

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 144 664

②① N° d'enregistrement national : **22 14572**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 N 21/01 (2023.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Dispositif d'observation d'un échantillon par imagerie.

②② Date de dépôt : 28.12.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.07.24 Bulletin 24/27.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Commissariat à l'Energie Atomique
et aux Energies Alternatives Etablissement public à
caractère industriel et commercial — FR.*

⑦② Inventeur(s) : LE PERCHEC Jérôme et DUPOY
Mathieu.

⑦③ Titulaire(s) : *Commissariat à l'Energie Atomique et
aux Energies Alternatives Etablissement public à
caractère industriel et commercial.*

⑦④ Mandataire(s) : INNOV-GROUP.

FR 3 144 664 - B1



Description

Titre de l'invention : Dispositif d'observation d'un échantillon par imagerie

Domaine technique

[0001] L'invention concerne un dispositif d'observation d'un échantillon par strioscopie.

ART ANTERIEUR

[0002] L'observation d'échantillons biologiques peut être confrontée à une difficulté liée au caractère transparent de certains objets biologiques, par exemple des cellules, des structures cellulaires ou des microorganismes. Afin d'adresser ce problème, on peut mettre en œuvre des techniques d'imagerie par strioscopie, visant à occulter des rayons lumineux émis par la source de lumière. On forme ainsi une image dite en champ sombre, ou à contraste de phase. Un exemple de mise en œuvre est décrit dans EP2556164B1.

[0003] Dans le domaine de l'infra-rouge, le brevet US11313792 décrit un dispositif et un procédé d'imagerie sans lentille, dans lequel une lame d'un échantillon est exposée à un rayonnement infra-rouge.

[0004] Les inventeurs proposent un dispositif permettant une observation d'un échantillon essentiellement transparent, c'est-à-dire comportant un grand nombre de particules transparentes.

Exposé de l'invention

[0005] Un premier objet de l'invention est un dispositif d'observation d'un échantillon, comportant

- une source de lumière, configurée pour émettre une onde lumineuse selon une direction de propagation, selon une longueur d'onde d'émission ;
- un capteur d'image, comportant plusieurs pixels;
- une pluralité de microlentilles convergentes, chaque microlentille étant disposée face à un pixel, chaque microlentille comportant un foyer image, chaque microlentille étant configurée pour former, à partir d'ondes lumineuses issues de la source de lumière et se propageant parallèlement à la direction de propagation, un faisceau d'ondes lumineuses convergeant vers le foyer image de ladite microlentille ;
- le dispositif étant configuré pour maintenir l'échantillon entre la source de lumière et la matrice de microlentilles ;
- le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs éléments atténuants, chaque élément atténuant étant associé à une microlentille et à un pixel, chaque élément atténuant étant configuré pour atténuer les ondes lu-

mineuses convergeant vers le foyer image de la lentille à laquelle il est associé, et en ce que :

- chaque élément atténuant est :
 - soit un masque opaque à la longueur d'onde d'émission ;
 - soit un élément déphasant, formé d'un matériau transparent agencé pour induire un déphasage, le déphasage étant déterminé par rapport à une onde lumineuse se propageant en l'absence de l'élément atténuant ;
- chaque élément atténuant s'étend entre la microlentille et le pixel auxquels il est associé ;

[0006] de façon que chaque élément atténuant atténue chaque onde lumineuse se propageant vers ou depuis le foyer image d'une microlentille.

[0007] Selon un mode de réalisation préféré :

- les pixels sont coplanaires, et répartis selon un plan de détection ;
- les foyers image respectifs de chaque microlentille sont coplanaires, et forment un plan focal, parallèle au plan de détection ;
- les éléments atténuants s'étendent dans le plan focal ou dans un plan parallèle au plan focal.

[0008] Les éléments atténuants peuvent notamment s'étendre dans un plan parallèle au plan focal, ledit plan parallèle étant disposé à une distance inférieure à 1 mm du plan focal.

[0009] Selon une possibilité :

- les pixels sont coplanaires, et répartis selon un plan de détection ;
- chaque élément atténuant s'étend, parallèlement au plan de détection, avec une diagonale ou un plus grand diamètre inférieur à 2 fois la longueur d'onde d'émission.

[0010] Selon un mode de réalisation, chaque élément atténuant est un masque opaque, à la longueur d'onde d'émission.

[0011] Selon un mode de réalisation :

- chaque élément atténuant est un élément déphasant;
- le déphasage engendré par chaque élément déphasant est du quart de la longueur d'onde d'émission, ou d'un multiple impair du quart de la longueur d'onde d'émission.

[0012] Selon un mode de réalisation :

- chaque élément atténuant est un élément déphasant;
- chaque élément atténuant est formé d'une inclusion d'un premier matériau dans ou sur une couche support formée d'un deuxième matériau.

[0013] Chaque élément atténuant peut être solidaire d'une couche support, la couche support étant solidaire de la pluralité de microlentilles ou disposée à distance de la pluralité de

microlentilles.

- [0014] Chaque élément atténuant peut être solidaire du capteur d'image.
- [0015] La longueur d'onde d'émission peut être comprise entre 800 nm et 15 μm .
- [0016] La distance entre l'échantillon et la pluralité de microlentilles peut être inférieure à 1 mm ou à 500 μm ;
- [0017] La distance entre la pluralité de microlentilles et le capteur d'image peut être inférieure à 1 mm ou à 500 μm ;
- [0018] La distance entre l'échantillon et le capteur d'image peut être inférieure à 1 mm.
- [0019] Un autre objet de l'invention est un procédé d'observation d'un échantillon à l'aide d'un dispositif selon le premier objet de l'invention. L'échantillon est disposé entre les microlentilles et la source de lumière. L'échantillon peut comporter des particules transparentes, par exemple des particules biologiques.
- [0020] L'invention sera mieux comprise à la lecture de l'exposé des exemples de réalisation présentés, dans la suite de la description, en lien avec les figures listées ci-dessous.

FIGURES

- [0021] La [Fig.1A] représente un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0022] La [Fig.1B] montre un détail de l'exemple représenté sur la [Fig.1A].
- [0023] La [Fig.2] montre un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0024] La [Fig.3] montre un troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0025] La [Fig.4] montre un quatrième mode de réalisation de l'invention.
- [0026] La [Fig.5] montre un cinquième mode de réalisation de l'invention.

EXPOSE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS

- [0027] La [Fig.1A] montre un premier mode de réalisation d'un dispositif 1 selon l'invention. Une source de lumière 10, de préférence monochromatique, ou pouvant être considérée comme telle, produit une onde lumineuse 11 se propageant parallèlement à un axe de propagation Z. La source de lumière peut notamment être un laser. Dans l'exemple représenté, l'onde lumineuse est émise selon une longueur d'onde d'émission infra-rouge, par exemple comprise entre 800 nm et 15 μm . Toutefois, l'invention peut ne pas être limitée au domaine spectral infra-rouge et peut être mise en œuvre dans le domaine spectral visible ou ultra-violet.
- [0028] Le dispositif est destiné à l'observation d'un échantillon 20. L'échantillon 20 est maintenu sur un élément de maintien 21. Dans cet exemple, l'échantillon 20 un échantillon biologique que l'on souhaite caractériser. L'échantillon est déposé sur une lame transparente 22 faisant office de support d'échantillon. Par fine épaisseur, on entend une épaisseur de préférence inférieure à 100 μm , et de préférence inférieure à 10 μm , typiquement quelques micromètres. L'échantillon s'étend de préférence perpendiculairement ou sensiblement perpendiculairement à l'axe de propagation Z. Le

terme sensiblement perpendiculaire signifie perpendiculaire en admettant une tolérance angulaire de quelques degrés, de préférence inférieure à 10° ou 5° ou 1° .

- [0029] L'échantillon peut comporter des particules transparentes, dont on souhaite évaluer une distribution spatiale dans l'échantillon. Il peut par exemple s'agir de particules biologiques, telles que des cellules, par exemple de type globule blanc, ou des microorganismes. L'échantillon peut être liquide, auquel cas la lame transparente 22 forme le fond d'une chambre fluidique.
- [0030] De préférence, l'échantillon ne comporte pas d'agents de marquage colorés ou fluorescents, destinés à se fixer sur un type de particule prédéterminé. L'observation de l'échantillon est ainsi non destructive.
- [0031] La lame 22 est transparente vis-à-vis de l'onde lumineuse incidente 11. Lorsque la longueur d'onde d'émission se situe dans l'infra-rouge, la lame 22 peut comprendre ou être constituée de matériaux tels le silicium, le germanium, le fluorure de calcium (CaF_2), le fluorure de baryum (BaF_2). De préférence, la lame transparente 22 comporte un revêtement antireflet.
- [0032] L'échantillon est essentiellement transparent, ou translucide, vis-à-vis de l'onde lumineuse incidente. Par essentiellement transparent, il est entendu que l'échantillon n'absorbe qu'une faible partie de l'onde lumineuse incidente 11. L'échantillon comporte des objets microscopiques de type cellules ou microorganismes qui diffusent ou diffractent l'onde lumineuse incidente 11, ce qui forme une onde lumineuse déviée 14. L'absorption de l'onde lumineuse incidente 11 par l'échantillon est faible, typiquement inférieure à 50 %, voire à 10%. L'effet principal de l'échantillon sur l'onde lumineuse incidente est une déviation, par diffusion, ou un déphasage. Le déphasage est induit par une variation de l'indice de réfraction des objets microscopiques par rapport au reste de l'échantillon, ainsi que par l'épaisseur desdits objets microscopiques.
- [0033] Sur la [Fig.1A], on a représenté une onde lumineuse 12 transmise par l'échantillon, ainsi qu'une onde lumineuse 14 résultant de la diffusion et/ou de la réfraction de l'onde lumineuse incidente 11 par des particules contenues dans l'échantillon. Par onde lumineuse transmise, on entend une onde lumineuse se propageant, en aval de l'échantillon, selon la même direction de propagation qu'en amont de l'échantillon, en l'occurrence selon l'axe Z.
- [0034] La distance Δ entre la source de lumière et l'échantillon, selon l'axe Z, est de préférence supérieure à 1 cm. Elle est de préférence comprise entre 2 et 30 cm. De préférence, la lumière parvient à l'échantillon sous la forme d'ondes planes, ou pouvant être considérées comme telles.
- [0035] La source de lumière 10 est de préférence une source laser. Il peut notamment s'agir d'une source laser accordable en longueur d'onde, par exemple un laser QCL,

acronyme de Quantum Cascade Laser, signifiant laser à cascade quantique, en particulier un laser à cavité externe. La largeur de la bande spectrale d'émission de la source de lumière est de préférence inférieure à 50 nm, voire à 10 nm, voire à 5 nm. Une source de lumière peut comporter plusieurs sources laser élémentaires QCL, émettant respectivement dans différentes bandes spectrales.

- [0036] Le dispositif comporte un réseau 30 de microlentilles, comportant plusieurs lentilles convergentes 31. Dans cet exemple, le réseau 30 est une matrice de microlentilles 31 agencées régulièrement. Dans l'exemple représenté sur la [Fig.1A], chaque lentille est délimitée par une surface externe 33, hémisphérique. Le terme microlentille désigne une lentille dont le diamètre ou la plus grande diagonale est inférieure à 1 mm voire à 100 μm . De façon usuelle, le diamètre ou la diagonale de chaque microlentille mesure quelques dizaines de μm .
- [0037] Le dispositif comporte un capteur d'image 35, comportant des pixels 36. Selon la direction de propagation de l'onde lumineuse émise par la source de lumière, chaque pixel est aligné par rapport à une microlentille convergente 31. Ainsi, chaque pixel 36 est associé à la microlentille 31 avec laquelle il est aligné. Dans cet exemple, le capteur d'image 35 est formé par une matrice de bolomètres, chaque bolomètre de la matrice présentant une bande spectrale de détection dans l'infra-rouge. Chaque bolomètre forme un pixel 36. Dans les exemples décrits par la suite, chaque pixel est formé par un bolomètre encapsulé sous vide. De préférence, la source de lumière 11 est configurée de façon que l'échantillon soit éclairé par un faisceau lumineux relativement homogène en intensité sur la largeur de l'échantillon analysé (i.e. la taille de la matrice de pixels).
- [0038] Selon une variante, le capteur d'image 35 peut être une matrice de pixels CMOS, lorsque la longueur d'onde d'émission se situe dans le domaine visible. Il peut également s'agir d'une matrice de pixels infrarouge refroidis, élaborés à partir de HgCdTe ou des semi-conducteurs InGaAs ou des semi-conducteurs III-V.
- [0039] Quel que soit le capteur d'image, le pas p entre deux pixels adjacents est de préférence inférieur à 100 μm , voire à 500 μm . Il peut être de l'ordre de quelques dizaines de μm ou de 1 μm .
- [0040] Chaque microlentille 31 définit un foyer image et un axe optique A. L'axe optique A de chaque microlentille est parallèle à l'axe de propagation Z de l'onde lumineuse 11. Sous l'effet d'une exposition à l'onde lumineuse 12 transmise par l'échantillon, se propageant parallèlement à l'axe de propagation Z, chaque microlentille focalise l'onde lumineuse 12 vers son foyer image. La focalisation forme une onde convergente 13 définissant un cône de lumière, dont le point de convergence correspond au foyer image de la microlentille 31.
- [0041] Le dispositif 1 comporte, au niveau de chaque foyer image, un élément atténuant 32.

Par « au niveau de chaque foyer image », on entend que l'élément atténuant est disposé soit sur le foyer image, soit en amont ou en aval du foyer image, la distance entre l'élément atténuant 32 et le foyer image étant faible, typiquement inférieure à 1 mm, voire inférieure à 500 μm ou à 100 μm . Chaque élément atténuant 32 est destiné à bloquer ou à atténuer la lumière 13 se propageant vers ou depuis le foyer image de chaque microlentille.

[0042] De préférence, les éléments atténuants 32 sont coplanaires, et appartiennent à un même plan focal P. Le plan focal P est de préférence perpendiculaire (ou sensiblement perpendiculaire) à l'axe de propagation Z. Dans le plan focal P, la dimension de chaque élément atténuant 32 correspond à la dimension du cône de lumière 13 formé par chaque microlentille 31. Notons que chaque masque peut être légèrement décalé par rapport au plan focal, sous réserve de masquer l'onde lumineuse convergente 13 formée par chaque microlentille 31. La dimension de chaque élément atténuant est par exemple inférieure à 2 ou 3 fois la longueur d'onde d'émission. Elle est de préférence inférieure ou égale à la longueur d'onde d'émission.

[0043] Dans l'exemple représenté sur la [Fig.1A], chaque élément atténuant 32 est un masque opaque à la longueur d'onde d'émission. Chaque masque peut être formé d'un métal de type Titane ou TiN (nitrure de Titane) ou Or. L'épaisseur de chaque masque peut être comprise entre quelques dizaines de nm et quelques μm .

[0044] La fonction du masque 32 est d'absorber la lumière émise par la source de lumière puis transmise par l'échantillon avant d'être focalisée par une microlentille. Ainsi, la lumière n'ayant pas interagi dans l'échantillon est bloquée. L'image formée par le capteur d'image est une image acquise en fond sombre. Les rayons 14 diffusés par l'échantillon, puis réfractés par une microlentille, se propagent en dehors des éléments atténuants 32 et atteignent le capteur d'image 35. Ainsi, l'image formée par le capteur d'image correspond aux ondes lumineuses 14 déviées et éventuellement déphasées par l'échantillon 20, selon les principes de la strioscopie. L'image formée par le capteur d'image comporte des points lumineux, chaque point lumineux correspondant à une particule diffusante de l'échantillon.

[0045] Dans l'exemple représenté sur la [Fig.1A], la matrice 30 de microlentilles est une matrice de type SIL (Solid Immersion Lens – lentille à immersion solide) : chaque microlentille 31 est disposée au contact d'une lame support 33, transparente. La lame support 33 s'étend entre chaque microlentille 31 et une face inférieure 33_i. La face inférieure 33_i comprend le plan focal P de chaque microlentille. Les masques 32 sont disposés sur la face inférieure 33_i de la lame support 33.

[0046] La face inférieure 33_i de la lame support 33 peut être recouverte par une couche antireflet. Les masques sont soit déposés sur la couche antireflet, soit intégrés dans cette dernière.

- [0047] Les masques 32 peuvent être déposés, sur la face inférieure 33_i, par photolithographie ou par impression.
- [0048] Les pixels 36 du capteur d'image 35 sont de préférence alignés selon un plan de détection P'. Le plan de détection P' est parallèle ou sensiblement parallèle au plan focal P. Par sensiblement parallèle, on entend parallèle à une tolérance angulaire près, inférieure à 10°, de préférence 5° ou 1°.
- [0049] La distance δ entre l'échantillon 20 et la matrice de lentille 30 est de préférence inférieure à 1 cm, et de préférence inférieure à 1 mm ou à 500 μm . La distance d entre la matrice de microlentilles 30 et le capteur d'image 35 est de préférence inférieure à 1 mm ou à 500 μm . Selon une possibilité, les éléments atténuants 32 sont au contact du capteur d'image 35, en étant disposés à l'interface entre le capteur d'image 35 et la matrice de microlentilles 30.
- [0050] Quel que soit le mode de réalisation, il est préférable que l'échantillon 20 soit disposé le plus proche possible du capteur d'image. Toutefois, il est avantageux de maintenir une distance δ non nulle, de façon à éviter une transmission d'ondes évanescentes au niveau de la surface externe amont 33_s de la matrice de microlentilles. Par « surface externe amont », on entend la surface des microlentilles la plus proche de l'échantillon 20.
- [0051] La surface externe amont 33_s est structurée pour permettre une focalisation de l'onde lumineuse 12 transmise par l'échantillon, se propageant parallèlement à l'axe de propagation Z. Dans l'exemple représenté sur la [Fig.1A], la surface externe amont 33_s comporte des parties courbes, par exemple hémisphériques, formant des microlentilles convergentes. Selon un autre mode de réalisation, représenté sur la [Fig.2], la surface externe amont 33_s est micro-structurée, de façon à former des microlentilles convergentes.
- [0052] La figure 1B montre un exemple de dimensionnement d'une matrice de microlentilles. L'épaisseur maximale F' de la lame support 33, mesurée selon l'axe Z entre le sommet des microlentilles et la face inférieure 33_i, correspond à la distance focale de chaque microlentille 31. Le rayon de courbure de chaque microlentille 31 est désigné par r . L'épaisseur de chaque microlentille est désignée h et est mesurée selon l'axe Z entre son sommet et une zone plane 33_f de la face supérieure 33_s de la lame support. La demi-largeur de chaque microlentille selon l'axe X est désignée a .
- [0053]
$$r = \frac{h^2 + a^2}{2h} \quad (1)$$
- [0054] Lorsque la microlentille est hémisphérique, $h = a$ et $r = a$.
- [0055] L'épaisseur minimale F de la lame support 33 correspond à l'épaisseur de la lame entre la zone plane 33_f de la face supérieure 33_s de la lame support et la face inférieure 33_i de la lame support, mesurée selon l'axe Z. Si l'indice du matériau formant la mi-

cro-lentille est n , et si l'indice du milieu extérieur est égal à 1 (le milieu extérieur étant de l'air), alors

[0056]
$$F = \frac{hK}{n-1} \quad (2)$$

[0057] et

[0058]
$$F' = F - h \quad (3)$$

[0059] Le diamètre Φ_2 de chaque masque 32, dans le plan focal, correspond au diamètre d'une tache d'Airy, qui correspond à la tache principale de diffraction.

[0060]
$$\Phi_2 = \frac{2.44\lambda F}{n \times \Phi_1} \quad (4)$$

[0061] où

[0062] Φ_1 est le diamètre de la microlentille et λ est la longueur d'onde d'émission.

[0063] Lorsque la microlentille est hémisphérique, $r = a = h$ et $\Phi_1 = 2a = 2r$

[0064] et
$$\Phi_2 = \frac{1.22\lambda}{n-1} \quad (5)$$

[0065] Si le pas p entre deux pixels adjacents est de 35 μm , en considérant des microlentilles en silicium ($n = 3.4$), et que $h = 5 \mu\text{m}$, $a = 15 \mu\text{m}$, $\Phi_1 = 30 \mu\text{m}$, la mise en œuvre des équations précédentes conduit à : $r = 25 \mu\text{m}$, $F' = 35 \mu\text{m}$, $F = 30 \mu\text{m}$.

[0066] En considérant $\lambda = 5 \mu\text{m}$, on obtient $\Phi_2 = 4.2 \mu\text{m}$. En considérant $\lambda = 10 \mu\text{m}$, on obtient $\Phi_2 = 8.4 \mu\text{m}$. Ainsi, le diamètre de chaque élément atténuant 32 est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, en étant de préférence inférieur à cette dernière.

[0067] En prenant en compte une forme hémisphérique des microlentilles ($h = a = 15 \mu\text{m}$), $F = 21 \mu\text{m}$ et $\Phi_2 = 2.54 \mu\text{m}$ ($\lambda = 5 \mu\text{m}$) ou $\Phi_2 = 5.08 \mu\text{m}$ ($\lambda = 10 \mu\text{m}$).

[0068] La [Fig.2] montre une configuration selon laquelle chaque microlentille 31 a une surface microstructurée pour permettre une focalisation, vers un point focal image, de l'onde lumineuse 12 se propageant, en amont de la lentille, parallèlement à l'axe de propagation Z. La lentille 31 est alors formée d'une couche 34 comportant une alternance de matériaux présentant des indices de réfraction différents. Selon la possibilité représentée sur la [Fig.2], la couche 34 comporte une microstructure formant une lentille de Fresnel discrétisée, symétrique par rapport à un axe optique A. D'autres types de réseaux de diffraction peuvent être envisagés, de tels réseaux étant formés d'une alternance périodique de matériaux présentant des indices de réfraction différents.

[0069] La [Fig.3] représente un mode de réalisation dans lequel les éléments atténuants 32 sont disposés sur chaque pixel, en étant de préférence centrés par rapport à l'axe optique A d'une microlentille 31 et par rapport à un pixel 36.

[0070] Selon une variante, les éléments atténuants sont disposés sur un support, distinct de la matrice 30 de microlentilles 31 et du capteur d'image 35. La distance entre les éléments atténuants et le capteur d'image peut être ajustable.

[0071] Dans les exemples représentés sur les figures 1A, 1B, 2 et 3, chaque élément atténuant est un masque opaque. Sur la figure 4, on a représenté un mode de réalisation dans lequel chaque élément atténuant 32' est transparent et est configuré pour produire un déphasage. Le déphasage est préférentiellement de $\frac{\pi}{2}$ (ou de $k\frac{\pi}{2}$, k étant un entier impair) d'une onde lumineuse le traversant, de façon analogue à une lame quart d'onde. Chaque élément atténuant 32' est un élément déphasant. Si n' est l'indice de réfraction d'un élément atténuant 32', l'épaisseur t de l'élément atténuant, selon l'axe de propagation Z, est telle que :

$$[0072] \quad t = \frac{\lambda}{4(n'-n_{\text{ext}})} \quad (6) \text{ avec } n' > n_{\text{ext}}$$

[0073] où n_{ext} est l'indice de réfraction du milieu extérieur à l'élément atténuant 32'.

[0074] Par exemple, si chaque élément atténuant 32' est formé du même matériau que la lame support 33 et que les microlentilles 31, par exemple du silicium ($n = n' = 3.4$), $t = 520$ nm.

[0075] Selon ce mode de réalisation, l'onde convergente 13 réfractée par chaque microlentille 31 est déphasée de $\frac{\pi}{2}$. Dans ce mode de réalisation, les défauts de phase introduits par l'échantillon se traduisent par des variations relatives de l'éclairement du capteur d'image. Ces variations sont en outre sensibles au signe du déphasage de la lumière par l'échantillon. Ce mode de réalisation permet un contraste d'image amélioré par rapport au premier mode de réalisation.

[0076] Sur la configuration représentée sur la [Fig.4], chaque élément déphasant 32 est obtenu par apport de matière sur la face inférieure 33_i de la lame support 33.

[0077] La [Fig.5] représente une variante du mode de réalisation décrit en lien avec la [Fig.4]. Selon ce mode de réalisation, chaque élément déphasant 32' est obtenu par retrait de matière de la face inférieure 33_i de la lame support 33. L'indice de chaque élément déphasant est donc l'indice du milieu extérieur, par exemple de l'air. Dans ce cas, l'épaisseur t d'un élément 32', selon l'axe de propagation Z, est telle que :

$$[0078] \quad t = \frac{\lambda}{4(n-n_{\text{ext}})} \quad (7) \text{ avec } n > n_{\text{ext}}, \text{ où } n \text{ est l'indice de réfraction de la lame support 33.}$$

[0079] Bien que décrit en lien avec une source de lumière émettant dans le domaine spectral infra-rouge, l'invention peut être mise en œuvre dans le domaine spectral visible ou UV.

[0080] D'une façon générale, chaque élément déphasant 32' est formé par ajout d'un premier matériau sur une couche support (33) formée d'un deuxième matériau (cf. [Fig.4], le premier matériau étant Si, qui est également le deuxième matériau), ou par inclusion d'un premier matériau dans la couche support (cf. [Fig.5], le premier matériau étant de l'air)

[0081] L'invention pourra être mise en œuvre pour l'observation d'échantillons essentiellement transparents, comportant des particules transparentes ou pouvant être

considérées comme telles. Elle peut trouver des applications dans le domaine des échantillons biologiques, mais également ainsi que dans d'autres domaines industriels, par exemple le contrôle d'échantillons dans l'environnement ou dans l'industrie agroalimentaire. Elle s'applique aussi bien à des échantillons liquides que solides.

Revendications

[Revendication 1]

Dispositif (1) d'observation d'un échantillon, comportant

- une source de lumière (10), configurée pour émettre une onde lumineuse (11) selon une direction de propagation (Z), selon une longueur d'onde d'émission ;
- un capteur d'image (35), comportant plusieurs pixels (36);
- une pluralité (30) de microlentilles (31) convergentes, chaque microlentille étant disposée face à un pixel, chaque microlentille comportant un foyer image, chaque microlentille étant configurée pour former, à partir d'ondes lumineuses issues de la source de lumière, se propageant parallèlement à la direction de propagation, un faisceau d'ondes lumineuses (13) convergeant vers le foyer image de ladite microlentille ;
- le dispositif étant configuré pour maintenir l'échantillon (20) entre la source de lumière et la matrice de microlentilles ;
- le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs éléments atténuants (32, 32'), chaque élément atténuant étant associé à une microlentille et à un pixel, chaque élément atténuant étant configuré pour atténuer les ondes lumineuses convergeant vers le foyer image de la lentille à laquelle il est associé, et en ce que :
 - chaque élément atténuant est :
 - soit un masque opaque (32) à la longueur d'onde d'émission ;
 - soit un élément déphasant (32'), formé d'un matériau transparent agencé pour induire un déphasage, le déphasage étant déterminé par rapport à une onde lumineuse se propageant en l'absence de l'élément atténuant ;
 - chaque élément atténuant s'étend entre la microlentille et le pixel auxquels il est associé ;

de façon que chaque élément atténuant atténue chaque onde lumineuse (13) se propageant vers ou depuis le foyer image d'une microlentille.

[Revendication 2]

Dispositif selon la revendication 1 dans lequel

- les pixels sont coplanaires, et répartis selon un plan de

détection ;

- les foyers image respectifs de chaque microlentille sont coplanaires, et forment un plan focal (P), parallèle au plan de détection ;
- les éléments atténuants (32, 32') s'étendent dans le plan focal ou dans un plan parallèle au plan focal.

[Revendication 3] Dispositif selon la revendication 2 dans lequel les éléments atténuants s'étendent dans un plan parallèle au plan focal, ledit plan parallèle étant disposé à une distance inférieure à 1 mm du plan focal.

[Revendication 4] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel

- les pixels sont coplanaires, et répartis selon un plan de détection ;
- chaque élément atténuant s'étend, parallèlement au plan de détection, avec une diagonale ou un plus grand diamètre inférieur à 2 fois la longueur d'onde d'émission.

[Revendication 5] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque élément atténuant (32) est un masque opaque, à la longueur d'onde d'émission.

[Revendication 6] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel

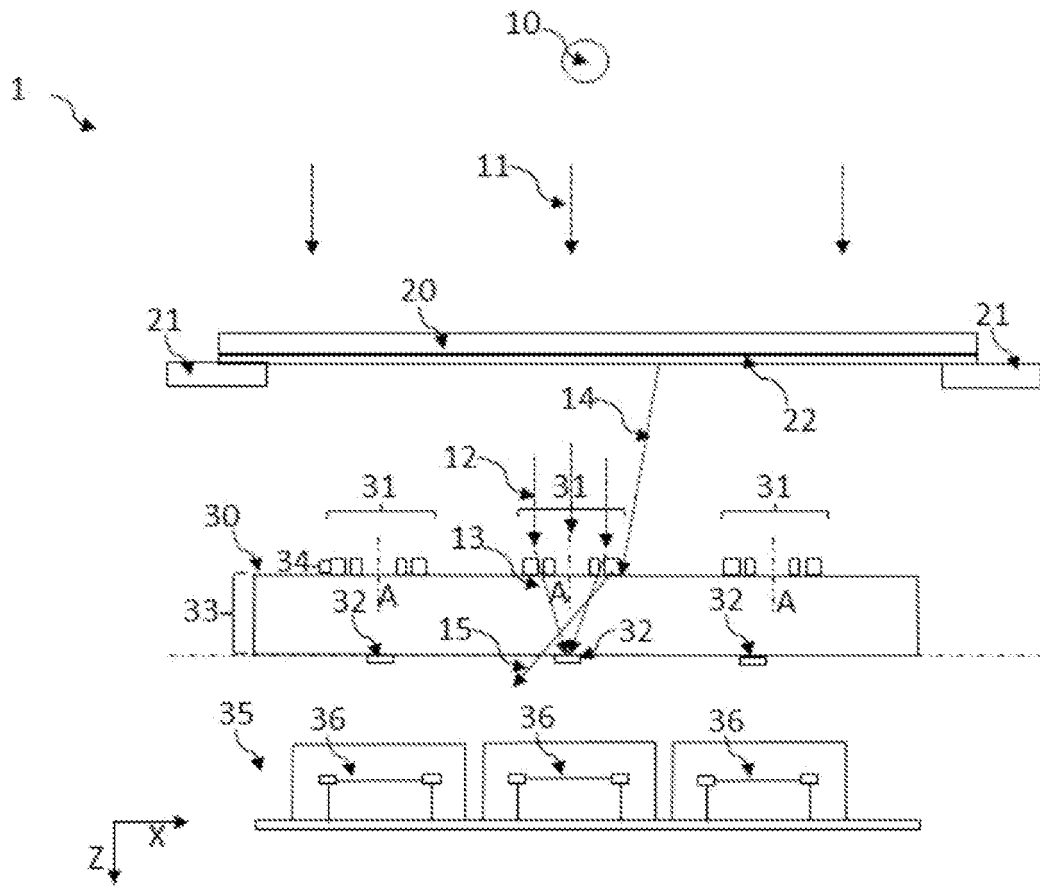
- chaque élément atténuant est un élément déphasant (32');
- le déphasage engendré par chaque élément déphasant est du quart de la longueur d'onde d'émission, ou d'un multiple impair du quart de la longueur d'onde d'émission.

[Revendication 7] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel

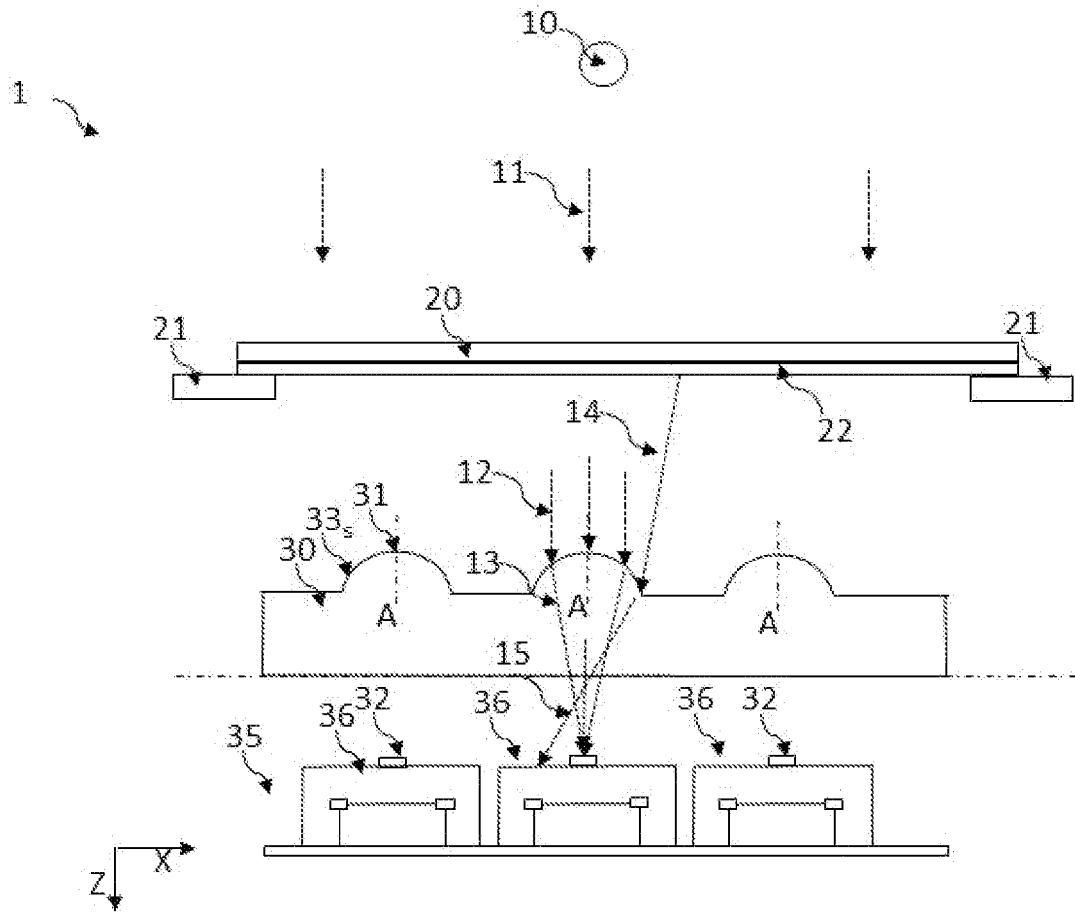
- chaque élément atténuant est un élément déphasant (32');
- chaque élément atténuant est formé d'une inclusion d'un premier matériau dans ou sur une couche support (33) formée d'un deuxième matériau.

- [Revendication 8] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque élément atténuant est solidaire d'une couche support (33), la couche support étant solidaire de la pluralité de microlentilles ou disposée à distance de la pluralité de microlentilles.
- [Revendication 9] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque élément atténuant (32, 32') est solidaire du capteur d'image.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la longueur d'onde d'émission est comprise entre 800 nm et 15 μm .
- [Revendication 11] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :
- la distance entre l'échantillon et la pluralité de microlentilles est inférieure à 1 mm ou à 500 μm ;
 - et/ou la distance entre la pluralité de microlentilles et le capteur d'image est inférieure à 1 mm ou à 500 μm ;
 - et/ou la distance entre l'échantillon et le capteur d'image est inférieure à 1 mm.

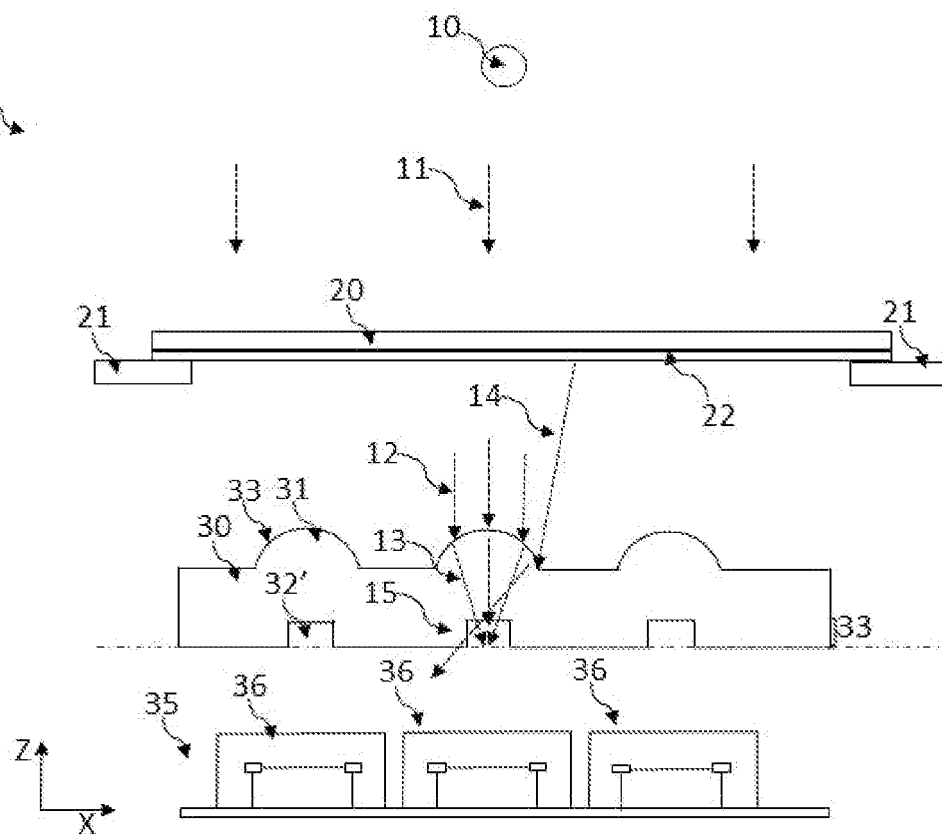
[Fig. 2]

**Fig. 2**

[Fig. 3]

**Fig. 3**

[Fig. 5]

**Fig. 5**

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 2013/084598 A1 (MOY JEAN-PIERRE [FR] ET AL) 4 avril 2013 (2013-04-04)

DE 196 24 421 A1 (ZEISS CARL FA [DE])
2 janvier 1997 (1997-01-02)

US 2004/057110 A1 (ADACHI MASAYA [JP] ET AL) 25 mars 2004 (2004-03-25)

US 2021/262927 A1 (COUTARD JEAN-GUILLAUME [FR] ET AL) 26 août 2021 (2021-08-26)

EP 3 722 861 A1 (NAGAYAMA KUNIAKI [JP])
14 octobre 2020 (2020-10-14)

CN 108 333 790 A (ULTRA HIGH SPEED
AERODYNAMICS INST CHINA AERODYNAMICS RES &
DEVELOPMEN) 27 juillet 2018 (2018-07-27)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT