieu, le rayonnement à traiter est obtenu en sortie du milieu diffusant et le rayonnement de référence peut avantageusement être identique audit rayonnement à traiter avant que ledit rayonnement à traiter ait parcouru
15 ledit milieu diffusant. Autrement dit, le rayonnement de référence peut être identique au rayonnement à traiter avant que celui-ci parcourt le milieu diffusant.

Le paramètre de corrélation peut être déterminé à chaque
20 emplacement correcteur, de réflexion ou de transmission, dans la cavité multipassage, ou uniquement au niveau d'une partie seulement des emplacements correcteurs dans la cavité. Par exemple, le paramètre de corrélation peut être mesuré uniquement au niveau des emplacements correcteurs prévus pour appliquer un traitement au rayonnement optique à
25 traiter. Ce paramètre de corrélation peut être la différence de phase spatiale entre le rayonnement à traiter et le rayonnement de référence.

Alternativement ou en plus, le paramètre de corrélation peut être mesuré en sortie de la cavité multipassage.

Le document WO2012/085046 A1 comprend plus de précision sur les
30 mesures d'interférence et l'optimisation.

Le procédé de configuration d'un emplacement correcteur (de réflexion ou de transmission) peut comprendre une étape de mesure des caractéristiques du rayonnement à traiter et de référence au niveau de cet

- 12 -

emplacement correcteur. Une telle mesure peut être réalisée par un moyen de mesure, tel qu'une caméra CCD, disposée en regard ou derrière l'emplacement correcteur.

Dans le cas où la cavité multipassage est coudée, le miroir 5 intermédiaire peut être en partie réfléchissant et le moyen de mesure, par exemple la caméra CCD, peut être disposé derrière le miroir intermédiaire en regard de l'emplacement correcteur, et plus généralement en regard de l'élément réfléchissant/transmettant sur lequel se trouve l'emplacement correcteur.

10

Pour un emplacement correcteur donné, l'étape de configuration du dispositif de traitement du rayonnement lumineux, dit optimisé, déterminé lors de l'étape d'optimisation, et fournissant le traitement désiré, peut comprendre les étapes suivantes :

15

- fabrication d'une lame de phase comportant le ou les profils de phase optimisés,
- positionnement de la lame de phase au(x)dit(s) emplacement(s) correcteur(s).

20

La lame de phase peut être soit une lame de phase individuelle pour un emplacement correcteur, soit une lame de phase commune à plusieurs emplacements correcteurs et comportant différents profils de phase optimisés sur différentes régions de sa surface correspondant chacune à un emplacement correcteur.

25

Selon encore un autre aspect de l'invention il est proposé un système pour concevoir un dispositif selon l'invention, ledit système comprenant :

30

- au moins un moyen pour propager le rayonnement à traiter et un rayonnement, dit de référence, dans une cavité multipassage définie entre deux éléments optiques réfléchissants de sorte qu'au moins un desdits éléments optiques réfléchit ledit rayonnement optique au moins deux fois, en particulier en au moins deux emplacements de réflexion différents ;
- des moyens pour optimiser l'interférence entre lesdits rayonnements, ladite optimisation pouvant être réalisée ou bien de

- 13 -

mánière numérique ou optique, comprenant au moins une itération des étapes suivantes réalisées pour au moins un emplacement correcteur sur au moins un élément correcteur :

- 5 - déterminer, un paramètre relatif à une interférence entre lesdits rayonnements, par exemple au niveau dudit au moins un emplacement correcteur, et
- modifier le profil de phase spatiale dudit au moins un emplacement correcteur ; et
- 10 - au moins un moyen pour configurer, au niveau dudit au moins un emplacement correcteur, le profil de phase, déterminé lors de ladite étape d'optimisation, et fournissant l'interférence optimisée.

D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'exemples nullement limitatifs, et des dessins annexés 15 sur lesquels :

- la FIGURE 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation non limitatif d'un dispositif selon l'invention ; et
- la FIGURE 2 est une représentation schématique d'un autre exemple de réalisation non limitatif d'un dispositif selon 20 l'invention ;
- la FIGURE 3 est une représentation sous la forme d'un diagramme d'un exemple non limitatif d'un procédé selon l'invention pour la conception d'un dispositif selon l'invention ; et
- la FIGURE 4 est une représentation schématique d'un exemple 25 non limitatif d'un système selon l'invention pour la conception d'un dispositif selon l'invention.

Il est bien entendu que les modes de réalisation qui seront décrits dans la suite ne sont nullement limitatifs. On pourra notamment imaginer 30 des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur. Cette sélection comprend au moins une caractéristique

de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

5 En particulier toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont combinables entre eux si rien ne s'oppose à cette combinaison sur le plan technique.

Sur les figures, les éléments communs à plusieurs figures conservent la même référence.

10

La FIGURE 1 est une représentation schématique d'un premier exemple non limitatif d'un dispositif de traitement d'un rayonnement lumineux.

15 Le dispositif 100 représenté sur la FIGURE 1 comprend deux éléments optiques réfléchissants 102 et 104 formant entre eux une cavité multipassage 106 dans laquelle un rayonnement lumineux à traiter 108 subit une pluralité de réflexions et de propagations.

20 S'agissant d'une cavité multipassage 106, le rayonnement lumineux 108 rencontre exactement (ni plus, ni moins) les mêmes éléments optiques intermédiaires (aucun élément intermédiaire dans le cas de la figure 1) le réfléchissant et/ou le transmettant entre chaque couple de réflexions successives par les éléments réfléchissants 102, 104, c'est à dire :

- pour chaque trajet partant d'un premier élément optique réfléchissant 102 (parmi l'au moins deux éléments optiques réfléchissants) et allant jusqu'à un deuxième élément optique réfléchissant 104 (parmi l'au moins deux éléments optiques réfléchissants), et
 - pour chaque trajet partant du deuxième élément optique réfléchissant 104 et allant jusqu'au premier élément optique réfléchissant 102,
- ces éléments optiques intermédiaires ne comprenant de préférence aucune 30 lentille et/ou aucun élément (cube ou lame) polarisant changeant la polarisation du rayonnement lumineux 108.

L'élément réfléchissant 104 comporte une ouverture traversante 110 permettant au rayonnement optique d'entrer dans la cavité multipassage 106 pour être traité et de sortir de la cavité 106 après avoir été traité.

L'élément réfléchissant 102 comporte une surface réfléchissante 112 plane et l'élément réfléchissant 104 comporte une surface réfléchissante 114 concave ou incurvée.

La cavité multipassage définie par les miroirs 102 et 104 est agencée
5 de sorte que le rayonnement lumineux 108 est réfléchi une pluralité de fois
par chacun des miroirs, en des emplacements différents, et ce à tour de rôle.
Ainsi, dans l'exemple représenté le miroir plan 102 réfléchit le rayonnement
optique 108 huit fois en huit différents emplacements de réflexion sur la
surface plane 112 et le miroir incurvé 104 réfléchit le rayonnement optique
108 sept fois, en sept emplacements de réflexion différents sur la surface
concave ou incurvée 114.

L'élément réfléchissant 104 est formé par un miroir incurvé ou
concave et n'applique aucune modification au profil de phase spatiale du
rayonnement optique 108 en dehors de sa courbure.

15 L'élément réfléchissant 102 est dit correcteur. Cet élément
réfléchissant 102 est formé par un miroir plan dont la surface réfléchissante
112 est déformée à l'échelle de la longueur d'onde, appliquant une
modification de la phase spatiale du rayonnement optique. Pour ce faire, le
miroir plan déformé présente au niveau de chaque emplacement de réflexion
20 116, une surface irrégulière de sorte que chaque emplacement de réflexion
116 est correcteur et présente un profil de phase spatiale modifiant la phase
spatiale du rayonnement 108. Ainsi, chaque région/zone/emplacement de
réflexion 116₁-116₈ présente des profondeurs différentes pour au moins deux
composantes spatiales du rayonnement 108 et réalise une modification de la
25 phase spatiale du rayonnement optique 108, c'est-à-dire des déphasages
différents d'au moins deux composantes spatiales du rayonnement 108.

Chaque élément optique réfléchissant 102, 104 est agencé pour
réfléchir ledit rayonnement lumineux 108 une pluralité de fois (de préférence
au moins 4 fois, de préférence au moins 6 fois).

30 La cavité multipassage 106 est agencée pour que le rayonnement
lumineux 108 fasse plusieurs aller-retours entre les (au moins) deux
éléments optiques réfléchissants 102, 104.

- 16 -

Dans l'exemple représenté sur la FIGURE 1 l'élément réfléchissant 104 n'est pas correcteur. Alternativement, l'élément réfléchissant 104 peut aussi être correcteur, au moins pour une partie des emplacements de réflexion sur cet élément réfléchissant 104.

5 Dans l'exemple représenté sur la FIGURE 1 l'élément réfléchissant 102 est correcteur pour chaque emplacement de réflexion sur cet élément réfléchissant 102. Alternativement, l'élément réfléchissant 102 peut être correcteur pour une partie seulement des emplacements de réflexion sur cet élément réfléchissant 102.

10 Dans l'exemple représenté sur la FIGURE 1 tous les emplacements de réflexion correcteurs 116 sont représentés de manière différente, c'est-à-dire avec des profils de phase spatiale différents. Alternativement, chaque emplacement de réflexion correcteur 116 peut présenter une même irrégularité, c'est-à-dire un profil de phase identique à celui d'un autre
15 emplacement de réflexion correcteur 116.

La FIGURE 2 est une représentation schématique d'un deuxième exemple non limitatif d'un dispositif traitement d'un rayonnement lumineux.

Le dispositif 200 représenté sur la FIGURE 2 comprend tous les
20 composants du dispositif 100 de la FIGURE 1.

Dans le dispositif 200 les éléments réfléchissants 102 et 104 sont disposés selon deux directions, respectivement 202 et 204, perpendiculaires entre-elles, alors que sur la FIGURE 1 ils sont disposés sur une même direction ou sur deux directions parallèles entre-elles. La cavité multipassage
25 106 obtenue avec le dispositif de la FIGURE 2 est dite coudée.

Le dispositif 200 comprend en outre un miroir 206, intermédiaire, disposé en regard des éléments réfléchissant selon un angle 45° par rapport à chacune des directions 202 et 204. Le miroir intermédiaire 206 a pour rôle de diriger le rayonnement optique 108 provenant d'un des éléments
30 réfléchissants 102 ou 104 vers l'autre des éléments réfléchissants 104 ou 102.

Le miroir intermédiaire 206 est un miroir réfléchissant à 99%. Par conséquent, ce miroir 206 laisse passer 1% du rayonnement 108 à chaque fois que celui-ci se réfléchit sur ce miroir intermédiaire 206.

- 17 -

- S'agissant d'une cavité multipassage 106, le rayonnement lumineux 108 rencontre exactement (ni plus, ni moins) les mêmes éléments optiques intermédiaires (élément intermédiaire 206 dans la cas de la figure 2) le réfléchissant et/ou le transmettant entre chaque couple de réflexions 5 successives par les éléments réfléchissants 102, 104, c'est à dire :
- pour chaque trajet partant du premier élément optique réfléchissant 102 et allant jusqu'au deuxième élément optique réfléchissant 104, et
 - pour chaque trajet partant du deuxième élément optique réfléchissant 104 et allant jusqu'au premier élément optique réfléchissant 102,
- 10 ces éléments optiques intermédiaires ne comprenant de préférence aucune lentille et/ou aucun élément (cube ou lame) polarisant changeant la polarisation du rayonnement lumineux 108.

La FIGURE 3 est une représentation sous la forme d'un diagramme 15 d'un exemple non limitatif d'un procédé selon l'invention pour la conception d'un dispositif selon l'invention.

Le procédé 300 comprend une étape initiale 302 de réalisation d'une cavité multipassage, par exemple la cavité 106 par association de deux miroirs 104 et 106.

20 Le procédé comprend ensuite une étape 304 de caractérisation de la géométrie de la cavité de mesure, c'est-à-dire la détermination des caractéristiques géométriques de la cavité, des emplacements de réflexion, etc. Une telle étape peut être réalisée par propagation dans la cavité d'un rayonnement, par exemple du rayonnement à traiter.

25

Lors d'une étape 306, le procédé détermine les profils de phase optimisés pour au moins deux emplacements de réflexion correcteurs sur l'un au moins des éléments réfléchissants définissant la cavité multipassage. Cette étape 306 comprend au moins une itération des étapes suivantes 30 réalisées pour chaque emplacement de réflexion correcteur concerné de chaque élément réfléchissant correcteur :

- une étape 308 lors de laquelle le rayonnement à traiter et le rayonnement de référence sont propagés numériquement (dans des sens opposés) jusqu'au niveau de l'emplacement de réflexion

- 18 -

- correcteur, en tenant compte des profils de phase déjà calculés pour les autres emplacements de réflexion correcteur ;
- une étape 310 lors de laquelle la valeur de la phase relative entre le rayonnement de référence et le rayonnement à traiter est déterminé au niveau de l'emplacement de réflexion; et
- une étape 312 modifiant numériquement le profil de phase au niveau de l'emplacement de réflexion correcteur pour compenser la phase relative entre le rayonnement de référence et le rayonnement à traiter au niveau de l'emplacement de réflexion.
- 10 Les étapes 308-312 sont itérées autant de fois que nécessaire pour obtenir une valeur de recouvrement (produit scalaire spatial) des rayonnements optimisée, par exemple préalablement déterminée.
- L'itération de ces étapes permet de déterminer un profil de phase optimisé pour chaque emplacement de réflexion correcteur concerné,
- 15 permettant d'obtenir un paramètre de corrélation optimisé entre le rayonnement à traiter et un rayonnement de référence.
- Lors d'une étape 314, réalisée après l'étape 306, une ou plusieurs lames de phase, comportant pour chaque emplacement de réflexion correcteur le profil de phase optimisé, sont imprimées sur l'élément 20 réfléchissant concerné, par exemple par gravure de la face réfléchissante 112 du miroir 102.

La FIGURE 4 est une représentation schématique d'un exemple non limitatif d'un système selon l'invention pour la conception d'un dispositif 25 selon l'invention.

Le système 400 comprend une caméra CCD 402 permettant de mesurer le rayonnement à traiter au niveau d'une pluralité d'emplacements de réflexion sur un élément réfléchissant définissant la cavité multipassage, ces mesures permettant à la fois de caractériser le rayonnement à traiter 30 ainsi que les propriétés géométriques de la cavité multipassage.

Un module 404 permet, par simulation, d'appliquer des profils de phases différents pour chacun des emplacements de réflexion correcteurs concernés en vue de déterminer le profil de phase optimisé pour chaque emplacement de réflexion correcteur.

- 19 -

Enfin, un module 406 permet de simuler la propagation du rayonnement à traiter et du rayonnement de référence au sein de la cavité multipassage en présence des profils de phase fournis par le module 404, afin de déterminer la valeur d'un paramètre de corrélation entre le 5 rayonnement à traiter et le rayonnement de référence en différents emplacements correcteurs en fonction :

- des mesures réalisées par la caméra CCD 402, en particulier la caractérisation du rayonnement à traiter et de la géométrie de la cavité multipassage, et
- 10 - des profils de phase spatiale fournis par le module 404, et
- d'un rayonnement de référence virtuel, représenté par un ensemble de données numériques.

En fonction du paramètre de corrélation déterminé par le module 406, le profil de phase à l'emplacement considéré dans le module 404 est modifié.

15 Lorsque le module 406 détermine une valeur optimisée du paramètre de corrélation, les profils de phases déterminés par le module 404 fournissant cette valeur optimisée sont mémorisés dans des moyens de mémorisation 408.

Ces profils de phase optimisés sont ensuite utilisés pour 20 fabriquer/configurer une ou des lames de phases, prévue(s) pour être disposée(s) à la place de l'élément réfléchissant concerné. Alternativement, il est possible d'imprimer la ou les lames de phase directement sur l'élément réfléchissant concerné tel que décrit en référence à la FIGURE 1.

25 Sur la FIGURE 4, le système 400 est représenté en combinaison avec le dispositif 200 de la FIGURE 2. Dans cette configuration, la caméra CCD 402 est positionnée derrière le miroir intermédiaire 206 et est focalisée sur la surface réfléchissante de l'élément réfléchissant concerné, à savoir la surface réfléchissante 112 du miroir plan 102.

30 Cependant, il est également possible d'utiliser le système 400 de la FIGURE 4 pour concevoir un dispositif suivant la configuration représentée en FIGURE 1. Dans ce cas, la caméra CCD 402 est positionnée derrière l'élément réfléchissant concerné, à savoir derrière le miroir 102.

- 20 -

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits. Par exemple, dans les exemples donnés l'élément correcteur est un élément optique définissant la cavité multipassage. Alternativement 5 ou en plus, il est possible d'avoir au moins un élément optique correcteur qui est distinct des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage et disposé entre ces éléments réfléchissants, un tel élément optique correcteur pouvant être un élément optique réfléchissant ou transmettant le rayonnement optique, tel que par exemple le miroir 10 intermédiaire 206 de la FIGURE 2.

De plus, dans les exemples donnés, les emplacements correcteurs sont tous des emplacements réfléchissants le rayonnement lumineux. Alternativement ou en plus, il est possible d'avoir au moins un emplacement correcteur qui réalise une transmission du rayonnement lumineux.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour traiter un rayonnement lumineux comprenant au moins deux éléments optiques réfléchissants définissant une cavité multipassage
5 dans laquelle le rayonnement lumineux se déplace en va-et-vient de sorte que chaque élément optique réfléchissant réfléchisse le rayonnement lumineux au moins quatre fois,
ledit dispositif comprenant au moins un élément, dit correcteur, comprenant :
10 - un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage, et/ou
- un élément correcteur disposé dans la cavité multipassage et distinct des éléments optiques réfléchissants définissant ladite cavité multipassage, l'au moins un élément correcteur présentant au moins un emplacement, dit correcteur, réalisant une réflexion ou une transmission dudit rayonnement optique et dont la surface est irrégulière de sorte que le profil de phase spatiale dudit emplacement correcteur présente un déphasage différent pour plusieurs points de réflexion/transmission différents dudit emplacement correcteur, la surface irrégulière présentant des irrégularités ayant des structures spatiales au moins cinq fois plus petites que la taille totale de l'emplacement correcteur, et dans lequel le dispositif ne comprend pas de lentille ou d'élément polarisant entre les deux éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multi passage à travers laquelle le rayonnement lumineux passe lorsque le rayonnement lumineux est réfléchi
15 dans la cavité à passages multiples.
20
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur est un des éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage.
- 30 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux éléments correcteurs correspondants respectivement aux éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage.

4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur est disposé dans la cavité multipassage et est distinct des éléments optiques réfléchissants définissant ladite cavité multipassage.
- 5 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur comprend une pluralité d'emplacements correcteurs et au moins deux desdits emplacements correcteurs présentent des profils de phase différents.
- 10 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur comprend une pluralité d'emplacements correcteurs et au moins deux desdits emplacements correcteurs présentent des profils de phase identiques.
- 15 7. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur comprend au moins une lame de phase au niveau de l'au moins un emplacement correcteur.
- 20 8. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'au moins un élément correcteur comprend une unique lame de phase présentant au moins deux profils de phase spatiale pour au moins deux emplacements correcteurs.
- 25 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les éléments optiques réfléchissants définissant la cavité multipassage sont positionnés suivant deux directions perpendiculaires entre-elles, ledit dispositif comprenant en outre un miroir disposé en regard desdits éléments optiques réfléchissants selon un angle de 45° par rapport à la direction de chacun desdits éléments optiques réfléchissants.
- 30 10. Procédé pour traiter un rayonnement optique, mettant en œuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

11. Système pour traiter un rayonnement optique par une succession de propagations, comprenant :

- un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 ;
- un moyen pour injecter ledit rayonnement dans ledit dispositif ;
- 5 - un moyen pour collecter ledit rayonnement à la sortie dudit dispositif.

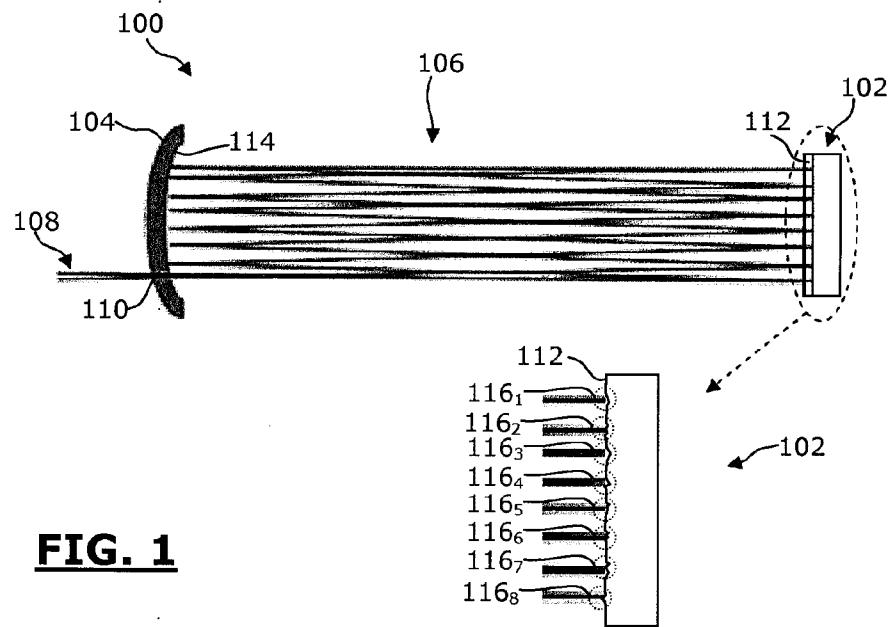


FIG. 1

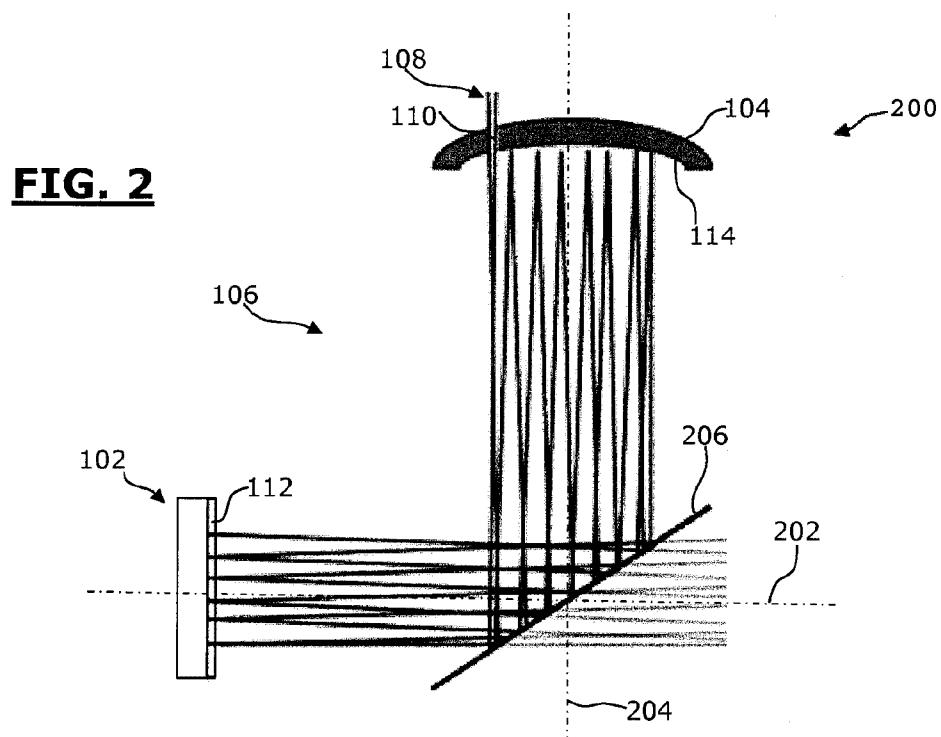
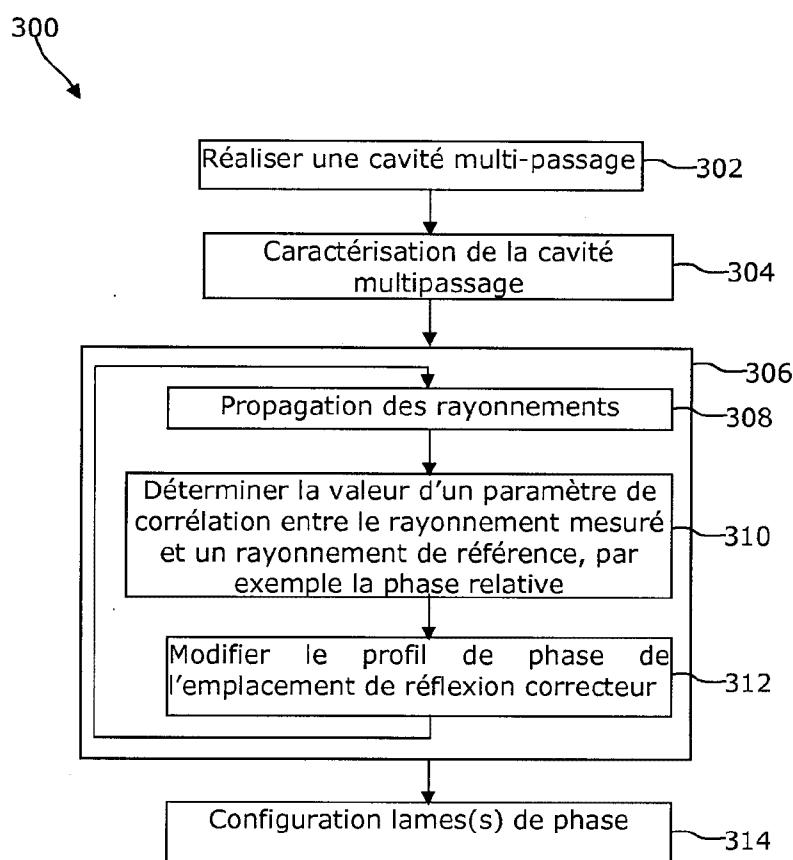


FIG. 2

2/3**FIG. 3**

WO 2015/113831

PCT/EP2015/050711

3/3

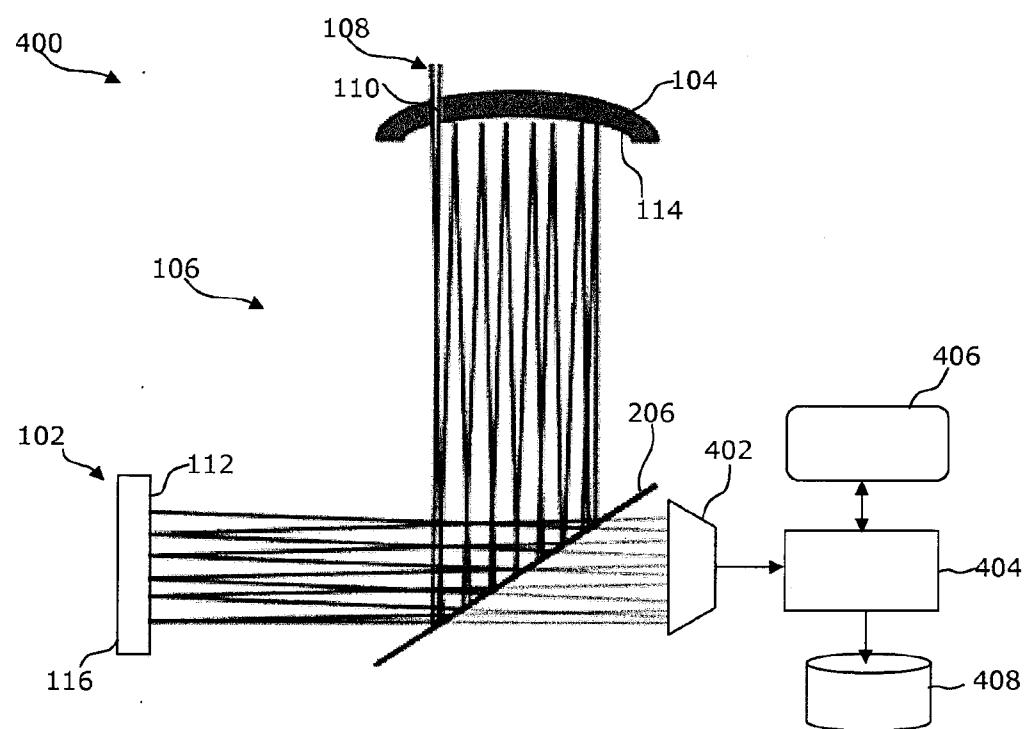


FIG. 4

