

(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
17 novembre 2016 (17.11.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/181068 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 21/55 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/051100

(22) Date de dépôt international :
11 mai 2016 (11.05.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1554269 12 mai 2015 (12.05.2015) FR

(71) Déposant : SAFRAN [FR/FR]; 2, boulevard du Général
Martial Valin, 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : PICARD, Sylvaine; c/o Morpho, 11 boulevard
Gallieni, 92130 Issy Les Moulineaux (FR). LE
GUILLOUX, Yann; C/o Snecma PI (AJI) - Rond-Point
René Ravaud - Réau, 77550 Moissy-Cramayel (FR).

(74) Mandataire : REGIMBEAU; 20, rue de Chazelles, 75847
Paris Cedex 17 (FR).

(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.

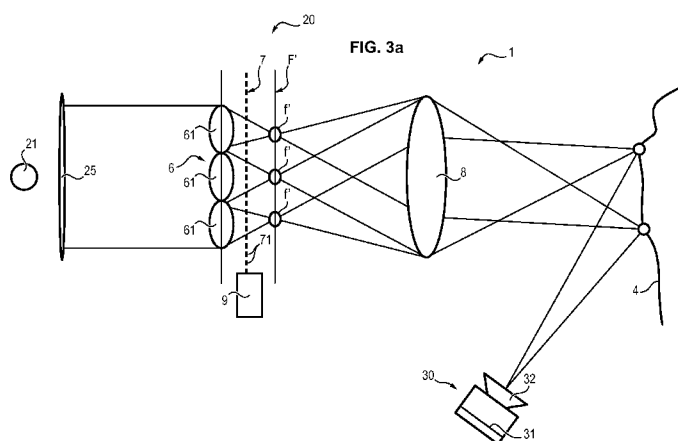
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, 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).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues (règle 48.2.h))

(54) Title : OPTICAL SYSTEM FOR THE ACQUISITION OF INFORMATION ABOUT A SURFACE

(54) Titre : SYSTÈME OPTIQUE D'ACQUISITION D'INFORMATIONS SUR UNE SURFACE



(57) Abstract : The invention relates to an optical system (1) for the acquisition of information about a surface (4), comprising: a plenoptic lighting device (20) designed to illuminate the surface to be acquired (4); an imaging device (30) designed to acquire an image of the surface to be acquired (4); a matrix mask (7) comprising a matrix (71) of cells that can be controlled independently of each other in order to transmit a selected quantity of light; and a control device (9) designed to limit the quantity of light transmitted by a cell (71) when the light transmitted through said cell (71) generates, following reflection on the surface to be acquired (4), a specular reflection in the field angle of the imaging device (30).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/181068 A1



Système optique d'acquisition d'informations sur une surface La présente invention concerne un système optique (1) d'acquisition d'informations sur une surface (4) comportant: -un dispositif d'éclairage (20) plénoptique configuré pour éclairer la surface à acquérir (4), -un dispositif d'imagerie (30) configuré pour acquérir une image de la surface à acquérir (4), -un masque matriciel (7) comportant une matrice de cellules (71) pouvant être commandées indépendamment les unes des autres pour transmettre une quantité de lumière choisie, et -un dispositif de commande (9) configuré pour limiter la quantité de lumière transmise par une cellule (71) lorsque la lumière transmise à travers ladite cellule (71) génère, après réflexion sur la surface à acquérir (4), une réflexion spéculaire dans l'angle de champ du dispositif d'imagerie (30).

Système optique d'acquisition d'informations sur une surface

DOMAINE DE L'INVENTION

5 La présente invention concerne l'acquisition optique d'informations sur une surface, et notamment l'acquisition métrologique tridimensionnelle (3D) optique d'une surface. L'acquisition métrologique 3D optique consiste à obtenir les coordonnées des points constituant la surface d'une pièce, en envoyant un rayonnement lumineux sur la surface de la pièce et en mesurant le rayonnement réfléchi par la surface de la

10 pièce. La présente invention peut bien entendu être utilisée pour acquérir toutes sortes d'informations sur une surface, comme par exemple, la mise en évidence d'un état de surface (ondulations, rayures) particulier sur une surface non plane.

 La présente invention concerne en particulier l'acquisition d'informations sur une surface non-lambertienne, c'est à dire pouvant présenter des réflexions spéculaires.

15 Une surface non-lambertienne se caractérise par une composante spéculaire, la composante spéculaire étant la ou les directions de réflexion privilégiées, et une composante lambertienne, la composante lambertienne étant la composante respectant la loi de Lambert, c'est-à-dire ayant une luminance énergétique égale dans toutes les directions.

20

ETAT DE LA TECHNIQUE

 On connaît des systèmes d'acquisition optique, notamment d'acquisition optique métrologique 3D comme celui illustré sur la figure 1, comportant une source

25 lumineuse 2 qui éclaire la surface à acquérir 4 et un capteur d'imagerie 3 qui acquiert la lumière réfléchie par la surface 4.

 Le système d'acquisition optique détermine, à partir de l'image acquise par le capteur d'imagerie 3, des informations sur la surface par des techniques connues comme celle du scanner par triangulation, du scanner par décalage de phase, du

30 scanner à lumière structurée, ou du scanner à lumière modulée.

Les systèmes d'acquisition optique de l'art antérieur ne permettent pas d'acquérir de manière satisfaisante les surfaces non-lambertiennes car il est très probable qu'il existe des points tels que la réflexion spéculaire de la surface soit dans l'angle de champ de la caméra, ce qui entraîne une saturation du capteur d'imagerie dans les directions de réflexion privilégiées.

Comme illustré sur la figure 1, il existe des réflexions spéculaires aux points P, Q et S, et la direction de la réflexion spéculaire au point P est comprise dans l'angle de champ de la caméra, ce qui a pour conséquence une saturation du capteur d'imagerie au niveau de l'image du point P.

Dans le cas d'une pièce de forme complexe telle qu'une aube de turbomachine, cette configuration problématique est très probable. Or, ces saturations empêchent une acquisition satisfaisante dans les zones concernées, car la saturation entraîne la perte de l'information.

Pour pallier ce problème, plusieurs solutions ont été proposées.

Il a été proposé d'avoir recours à une matification de la surface à l'aide d'une poudre. Cette solution est très efficace mais coûteuse car elle entraîne des opérations supplémentaires. De plus elle entraîne une perte de précision de la mesure car la poudre rajoute une épaisseur mal connue.

Une autre solution, proposée par Nayar et Gupta dans « Diffuse structured light dans IEEE International Conference on Computational Photography », 2012 et illustrée par la figure 2, consiste à ajouter un diffuseur optique pour limiter l'effet des spécularités. Ainsi, chaque point de la surface est éclairé selon plusieurs directions ce qui permet de ne pas éclairer la surface selon un seul angle mais une pluralité d'angles. Ceci permet de limiter l'intensité des spécularités car l'énergie envoyée vers la surface dans chaque direction est limitée. Cependant, l'effet de la réflexion spéculaire est seulement amoindri dans ce cas, puisque la pièce est toujours éclairée selon la direction causant une réflexion spéculaire dans la direction de la caméra. Un autre inconvénient de ce système est que le diffuseur interdit la modification du motif projeté. Il ne peut être qu'un motif à bande dont l'orientation est compatible avec la direction de diffusion. Un autre inconvénient de ce système est qu'il ne peut pas s'adapter en temps réel.

Il existe une autre solution qui consiste à éclairer la pièce par un point et à observer ce point avec deux cameras. Dans ce cas au moins une des caméras n'est pas éblouie. L'inconvénient de cette solution est qu'elle est ponctuelle et ne permet pas d'acquisition rapide de toute une surface, de plus elle nécessite l'utilisation de
5 deux cameras.

EXPOSE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer un système optique d'acquisition
10 d'informations sur une surface qui permette de supprimer totalement les réflexions spéculaires vers la caméra et adaptable en temps réel. Par adaptable, on entend que la lumière projetée peut être modifiée à tout instant, et ce localement ou globalement.

Ce but est atteint dans le cadre de la présente invention grâce à un système optique d'acquisition d'informations sur une surface comportant :

- 15 - un dispositif d'éclairage configuré pour éclairer la surface à acquérir,
 - un ou plusieurs dispositifs d'imagerie, ayant chacun un angle de champ, configuré pour acquérir une image de la surface à acquérir,
- le système d'acquisition étant caractérisé en ce que le dispositif d'éclairage est un dispositif d'éclairage plénoptique configuré pour éclairer chaque
20 point de la surface selon au moins deux angles d'incidence différents, et en ce qu'il comporte en outre :
- un masque matriciel positionné entre le dispositif d'éclairage et la surface à acquérir et comportant une matrice de cellules pouvant être commandées indépendamment les unes des autres pour transmettre
25 une quantité de lumière choisie, et
 - un dispositif de commande configuré pour limiter la quantité de lumière transmise par une cellule lorsque la lumière transmise à travers ladite cellule génère, après réflexion sur la surface à acquérir, une réflexion spéculaire dans l'angle de champ d'un des dispositifs d'imagerie.

L'invention permet de contrôler l'intensité lumineuse en tout point de la surface éclairée et pour chaque incidence.

Une fois la distribution des intensités définie, il reste possible de projeter différents motifs sur la surface tout en respectant cette distribution d'incidences.

5 L'invention permet notamment de réaliser une pluralité d'éclairages texturés sur la surface à acquérir sans créer de spécularités dans les images acquises.

L'invention permet en outre, lorsque l'on a connaissance d'un modèle a priori de la surface observée, de détecter des défauts de formes même pour des formes 3D complexes.

10 L'invention permet notamment d'effectuer une reconstruction par algorithme stéréo pour des surfaces non lambertiennes (et de forme complexes).

L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises individuellement ou en l'une quelconque de leurs combinaisons techniquement
15 possibles :

- le dispositif d'éclairage plénoptique comporte une source lumineuse et un réseau de microlentilles comprenant une pluralité de microlentilles ayant toutes le même plan focal image ;
- le masque matriciel est positionné entre le réseau de microlentilles et
20 le plan focal image des microlentilles ;
- les microlentilles sont divergentes ;
- les microlentilles sont convergentes ;
- le dispositif d'éclairage plénoptique comporte une source lumineuse et un panneau en matériau opaque dans lequel est ménagée une matrice
25 de trous, la source éclairant le panneau selon une pluralité d'angles d'incidence ;
- le dispositif d'éclairage plénoptique comporte une pluralité de sources lumineuses disposées dans un même plan ;
- le masque matriciel est un écran LCD, les cellules étant des cellules
30 LCD ;

- le masque matriciel est une matrice de miroirs orientables, les cellules étant des miroirs orientables ;
- chaque cellule peut être commandée pour être soit dans un état passant, dans lequel elle transmet toute la lumière, soit dans un état bloquant, dans lequel elle ne transmet aucune lumière,
- chaque cellule peut être commandée pour être dans un état intermédiaire, dans lequel elle laisse passer une certaine quantité de lumière ;
- chaque cellule pouvant être commandée pour être alternativement dans un état passant ou bloquant, le dispositif de commande est configuré pour contrôler l'alternance des états passant et bloquant de la cellule de manière à contrôler la quantité de lumière transmise à travers la cellule pendant un temps d'intégration ;
- un dispositif de séparation optique est positionné de manière à ce que la lumière issue de la source soit transmise vers la surface à analyser à travers le dispositif de séparation optique, la lumière issue de la réflexion sur la surface étant réfléchie par le dispositif de séparation optique vers le dispositif d'imagerie ;
- le dispositif d'imagerie est un capteur plénoptique.

20

L'invention propose également un procédé d'acquisition d'informations sur une surface mis en œuvre par un système optique d'acquisition selon l'une des revendications précédentes, consistant à :

- éclairer la surface à acquérir avec un dispositif d'éclairage plénoptique de manière à éclairer chaque point de la surface selon au moins deux angles d'incidence différents,
- acquérir une image de la surface à acquérir,
- observer une éventuelle réflexion spéculaire dans la direction de l'angle de champ du dispositif d'imagerie,
- limiter la quantité de lumière transmise par les cellules du masque matriciel à travers lesquelles est transmise ou réfléchie la lumière

général, après réflexion sur la surface à acquérir, la réflexion spéculaire observée.

L'invention propose également l'utilisation d'un système optique d'acquisition
5 telle que caractérisé ci-dessus, pour le contrôle métrologique d'une aube de turbomachine.

DESCRIPTION DES FIGURES

10 D'autres objectifs, caractéristiques et avantages sortiront de la description détaillée qui suit en référence aux dessins donnés à titre illustratif et non limitatif parmi lesquels :

- la figure 1, discutée plus haut, illustre un système d'acquisition optique de l'art antérieur,
- 15 - la figure 2, discutée plus haut, illustre un système d'acquisition optique équipé d'un diffuseur optique comme proposé dans l'art antérieur,
- la figure 3a illustre un système d'acquisition optique selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3b illustre un système d'acquisition optique selon une variante de
20 réalisation de l'invention,
- la figure 4a illustre un système d'acquisition optique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 4b illustre un système d'acquisition optique selon une variante de réalisation de l'invention,
- 25 - la figure 5 illustre un système d'acquisition optique comportant deux dispositifs d'imagerie conformément à un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 illustre un système d'acquisition optique dans lequel le masque matriciel est une matrice DLP,
- la figure 7 illustre un système d'acquisition optique selon une variante de
30 réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Comme illustré sur les figures 3a à 7, un système d'acquisition optique 1 d'une surface 4 comporte un dispositif d'éclairage 20, et un ou plusieurs dispositifs d'imagerie 30, un masque matriciel 7, et un système de contrôle du masque matriciel 9.

Le dispositif d'éclairage 20 est un dispositif d'éclairage plénoptique configuré pour éclairer chaque point de la surface 4 selon au moins deux angles d'incidence différents, et un masque matriciel 7 adapté pour obturer ou dévier hors de la surface sélectivement certains faisceaux.

A cet effet, le dispositif d'éclairage plénoptique 20 comporte, dans certains modes de réalisation, une source lumineuse 21, et une matrice 6 de microlentilles.

Dans certains modes de réalisation, la source lumineuse 21 est collimatée avec un collimateur 25 placé entre la source lumineuse 21 et la matrice 6 de microlentilles.

La source lumineuse 21 peut également être un film électroluminescent plan ou une pluralité de diodes électroluminescentes (LEDs) associées éventuellement à un diffuseur optique.

20

Comme illustré sur les figures 3a et 4a, la matrice 6 de microlentilles est constituée d'un ensemble de microlentilles 61 situées dans un même plan. Les microlentilles 61 peuvent notamment être arrangées en lignes et en colonne ou bien en quinconce.

Les microlentilles 61 ont toutes la même distance focale et leurs plans focaux image F' sont confondus.

Chaque microlentille 61 transmet un faisceau incident sur la surface 4 avec un ou plusieurs angle(s) d'incidence. Pour un point donné de la surface 4, l'intervalle d'angle(s) d'incidence sur ledit point du faisceau transmis par une lentille 61 est différent de l'intervalle d'angle(s) d'incidence sur ledit point du faisceau transmis par les autres microlentilles 61. Ainsi, chaque point est éclairé par plusieurs faisceaux

30

avec des angles d'incidence différents. Si un point de la surface est dans le plan focal image du dispositif d'éclairage, il est éclairé par plusieurs faisceaux issus d'une même lentille 61 ayant des angles d'incidence différents (sauf, bien sûr, par les faisceaux occultés par le masque 7). Sinon, il est éclairé par plusieurs faisceaux
5 ayant des angles d'incidence différents issus de lentilles 61 différentes.

Autrement dit, la matrice 6 de microlentilles 61 transforme la source lumineuse 21 en une pluralité de sources lumineuses secondaires positionnées au foyer image de chaque microlentille 61. Ainsi, chaque microlentille 61 transforme la lumière émise
10 par la source lumineuse 21 en une source lumineuse secondaire qui éclaire la surface à analyser 4 selon un ensemble d'angles particulier. De cette manière, chaque point de la surface 4 est éclairé selon plusieurs angles d'incidence différents. De manière préférentielle, chaque source lumineuse secondaire éclaire l'ensemble de la surface 4.

15 Dans un premier mode de réalisation illustré sur la figure 3a, les microlentilles 61 sont convergentes et le dispositif d'éclairage 20 comporte en outre une lentille principale 8. Le plan focal image F' des microlentilles 61 se trouve entre la matrice 6 de microlentilles 61 et la lentille principale 8.

La lentille principale 8 est une lentille convergente.

20 Le masque matriciel 7 est positionné entre la matrice 6 de microlentilles et la lentille principale 8, et plus précisément entre la matrice 6 de microlentilles et le plan focal image F' des microlentilles 61.

Alternativement, le masque matriciel 7 peut être placé entre la source lumineuse 21 et les microlentilles 61.

25 Ce premier mode de réalisation correspond au montage optique d'une caméra plénoptique, le parcours de la lumière étant cependant inversé par rapport à celui d'une caméra plénoptique. Alors qu'une caméra photographique classique enregistre en chaque point l'énergie accumulée de tous les rayons convergeant sur la surface sensible, une caméra plénoptique enregistre séparément les énergies des rayons
30 selon leur direction de propagation.

Dans ce premier mode de réalisation, la matrice 6 de microlentilles 61 focalise la lumière de la source 21 en une pluralité de points focaux image f' , tous disposés dans un même plan image focal F' .

L'espacement entre les microlentilles 61 est typiquement de l'ordre de 0,3mm.

5 Le nombre de microlentilles 61 est typiquement de l'ordre de 60 dans une direction. La hauteur du réseau 6 de microlentilles est alors de l'ordre de 20mm. La distance focale des microlentilles est typiquement de 0,6mm. La distance focale de la lentille principale est typiquement de 40mm. La distance entre la matrice 6 de microlentilles et la lentille principale 8 est de 40mm. La distance entre la lentille principale 8 et la
10 surface est de l'ordre de 50mm.

Pour optimiser la résolution spatiale des points éclairés sur la surface 4, il faut choisir des microlentilles 61 avec le plus petit diamètre possible ou réduire le grandissement de la lentille principale. Pour maximiser la résolution angulaire des rayons éclairant un point de la surface 4, il faut espacer les microlentilles d'un
15 diamètre relativement élevé. Dans ce premier mode de réalisation, l'espacement des microlentilles est un facteur déterminant pour les caractéristiques du système.

Dans un deuxième mode de réalisation, illustré sur la figure 4a, les microlentilles 61 sont divergentes. Le plan focal image F' des microlentilles 61 se trouve entre la matrice 6 de microlentilles et la source lumineuse 21.

20 Le masque matriciel 7 est positionné entre la matrice 6 de microlentilles et la source lumineuse 21, et plus précisément entre la matrice 6 de microlentilles et le plan focal image F' des microlentilles 61. La distance entre la matrice 6 de microlentilles et la surface 4 est typiquement de l'ordre de quelques dizaines de centimètres.

25 Dans une variante de réalisation, illustré par les figures 3b et 4b, la matrice 6 de microlentilles est remplacée par un panneau 11 dans lequel sont ménagés des trous circulaires 111. Le diamètre de ces trous circulaires 11 est petit par rapport à la taille des éléments du masque 7 mais très supérieur à la longueur d'onde. La source de lumière 21 envoie de la lumière sur chaque trou 111 selon une pluralité d'angles
30 d'incidence. Chaque trou 111 se comporte alors comme une source secondaire.

Dans un quatrième mode de réalisation, non représenté car proche dans son principe du troisième mode, les sources ponctuelles 21 et les masques matriciels 7 sont les sources ponctuelles 21 et les masques matriciels 7 d'une pluralité de vidéo projecteurs. Dans ce cas le volume de travail de l'éclairage plénoptique peut dépasser le m³ et la distance de travail peut dépasser le m.

Le masque matriciel 7 comporte une matrice de cellules 71 pouvant être commandées indépendamment les unes des autres pour transmettre une quantité de lumière choisie.

Chaque cellule 71 peut être soit dans un état passant, dans lequel elle transmet la lumière qui la traverse, soit dans un état bloquant, dans lequel elle obstrue la lumière, comme dans le cas d'un écran LCD, ou la dévie hors de la surface 4, comme dans le cas d'une matrice DLP. Une modulation de la quantité de lumière émise à travers chaque cellule 71 est contrôlable soit en jouant sur le degré d'opacité des cellules 71 soit par modulation temporelle. En effet, chaque cellule 71 peut changer d'état plusieurs milliers de fois par seconde. Le dispositif d'imagerie 30 intègre les impulsions pendant la durée d'exposition et perçoit donc le niveau de lumière moyen. Le niveau de gris détecté par le dispositif d'imagerie 30 est donc directement proportionnel au temps pendant lequel la cellule 71 est en position passante au cours du temps.

Dans une variante de réalisation, à chaque microlentille 61 correspond une cellule 71.

Dans une autre variante de réalisation, le faisceau issu de chaque microlentille 61 est transmis à travers un ensemble de cellules 71 voisines. .

En particulier, à chaque microlentille 61 peut correspondre un carré de cellules 71, composé typiquement de 4, 9, ou 16 cellules 71,

Le masque matriciel 7 peut notamment être un écran à cristaux liquides 7 par la suite appelé écran LCD, constitué d'un quadrillage de cellules de cristal liquide (LCD), chaque cellule 71 étant, soit transparente (état passant), soit opaque (état bloquant), selon l'état du cristal liquide de ce pixel.

Une cellule LCD 71 est constituée, de façon connue, d'une mince couche de cristal liquide, enfermée entre deux plaques transparentes équipées de polariseurs, et soumise à un champ électrique variable. L'état de chaque cellule à cristal liquide 71 est contrôlé, de manière connue, en appliquant entre des électrodes transparentes réparties en matrice en vis à vis sur les deux plaques transparentes une tension de polarisation évoluant entre deux niveaux: un niveau faible auquel la cellule LCD 71 est transparente (état passant) et un niveau élevé auquel la cellule LCD 71 est opaque (état bloquant).

Le masque matriciel 7 peut également être une matrice DLP (pour « Digital Light Processor ») constituée d'une matrice de miroirs mobiles, chaque cellule 71 du masque étant un miroir mobile. L'état de chaque cellule 71 est contrôlé, de manière connue, en orientant le miroir mobile soit de manière à ce qu'il réfléchisse la lumière vers la surface 4, la cellule est alors à l'état passant, soit de manière à ce qu'il réfléchisse cette lumière vers une surface qui absorbe les rayons, la cellule est alors à l'état bloquant. On obtient ainsi la projection d'un point allumé, ou d'un point éteint. Dans le cas où le masque matriciel 7 est une matrice DLP, le masque matriciel 7 et la source lumineuse 21 sont positionnés par rapport à la surface 4 de manière à ce que les cellules 71 à l'état bloquant ne réfléchissent pas la lumière sur la surface 4, alors que les cellules 71 à l'état passant réfléchissent la lumière sur la surface 4, comme illustré sur la figure 6.

En modulant l'état des cellules 71, le masque matriciel 7 permet de contrôler en chaque point de la surface 4, l'intensité de chaque rayon illuminant ce point.

Comme expliqué plus haut, seuls certains angles d'incidence de l'éclairage créent, après réflexion, des spéularités entraînant la saturation de l'information photométrique dans l'image.

Si un ou plusieurs des rayons incidents sur la surface 4 génèrent une réflexion spéculaire comprise dans l'angle de champ du dispositif d'imagerie 30, le système de contrôle 9 commande l'état bloquant de la ou des cellules 71 à travers lesquels le rayonnement générant la réflexion spéculaire passe.

Comme illustré sur les figures 3a à 7, le système d'acquisition optique 1 comporte un ou plusieurs dispositifs d'imagerie 30. Chaque dispositif d'imagerie 30 comporte un capteur photographique 31 et une optique de focalisation 32. En outre, le système d'acquisition optique peut comporter d'autres éléments optiques, comme des miroirs, de manière à créer des repliements des chemins optiques. Le capteur photographique 31 photographique est un composant électronique photosensible adapté pour convertir le rayonnement électromagnétique (UV, visible ou IR) en un signal électrique analogique. Ce signal est ensuite amplifié, puis numérisé par un convertisseur analogique-numérique pour obtenir une image numérique. L'optique de focalisation 32 est classiquement une lentille optique ou une combinaison de lentilles optiques. Le dispositif d'imagerie 30 est par exemple une caméra. L'angle de champ du dispositif d'imagerie 30 est l'angle que va pouvoir capter le dispositif d'imagerie 30.

Dans le cas où le système d'imagerie 30 comporte N dispositifs d'imagerie 30, pour toujours pouvoir éliminer toutes les réflexions spéculaires tout en éclairant toute la surface 4 dans les images de tous les dispositifs d'imagerie 30, il faut que chaque point de la surface 4 soit éclairé selon au moins N+1 angles d'incidence différents.

Le dispositif d'imagerie 30 est agencé par rapport à la surface 4 et le dispositif d'éclairage 20, de manière à capter une partie significative de la lumière réfléchie sur la surface à analyser 4.

Comme illustré sur les figures 3a à 6b, le dispositif d'imagerie 30 peut être agencé de manière à capter la lumière directement après réflexion sur la surface à analyser 4, comme illustré sur la figure 1. A cet effet, l'axe optique du dispositif d'imagerie 30 est orienté vers la surface à analyser 4.

Comme illustré sur la figure 7, le système d'acquisition 1 peut également comporter un dispositif de séparation optique 10, tel qu'une lame semi-réfléchissante, positionné entre la source 21 et la surface 4. La lumière issue de la source 21 est transmise vers la surface à analyser 4 à travers le dispositif de séparation optique 10. La lumière issue de la réflexion sur la surface 4 est réfléchie par le dispositif de séparation optique 10 vers le dispositif d'imagerie 30. Dans ce cas, l'optique de

focalisation 32 du dispositif d'imagerie 30 est un ensemble de microlentilles, le dispositif d'imagerie 30 étant un capteur d'imagerie plénoptique.

Dans le premier mode de réalisation conforme à la figure 7, le dispositif de séparation optique 10 est positionné entre la lentille principale 8 et la matrice 6 de microlentilles. La lumière issue du réseau 6 de microlentilles est transmise vers la lentille principale 8 et la surface à analyser 4 à travers le dispositif de séparation optique 10. La lumière issue de la réflexion sur la surface 4 est transmise par la lentille principale 8 puis réfléchiée par le dispositif de séparation optique 10 vers le dispositif d'imagerie 30.

Dans une application au second mode de réalisation, le dispositif de séparation optique est positionné entre la matrice 6 de microlentilles et la surface 4. La lumière issue de la source 21 est transmise vers la surface à analyser 4 à travers le dispositif de séparation optique 10.

Dans une application au troisième mode de réalisation, le dispositif de séparation optique est positionné entre les sources 21 et la surface 4. La lumière issue des sources 21 est transmise vers la surface à analyser 4 à travers la lame semi-réfléchissante.

La face réfléchissante est orientée par rapport à la surface 4 de manière à ce que, après réflexion, la lumière réfléchiée sur la surface 4 soit transmise vers le dispositif d'imagerie 30, (en passant par la lentille principale 8 dans le cas du premier mode de réalisation).

Alternativement, la face réfléchissante est orientée par rapport à la surface 4 de manière à ce que la lumière issue de la source 21 soit réfléchiée sur la face réfléchissante vers la surface à analyser 4, et de manière à ce que la lumière réfléchiée sur la surface 4 soit transmise vers le dispositif d'imagerie 30 à travers la lame semi-réfléchissante 10.

Le dispositif de commande 9 peut être opéré en utilisant diverses méthodes. Dans le cas général les différents chemins optiques suivis par la lumière dépendent de la configuration du dispositif d'éclairage et de la ou les dispositif(s) d'acquisition mais aussi de la surface 4 qui est inconnue.

Dans ce cas, pour déterminer les cellules 71 du masque qui doivent être à l'état bloquant, on peut procéder par essais/erreurs. A cet effet, on commande successivement l'état passant de chacune des cellules 71 du masque, un par un. Lorsqu'une réflexion spéculaire est détectée par le dispositif d'imagerie 30, c'est-à-dire lorsque la caméra détecte un rayonnement supérieur à un seuil prédéfini, le dispositif de commande 9 note dans une base de données que la cellule 71 en question doit être mise à l'état bloquant. La réflexion spéculaire peut également être détectée par un observateur et non pas détectée automatiquement par la caméra. Dans ce cas, on comprendra que «détecter » signifie « observer ».

10 Dans le cas où on connaît un modèle a priori de la surface 4, on peut calibrer le dispositif de commande 9 en tenant compte de la connaissance a priori de la forme de la surface 4. A cet effet, on estime (ou on connaît) la position de la surface par rapport au dispositif d'éclairage 20 ainsi que par rapport au système d'imagerie, puis, on détermine les rayons incidents ne devant pas conduire à des spécularités et ceux devant conduire à des spécularités en modélisant la propagation des rayons, et on en déduit les cellules 71 à travers lesquelles passent ces rayons. En allumant et en éteignant les cellules 71 transmettant les faisceaux devant conduire à des spécularités et celles ne devant pas conduire à des spécularités, on peut vérifier si les spécularités apparaissent conformément à la prédiction faite par modélisation. Si ce n'est pas le cas, alors il faut en conclure que la surface 4 n'est pas conforme au modèle prédit. Dans ce cas on a détecté un défaut de forme de la surface. La nouveauté apportée par l'éclairage plénoptique est que cette opération peut être réalisée sur des surfaces de forme 3D complexe.

25 Dans le cas illustré par la figure 7, où le système d'acquisition 1 comporte un dispositif de séparation optique 10 disposé entre la source 21 et la surface 4 de manière à ce que la lumière après réflexion sur la surface 4 soit transmise vers le dispositif d'imagerie 30, la direction des rayons à éteindre peut se déduire directement de l'image du dispositif d'imagerie 30 car il existe une correspondance géométrique fixe entre les chemins optiques des voies d'imagerie et ceux des voies d'éclairage (voir Fig. 6). Dans cette variante de réalisation, la correspondance entre le chemin optique de la lumière issue du dispositif d'éclairage et celui de la lumière

atteignant le dispositif d'imagerie 30 ne dépend pas de la surface 4, et le dispositif de commande 9 peut être calibré a priori de manière à associer chaque pixel de l'image sur le dispositif d'imagerie 30 avec une cellule 71 du masque 7. Dans ce cas, la calibration du dispositif de commande 9 consiste à associer à chaque pixel de l'image
5 sur le dispositif d'imagerie 30, la ou les cellules 71 du masque 7 qui transmettent la lumière incidente sur ledit pixel. La calibration du dispositif de commande 9 permet de déterminer facilement quelle(s) cellule(s) 71 du masque 7 doi(ven)t être fermée(s) pour supprimer une réflexion spéculaire gênante.

10 Cette variante de réalisation, permet d'une part de réduire l'encombrement du dispositif et d'autre part de simplifier le dispositif de commande 9.

Il est à noter qu'il est possible de projeter un motif sur la surface 4 en fermant sélectivement certaines cellules 71 du masque, tout en tenant compte des cellules 71 qui doivent être fermées pour supprimer les réflexions spéculaires. Cela peut être
15 utile notamment lorsque le dispositif d'acquisition optique 30 est un scanner 3D à lumière structurée projetant un motif lumineux sur la surface. Le motif peut être à une ou deux dimensions. Le dispositif d'imagerie est une caméra qui enregistre une éventuelle déformation du motif. Un calculateur calcule, de manière connue, les distances des points composant ce motif.

20 Cela peut également être utile lorsque le dispositif d'acquisition optique 30 est un dispositif d'imagerie stéréo comportant plusieurs caméras. Le ou les motifs projetés peuvent être, par exemple, des motifs aléatoires générés de façon à ne pas créer de spécularités. L'analyse des images prises par chacune des caméras du dispositif d'acquisition optique 30 permet d'associer à chaque pixel d'une caméra le
25 pixel de l'autre caméra correspondant. Le masque 7 est commandé de manière à supprimer toutes les composantes lambertiennes de la lumière renvoyé par la surface. Ainsi, aucune caméra n'est affectée par une réflexion spéculaire, et les caméras n'enregistrent que la composante lambertienne de la lumière renvoyé par la surface. Ainsi l'énergie lumineuse reçue par les différentes caméras est la même et
30 les images des pixels peuvent donc être appariés de façon classique (par corrélation du voisinage des pixels ou par observation d'une signature unique à chaque pixel).

Il est à noter qu'il est possible de moduler la lumière envoyée sur la surface 4 en modulant l'état des cellules 71 du masque, tout en tenant compte des cellules 71 qui doivent être fermées pour supprimer les réflexions spéculaires. Cela peut être
5 utile notamment lorsque le dispositif d'acquisition optique est un scanner 3D à lumière modulée éclairant le sujet à l'aide d'une lumière changeante.

REVENDICATIONS

1. Système optique (1) d'acquisition d'informations sur une surface (4) comportant :

- 5 - un dispositif d'éclairage (20) configuré pour éclairer la surface à acquérir (4),
- un ou plusieurs dispositif(s) d'imagerie (30), ayant chacun un angle de champ, configuré(s) pour acquérir une image de la surface à acquérir (4),

10 le système d'acquisition (1) étant caractérisé en ce que le dispositif d'éclairage (20) est un dispositif d'éclairage plénoptique configuré pour éclairer chaque point de la surface (4) selon au moins deux angles d'incidence différents, le dispositif d'éclairage plénoptique (20) comportant une source lumineuse (21) et un réseau (6) de microlentilles comprenant

15 une pluralité de microlentilles (61) ayant toutes le même plan focal image (F')

et en ce qu'il comporte en outre :

- un masque matriciel (7) positionné entre le dispositif d'éclairage (20) et la surface à acquérir (4) et comportant une matrice de cellules (71)
- 20 pouvant être commandées indépendamment les unes des autres pour transmettre une quantité de lumière choisie, et
- un dispositif de commande (9) configuré pour limiter la quantité de lumière transmise par une ou plusieurs cellules (71) lorsque la lumière transmise à travers lesdites cellules (71) génère, après réflexion sur la
- 25 surface à acquérir (4), une réflexion spéculaire dans l'angle de champ d'un des dispositifs d'imagerie (30).

30 2. Système optique (1) selon la revendication précédente, le masque matriciel (7) étant positionné entre le réseau (6) de microlentilles et le plan focal image (F') des microlentilles (61).

3. Système optique (1) selon l'une des revendications précédentes, les microlentilles (61) étant divergentes.
- 5 4. Système optique (1) selon l'une des revendications précédentes, les microlentilles (61) étant convergentes.
- 10 5. Système optique (1) selon l'une des revendications précédentes, le dispositif d'éclairage plénoptique (20) comportant une pluralité de sources lumineuses élémentaires (210) formant la source (21) disposées dans un même plan en regard du réseau de microlentille (6).
- 15 6. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, le masque matriciel (7) étant un écran LCD (7), les cellules (71) étant des cellules LCD.
- 20 7. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, le masque matriciel (7) étant une matrice de miroirs orientables, les cellules (71) étant des miroirs orientables.
- 25 8. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, chaque cellule (71) pouvant être commandée pour être soit dans un état passant, dans lequel elle transmet toute la lumière, soit dans un état bloquant, dans lequel elle ne transmet aucune lumière.
- 30 9. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, chaque cellule (71) pouvant être commandée pour être alternativement dans un état passant ou bloquant, le dispositif de commande (9) étant configuré pour contrôler l'alternance des états passant et bloquant de la cellule (71) de manière à contrôler la quantité de lumière transmise à travers la cellule (71) pendant un temps d'intégration.

10. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, comportant un dispositif de séparation optique (10) positionné de manière à ce que la lumière issue de la source (21) soit transmise vers la surface à analyser (4) à travers le dispositif de séparation optique (10), la lumière issue de la réflexion sur la surface (4) étant réfléchiée par le dispositif de séparation optique (10) vers le dispositif d'imagerie (30).

11. Système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, le dispositif d'imagerie (30) étant un capteur plénoptique.

12. Procédé d'acquisition d'informations sur une surface (4) mis en œuvre par un système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications précédentes, consistant à :

- éclairer la surface à acquérir (4) avec un dispositif d'éclairage plénoptique de manière à éclairer chaque point de la surface (4) selon au moins deux angles d'incidence différents,
- acquérir au moins une image de la surface à acquérir (4),
- détecter une réflexion spéculaire dans l'angle de champ du dispositif d'imagerie (30),
- limiter la quantité de lumière transmise par les cellules (71) du masque matriciel (7) à travers lesquelles est transmise la lumière générant, après réflexion sur la surface à acquérir (4), la réflexion spéculaire détectée.

25

13. Utilisation d'un système optique d'acquisition (1) selon l'une des revendications 1 à 11, pour le contrôle métrologique tridimensionnel d'une aube de turbomachine.

FIG. 1

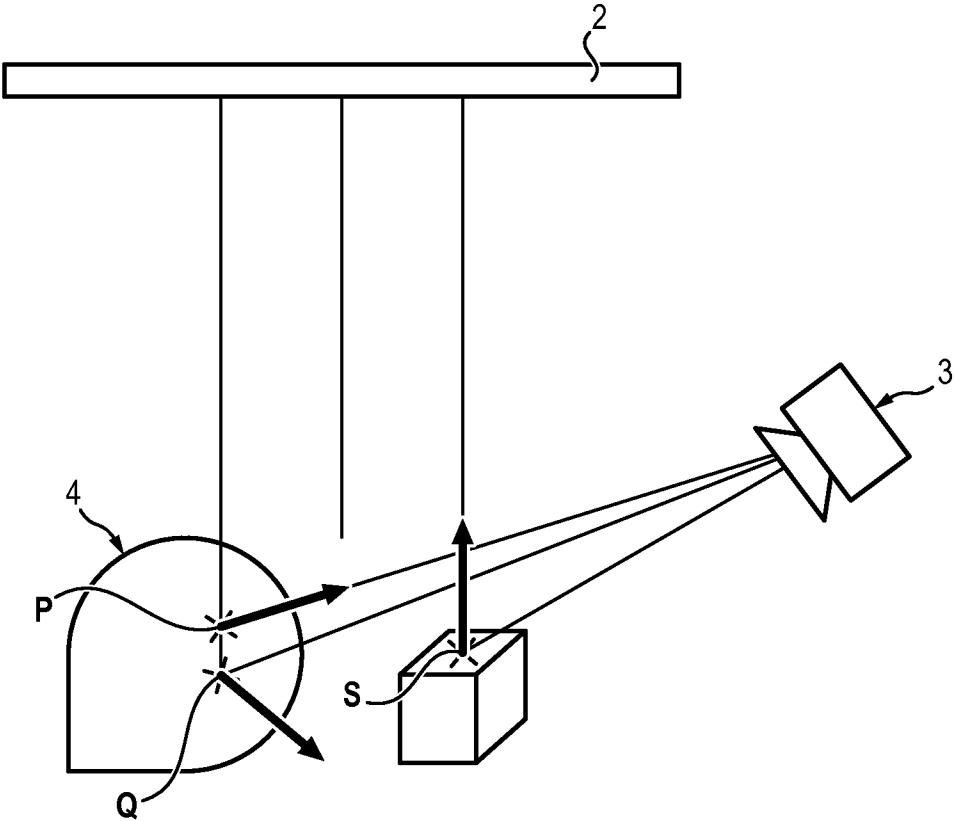
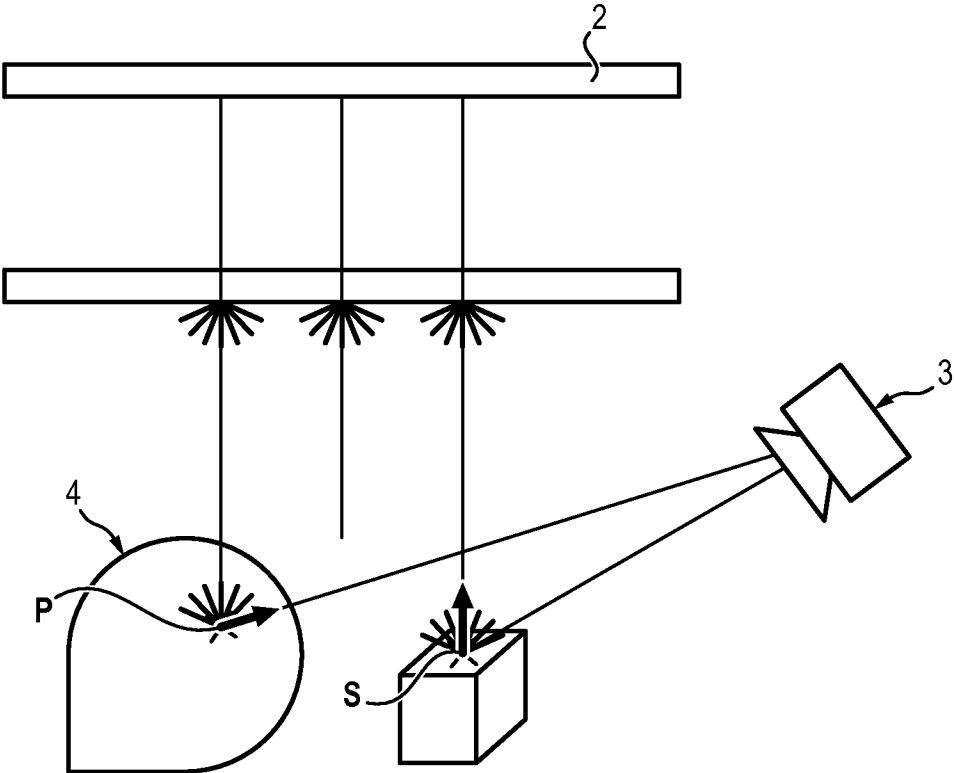


FIG. 2



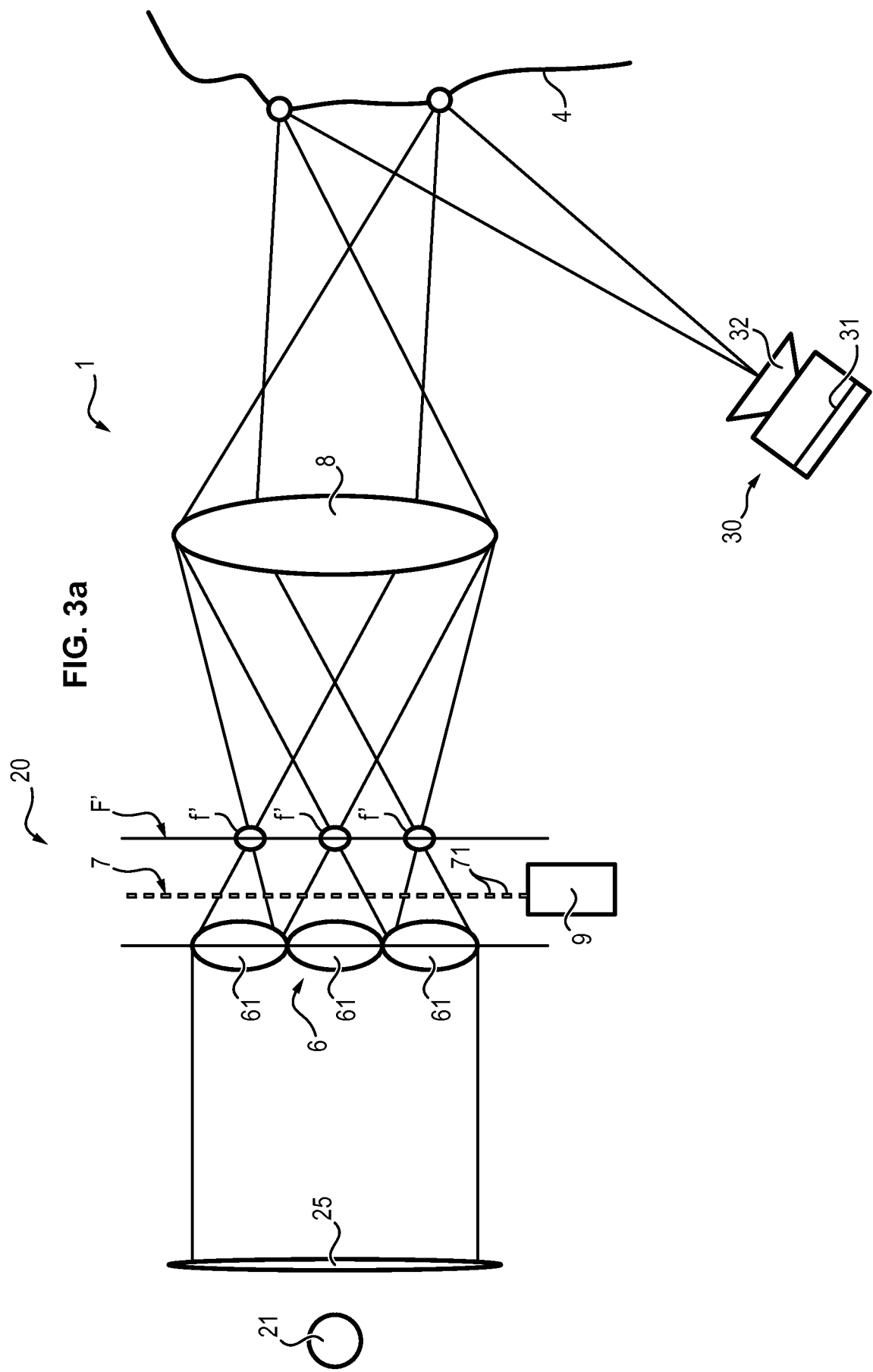
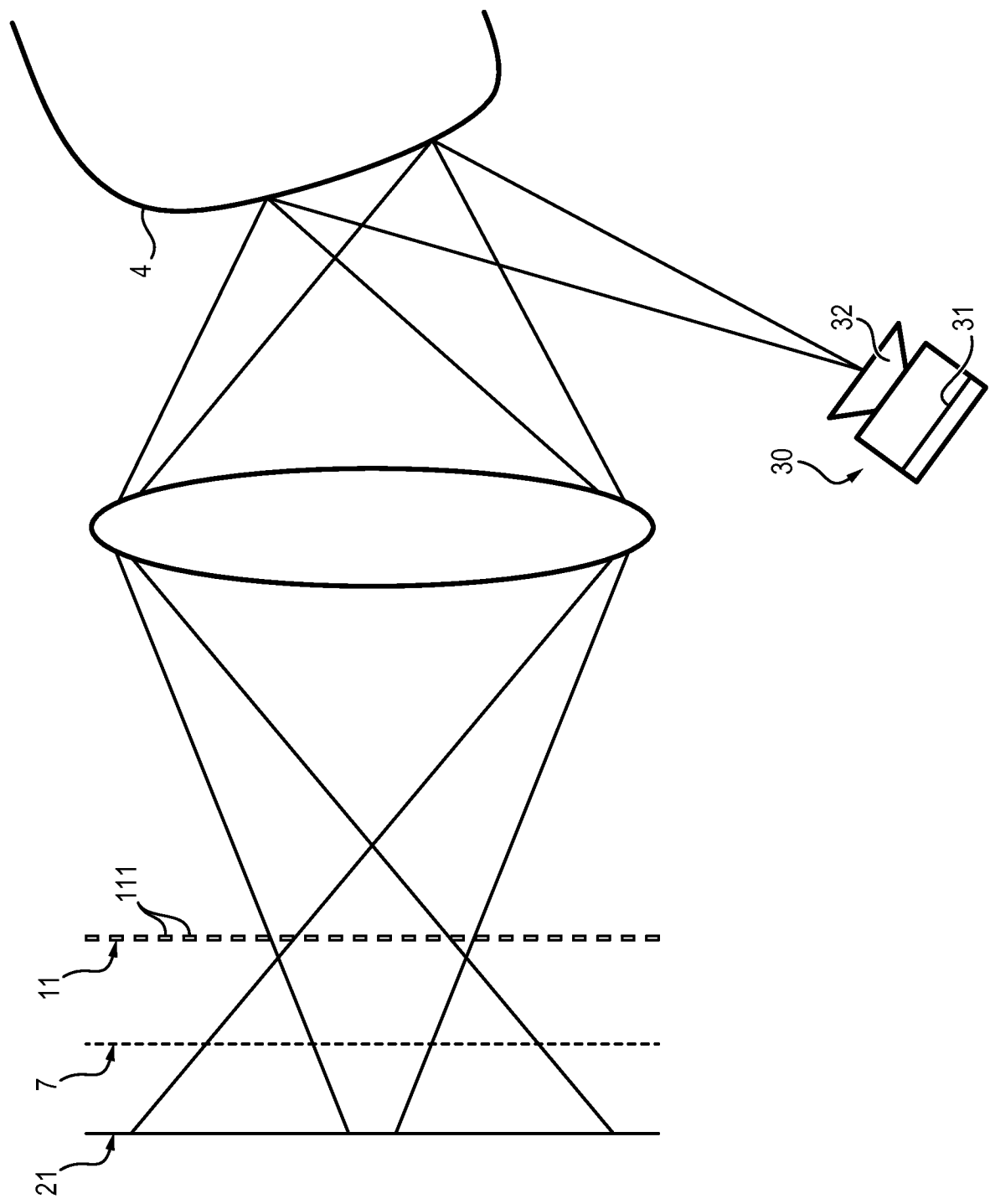
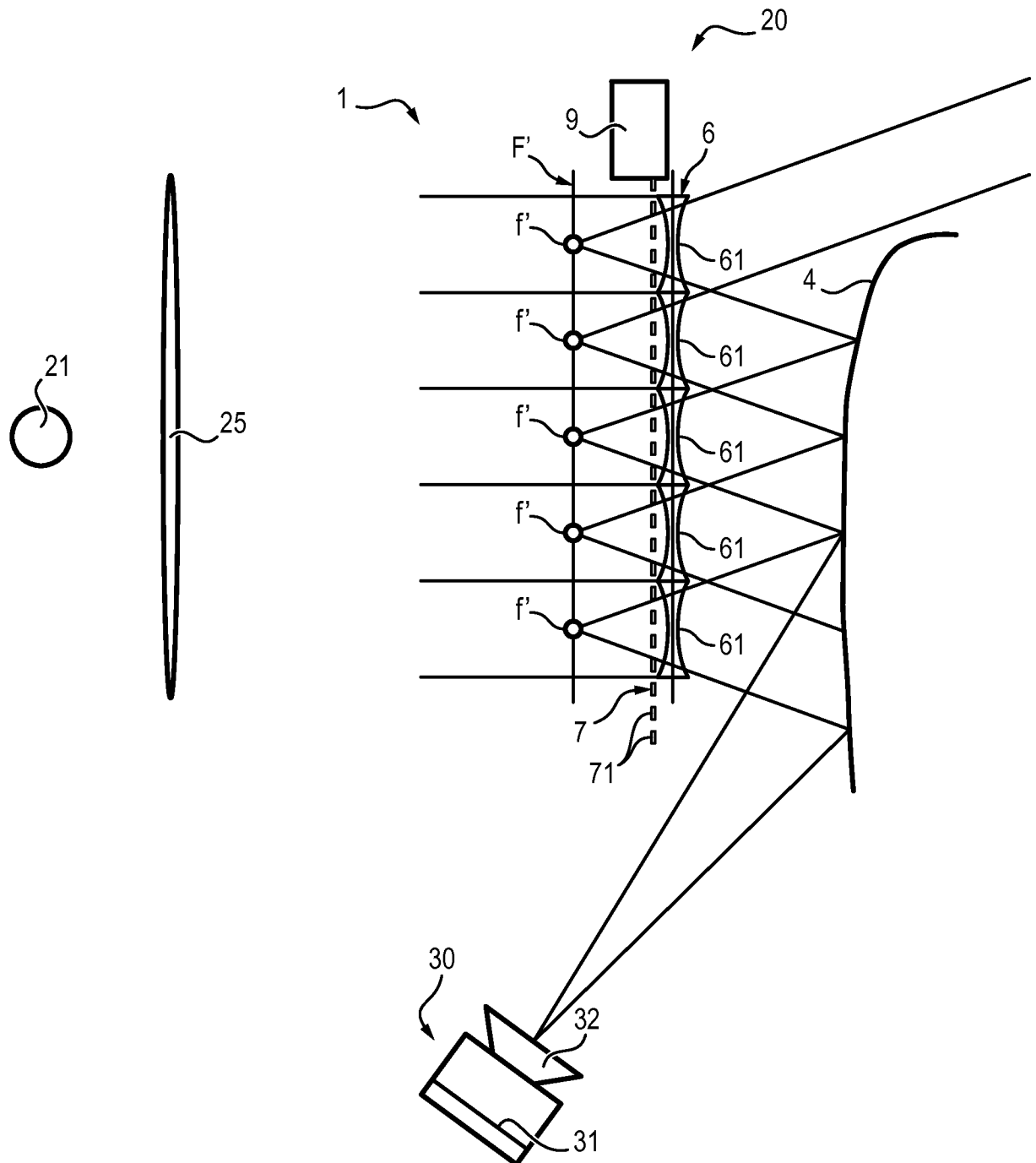


FIG. 3b



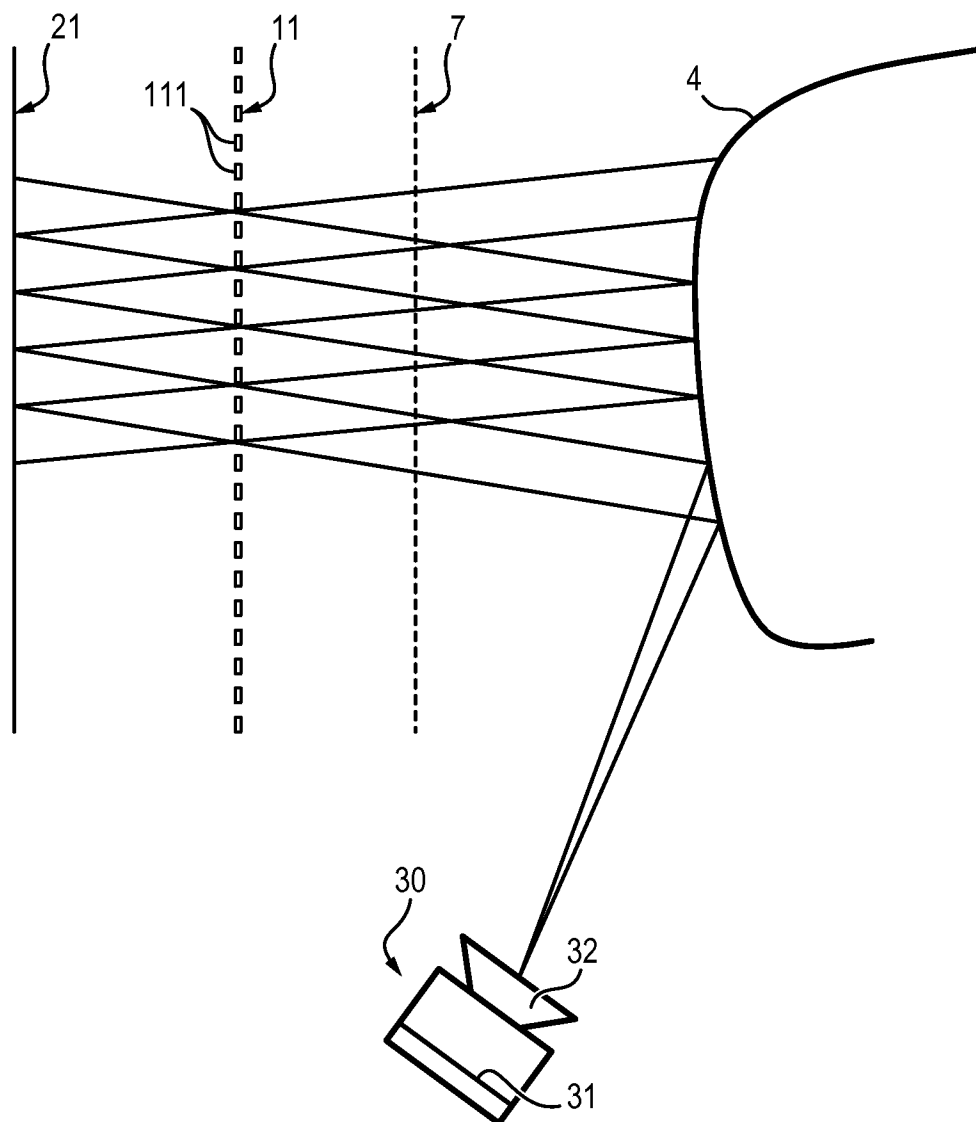
4/8

FIG. 4a



5/8

FIG. 4b



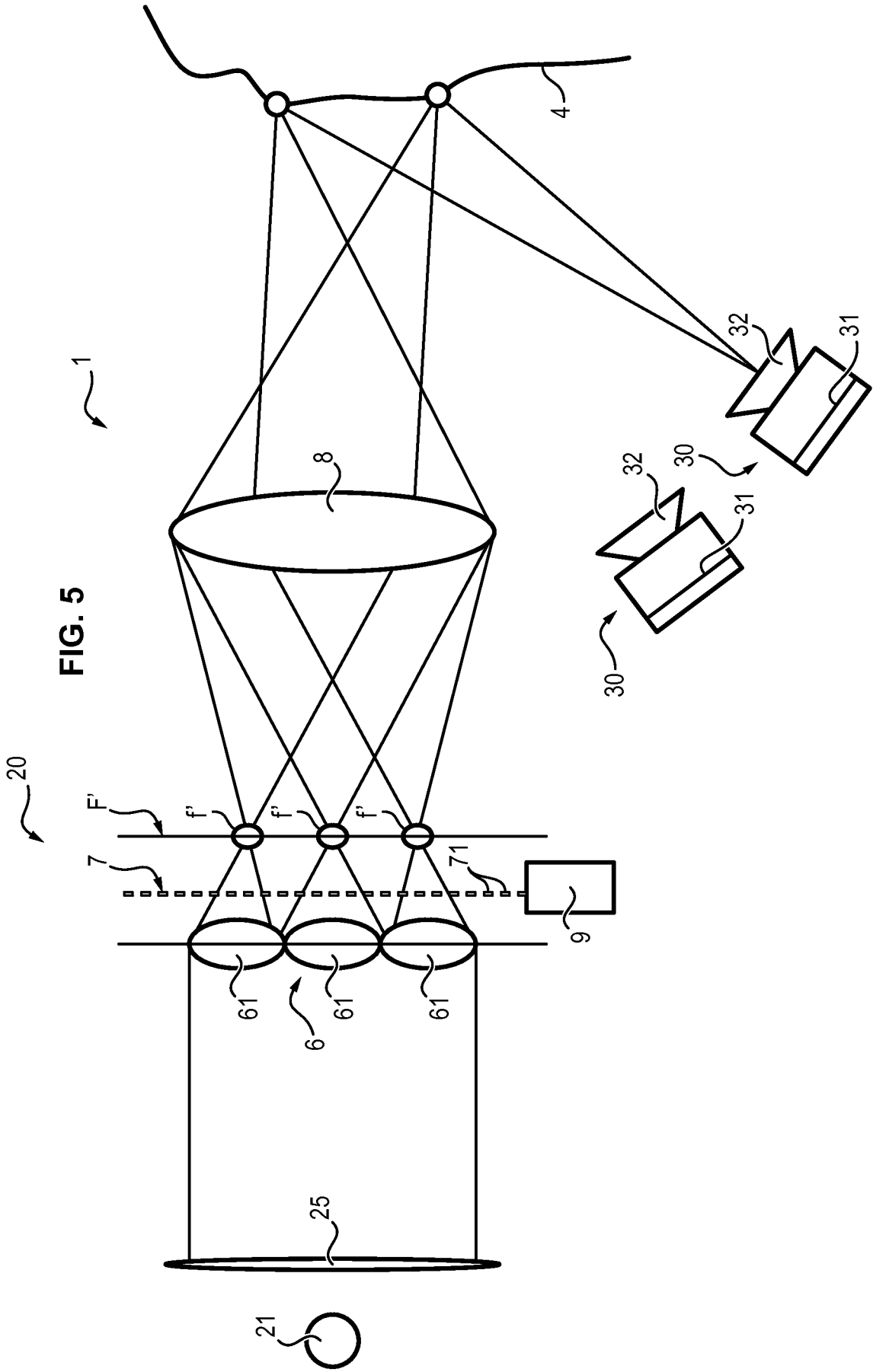
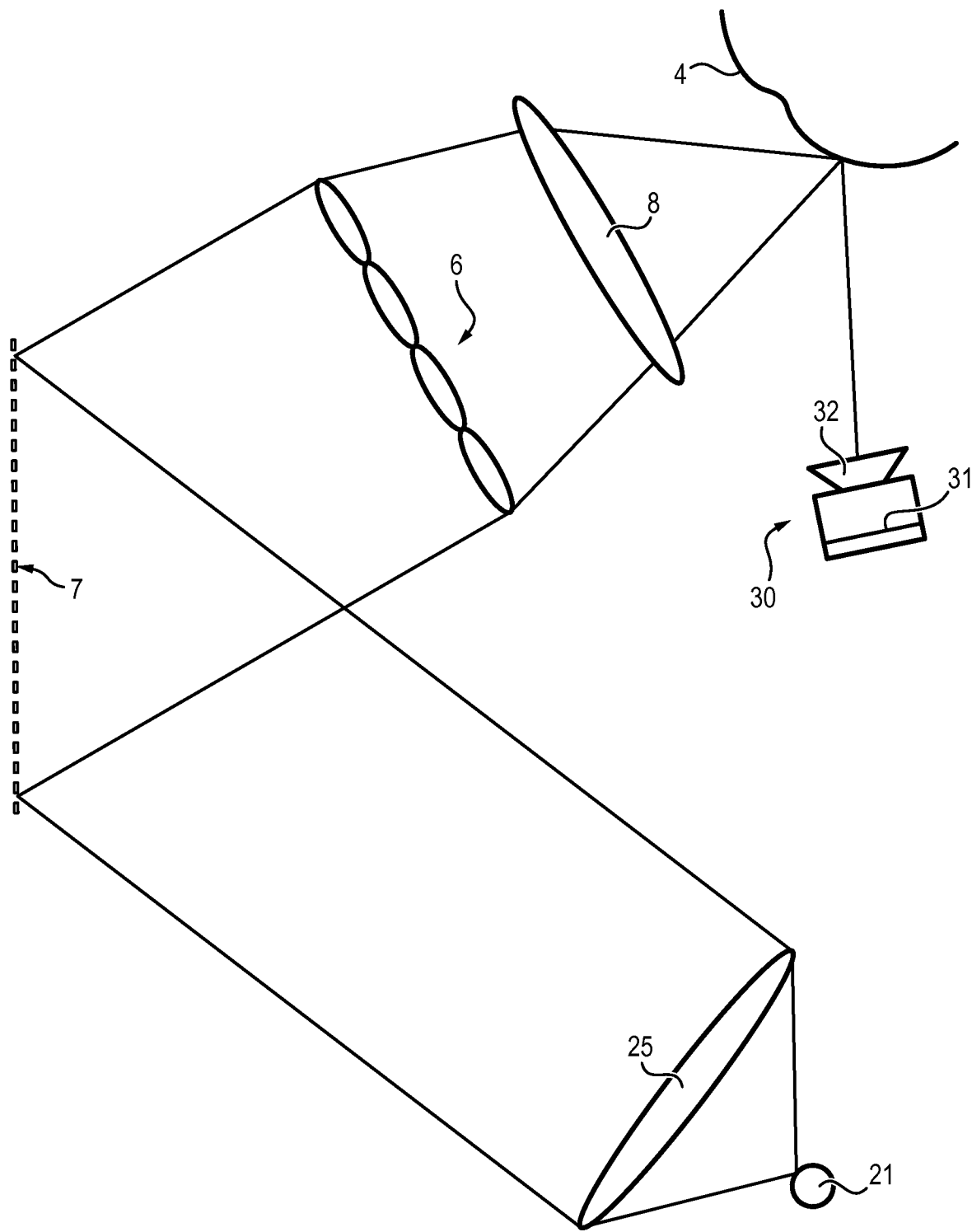


FIG. 6



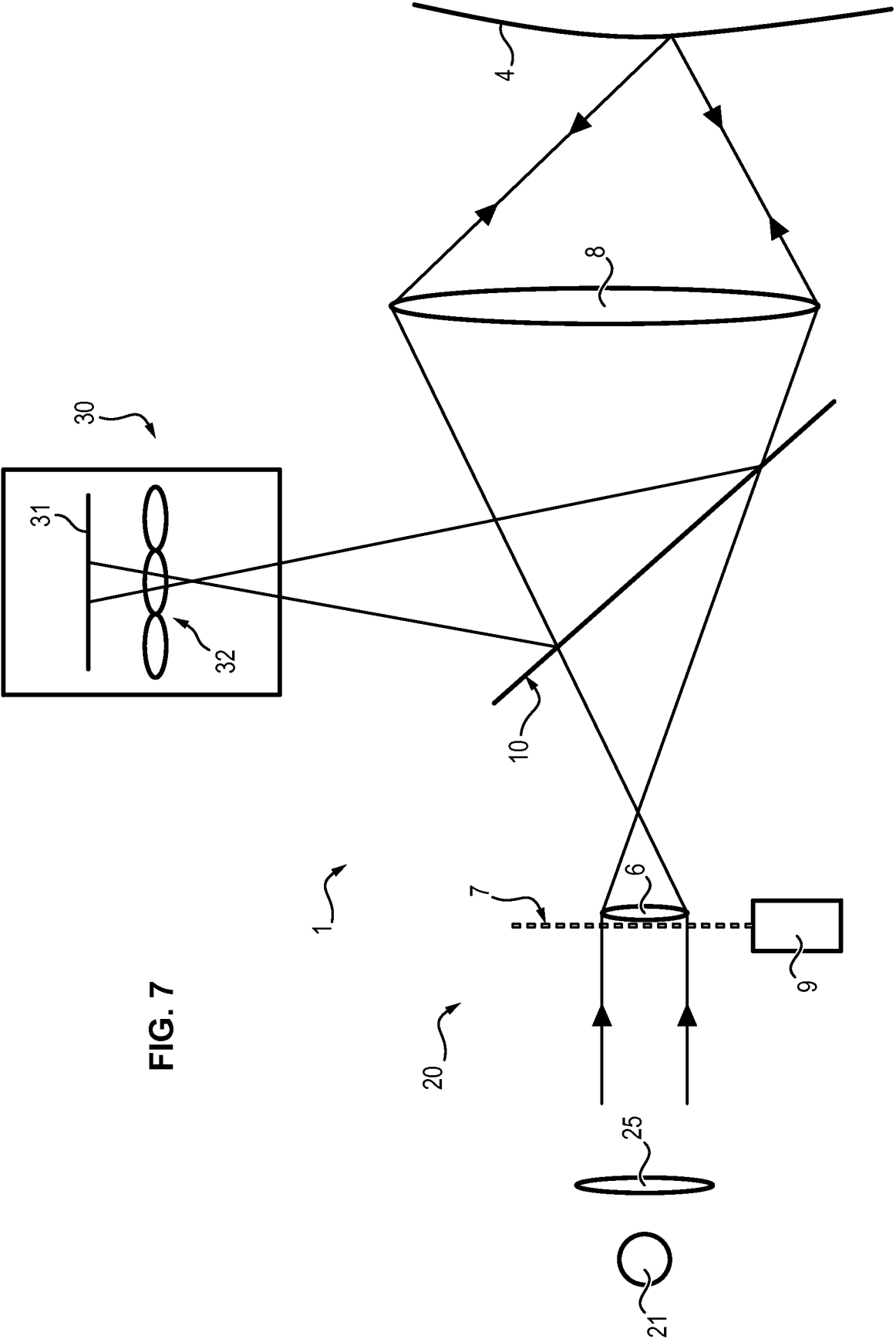


FIG. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/051100

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N21/55
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	HANHOON PARK ET AL: "Specularity-Free Projection on Nonplanar Surface", 1 January 2005 (2005-01-01), ADVANCES IN MULTIMEDIA INFORMATION PROCESSING - PCM 2005 : 6TH PACIFIC-RIM CONFERENCE ON MULTIMEDIA, JEJU ISLAND, KOREA, NOVEMBER 13-16, 2005; PROCEEDINGS; [LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE ; 3767], SPRINGER, BERLIN, DE, PAGE(S) 606 - 616, XP019023998, ISBN: 978-3-540-30027-4 the whole document ----- -/--	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 August 2016

Date of mailing of the international search report

12/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rolet, Etienne

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2016/051100

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Levoy et al.: "Recording and controlling the 4D light field in a microscope using microlens arrays", 24 July 2009 (2009-07-24), XP055250021, Retrieved from the Internet: URL:https://graphics.stanford.edu/papers/1fillumination/levoy-1fillumination-jmicr09.pdf [retrieved on 2016-02-15] page 235; figures 4,8,19 page 160, left-hand column -----	1-4,6-13
Y	US 2014/354801 A1 (BABOULAZ LOIC A [CH] ET AL) 4 December 2014 (2014-12-04) paragraphs [0047] - [0058]; figures 5,7 -----	1-6,8,9, 11-13
A	BIMBER O ET AL: "Closed-Loop Feedback Illumination for Optical Inverse Tone-Mapping in Light Microscopy", IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, IEEE SERVICE CENTER, LOS ALAMITOS, CA, US, vol. 17, no. 6, 1 June 2011 (2011-06-01), pages 857-870, XP011373263, ISSN: 1077-2626, DOI: 10.1109/TVCG.2010.104 abstract sections 2.1 2.3, 2.4, 3.2, 3.4 -----	1-13
A	US 2002/167669 A1 (SCHWARZ PETER [DE]) 14 November 2002 (2002-11-14) the whole document -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2016/051100

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014354801	A1	04-12-2014	NONE

US 2002167669	A1	14-11-2002	DE 10122917 A1 14-11-2002
			JP 4377107 B2 02-12-2009
			JP 2003042965 A 13-02-2003
			US 2002167669 A1 14-11-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/051100

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N21/55 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	HANHOON PARK ET AL: "Specularity-Free Projection on Nonplanar Surface", 1 janvier 2005 (2005-01-01), ADVANCES IN MULTIMEDIA INFORMATION PROCESSING - PCM 2005 : 6TH PACIFIC-RIM CONFERENCE ON MULTIMEDIA, JEJU ISLAND, KOREA, NOVEMBER 13-16, 2005; PROCEEDINGS; [LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE ; 3767], SPRINGER, BERLIN, DE, PAGE(S) 606 - 616, XP019023998, ISBN: 978-3-540-30027-4 le document en entier ----- -/-	1-13
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
31 août 2016		12/09/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Rolet, Etienne

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	Levoy et al.: "Recording and controlling the 4D light field in a microscope using microlens arrays", 24 juillet 2009 (2009-07-24), XP055250021, Extrait de l'Internet: URL:https://graphics.stanford.edu/papers/lfillumination/levoy-lfillumination-jmicr09.pdf [extrait le 2016-02-15] page 235; figures 4,8,19 page 160, colonne de gauche -----	1-4,6-13
Y	US 2014/354801 A1 (BABOULAZ LOIC A [CH] ET AL) 4 décembre 2014 (2014-12-04) alinéas [0047] - [0058]; figures 5,7 -----	1-6,8,9, 11-13
A	BIMBER O ET AL: "Closed-Loop Feedback Illumination for Optical Inverse Tone-Mapping in Light Microscopy", IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, IEEE SERVICE CENTER, LOS ALAMITOS, CA, US, vol. 17, no. 6, 1 juin 2011 (2011-06-01), pages 857-870, XP011373263, ISSN: 1077-2626, DOI: 10.1109/TVCG.2010.104 abrégé sections 2.1 2.3, 2.4, 3.2, 3.4 -----	1-13
A	US 2002/167669 A1 (SCHWARZ PETER [DE]) 14 novembre 2002 (2002-11-14) le document en entier -----	1-13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/051100

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014354801	A1	04-12-2014	AUCUN

US 2002167669	A1	14-11-2002	DE 10122917 A1 14-11-2002
			JP 4377107 B2 02-12-2009
			JP 2003042965 A 13-02-2003
			US 2002167669 A1 14-11-2002
