

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2009/127794 A1**

(43) Date de la publication internationale  
22 octobre 2009 (22.10.2009)

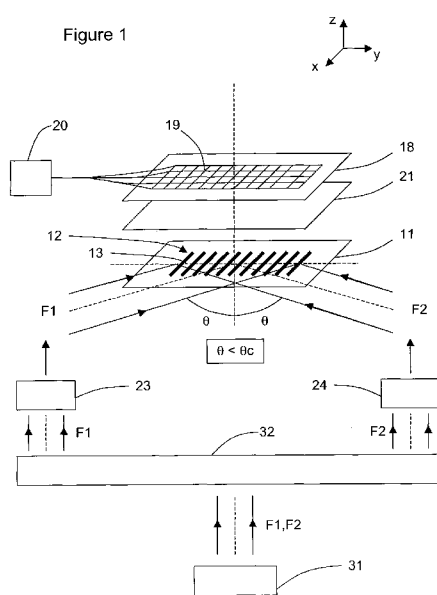
PCT

- (51) Classification internationale des brevets :  
G01J 3/02 (2006.01) G01J 3/28 (2006.01)  
G01J 3/453 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2009/000279
- (22) Date de dépôt international :  
17 mars 2009 (17.03.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
08/01756 31 mars 2008 (31.03.2008) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE TROYES  
[FR/FR]; 12, rue Marie Curie, BP 2060, F-10010  
TROYES CEDEX (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : HADJAR,  
Yassine [FR/FR]; 16 rue de la Convention, F-75015 Paris  
(FR). BLAIZE, Sylvain [FR/FR]; 11 rue Corrad de  
Brebant, F-10000 TROYES (FR). BRUYANT, Aurélien  
[FR/FR]; 12 rue des Ecrevolles, F-10000 TROYES (FR).  
LÉRONDEL, Gilles [FR/FR]; 1 avenue des Sapins,  
F-10800 SAINT JULIEN LES VILLAS (FR). ROYER,
- Pascal [FR/FR]; 1 rue des cordeliers, F-10000 TROYES  
(FR).
- (74) Mandataire : NOVAGRAAF IP; 122 rue Edouard  
Vaillant, F-92593 Levallois-Perret Cedex (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, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,  
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), européen (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, SE, SI, SK, TR),  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : COMPACT SPECTROMETER FOR TWO-DIMENSIONAL SAMPLING

(54) Titre : SPECTROMÈTRE COMPACT A ECHANTILLONAGE BIDIMENSIONNEL



(57) Abstract : The present invention relates to a spectrometer including a diaphragm (11); a recording means (15, 18) for recording, at said diaphragm (11), an interferogram (12) formed from two interference beams (F1, F2) and forming interference lines (13) along the transverse axis (Ox) of the interferogram (12) in the plane (xOy) of the diaphragm (11), said recording means (15, 18) including a network (18) of detection elements (19) so arranged to detect the spatial distribution of said interferogram (12); and is characterized in that said network (18) of detection elements (19) is two-dimensional, wherein at least one portion of said recording means (15, 18) and said interferogram (12) are angled into each other along the transverse axis (Ox) of the interferogram (12). The present invention also relates to a spectroscopic imaging device, including a means for emitting two interference beams (F1, F2), and to such a spectrometer.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un spectromètre comprenant un diaphragme (11), des moyens de capture (15,18) au niveau dudit diaphragme (11) d'un interférogramme (12) issu de deux faisceaux d'interférence (F1,F2) et formant des lignes d'interférence (13) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12) appartenant au plan (xOy) du diaphragme (11), lesdits moyens de capture (15,18) comprenant un réseau (18) d'éléments de détection (19) agencé pour détecter la répartition spatiale dudit interférogramme (12), caractérisé en ce que ledit réseau (18) d'éléments de détection (19) est bidimensionnel et en ce qu'au moins une partie desdits moyens de capture (15,18) et ledit interférogramme (12) sont inclinés l'un par rapport à l'autre suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme

(12). La présente invention concerne également un dispositif d'imagerie spectroscopique comprenant des moyens d'émission de deux faisceaux d'interférence (F1,F2) et un tel spectromètre.

WO 2009/127794 A1

**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 reçues (règle 48.2.h)

## **SPECTROMETRE COMPACT A ECHANTILLONAGE BIDIMENSIONNEL**

### **DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention se rapporte au domaine des spectromètres à Transformée de Fourier.

L'invention se rapporte plus particulièrement à un spectromètre comprenant un dioptre, des moyens de capture au niveau dudit dioptre d'un interférogramme issu de deux faisceaux d'interférence et formant des lignes d'interférence suivant l'axe transversal de l'interférogramme appartenant au plan du dioptre, lesdits moyens de capture comprenant un réseau d'éléments de détection agencé pour détecter la répartition spatiale dudit interférogramme.

### **ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Plusieurs types de capteurs spectroscopiques, en particulier à transformée de Fourier, sont connus de l'état de la technique.

Un spectromètre à deux dimensions en optique intégrée est connu de la demande de brevet FR 2,889,587. Dans cette demande, les deux faisceaux d'interférence sont deux ondes contra-propagatives introduites dans un guide d'onde. Des moyens d'échantillonnage sous la forme par exemple de plots nanométriques positionnés le long du guide d'onde permettent un échantillonnage spatial des ondes évanescentes issues de ce champ d'interférence. Le capteur est monodimensionnel et permet de capter les lignes d'interférence de l'interférogramme sur toute leur largeur, ce qui rend possible le contrôle de la résolution du capteur.

L'inconvénient de la solution décrite dans cette demande réside dans la limitation de la bande spectrale d'analyse du capteur. Cette limitation est due à l'écartement entre les plots nanométriques qui ne peut descendre en dessous d'une certaine valeur. En

effet, en dessous de cette valeur, des problèmes de diffraction de la lumière empêchent des mesures satisfaisantes par le spectromètre. Le système décrit ne permet alors pas de reconstituer, par transformée de Fourier inverse, la totalité du spectre puisque l'interférogramme est sous-échantillonné, par perte des  
5 composantes de haute fréquence.

Egalement, une solution complémentaire de celle décrite ci-dessus consiste à utiliser un élément optique, en particulier une lentille de projection, afin d'agrandir la dimension de l'interférogramme – et donc des lignes d'interférence – au niveau du  
10 capteur. Pour cela, l'interférogramme est projeté sur un écran par conjugaison avec la lentille. Il est ainsi possible de régler la résolution via le grandissement de la lentille, de façon à sur-échantillonner l'interférogramme. Dès lors, la limitation de la bande spectrale par les effets de diffraction de la lumière sont diminués.

15 Cette solution implique cependant de disposer une lentille entre le capteur et le dioptré et d'éloigner le capteur de manière significative. Par conséquent, un tel spectromètre est extrêmement volumineux.

Enfin, des capteurs spectroscopiques compacts sont connus de la demande de  
20 brevet US 2002/0075483. Dans cette demande, des ondes stationnaires sont échantillonnées par un capteur ultra-fin constitué d'une membrane en vibration. Un miroir disposé en aval du capteur reflète la lumière issu d'un faisceau lumineux et ayant traversé le capteur de sorte à ce qu'elle se superpose avec celle issu du même faisceau lumineux et arrivant sur ce capteur. L'interférogramme est alors situé dans  
25 le plan central de la membrane. Cette dernière vibre de sorte à balayer au moins une partie de l'interférogramme, ce qui permet d'augmenter la résolution spectrale.

L'inconvénient de cette solution réside néanmoins dans la limitation d'amplitude de vibration de la membrane. Cette limitation est due à la nécessaire courbure de la  
30 membrane au-delà d'une certaine amplitude de vibration, ce qui fausse la mesure spectrale de manière significative. Or, puisque c'est l'amplitude de vibration qui détermine la résolution, il apparaît qu'un tel spectromètre est limité en résolution

spectrale.

D'autres solutions existent enfin pour réaliser un capteur spectroscopique compact, en particulier des capteurs à dispersion par réseau de Bragg ou des interféromètres  
5 de Michelson stationnaires et dynamiques. Néanmoins, ces capteurs ne permettent pas d'obtenir une haute résolution sans nécessairement être limités en termes de bande spectrale d'analyse ou être volumineux.

Ainsi toutes les solutions de l'état de la technique impliquent un nécessaire  
10 compromis entre, d'un côté, la résolution spectrale et, d'un autre côté, la bande spectrale d'analyse et la compacité.

## **OBJET DE L'INVENTION**

15 Le but de la présente invention est de remédier aux inconvénients des capteurs selon l'état de la technique, en proposant un spectromètre compact, large bande spectrale et haute résolution spectrale. L'invention vise à cet effet la suppression d'un compromis entre la bande spectrale et la résolution spectrale, tout en assurant une certaine compacité du spectromètre.

20 Dans ce but, l'invention propose que le réseau d'éléments de détection soit bidimensionnel, et qu'au moins une partie desdits moyens de capture et l'interférogramme soient inclinés l'un par rapport à l'autre suivant l'axe transversal de l'interférogramme.

25 Cette inclinaison peut être obtenue de deux manières différentes : soit en inclinant physiquement une partie des moyens de capture par rapport au plan du dioptre, soit en inclinant l'interférogramme via un moyen de retard de phase bidimensionnel. Une combinaison de ces deux manières de procéder peut également être envisagée.

30 Il est connu qu'un interférogramme issu de deux faisceaux d'incidence contra-propagatifs donne lieu à un ensemble de lignes d'interférence parallèles entre elles.

De plus, cet interférogamme est invariant suivant l'axe des lignes. L'inclinaison de l'interférogamme par rapport à une partie au moins des moyens de capture permet de décaler entre elles plusieurs lignes du réseau de détecteurs, par rapport aux lignes d'interférence de l'interférogamme, ceci tout en maintenant la distance entre  
5 chaque élément de détection. Dans ces conditions, chaque ligne décalée apporte une information complémentaire par rapport à celles obtenues par les autres lignes. Le pas d'échantillonnage n'est alors plus l'espacement entre les éléments de détection, mais le décalage de ces éléments d'une ligne à l'autre, et par conséquent il est possible de sur-échantillonner de façon à obtenir une haute résolution spectrale  
10 tout en disposant d'une bande spectrale élargie.

Dans un mode de réalisation visant à incliner l'interférogamme par rapport au plan du dioptre, le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux faisceaux  
15 d'interférence afin d'incliner l'interférogamme par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de l'interférogamme. Ainsi l'interférogamme est incliné par rapport à une partie au moins des moyens de capture, ce qui permet d'obtenir l'avantage procuré par l'invention.

20 Dans un mode de réalisation visant à régler la position de l'interférogamme au niveau du dioptre, le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase monodimensionnel agencé pour retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence de sorte à déplacer la position du centre de l'interférogamme suivant l'axe transversal de l'interférogamme.

25 Afin d'obtenir en sortie du spectromètre la discrimination du spectre de la lumière dont sont issus les deux faisceaux d'interférence, le spectromètre comprend des moyens de calcul reliés au moins en partie au réseau bidimensionnel d'éléments de détection pour le traitement des données expérimentales mesurées par au moins  
30 une partie des élément de détection et la reconstitution de la distribution spectrale d'au moins l'un des deux faisceaux d'interférence.

Selon un mode de réalisation particulier, chaque élément de détection est un élément transducteur. Un type d'élément transducteur particulier peut être un pixel, par exemple d'un capteur CCD ou CMOS.

- 5 Deux types de configurations sont possible en fonction des angles d'incidence des deux faisceaux d'incidence. Dans la première configuration, dite « champ sombre », l'angle d'incidence de chacun des deux faisceaux d'interférence sur le plan du dioptre est inférieur à l'angle critique de réflexion totale. Dans la seconde configuration, dite « ondes évanescentes », l'angle d'incidence de chacun des deux faisceaux
- 10 d'interférence sur le plan du dioptre est supérieur à l'angle critique de réflexion totale.

Dans le cas où l'angle d'incidence de chacun des deux faisceaux d'interférence sur le plan du dioptre est inférieur à l'angle critique de réflexion totale, c'est-à-dire en configuration dite « champ sombre », le réseau bidimensionnel d'éléments de

15 détection est incliné par rapport à l'interférogramme suivant l'axe transversal de l'interférogramme. L'interférogramme est ainsi disposé sur le réseau bidimensionnel d'éléments de détection et l'inclinaison permet de réaliser un sur-échantillonnage de sorte que la résolution soit inférieure au quart de l'interfrange de l'interférogramme.

- 20 Selon un premier mode de réalisation de la configuration « champ sombre », le réseau bidimensionnel d'éléments de détection est incliné par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de l'interférogramme. Dans ce cas, c'est l'inclinaison du réseau bidimensionnel d'éléments de détection qui permet le décalage des lignes d'éléments de détection par rapport à l'interférogramme. Il est également possible
- 25 dans ce mode de réalisation d'adjoindre au spectromètre un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence afin d'incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de l'interférogramme, à condition que l'inclinaison provoquée par ce moyen de retard bidimensionnel soit différente celle du réseau
- 30 bidimensionnel d'éléments de détection.

Suivant un deuxième mode de réalisation de la configuration « champ sombre », le

réseau bidimensionnel d'éléments de détection est parallèle au plan du dioptre et le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence afin d'incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de  
5 l'interférogramme.

Dans chacun de ces modes de réalisation en configuration « champ sombre », deux types de configuration sont possibles. Dans la première configuration, le réseau bidimensionnel d'éléments de détection est très proche du dioptre de façon à ce  
10 situer dans la zone éclairée par les deux faisceaux d'interférence. Le réseau bidimensionnel d'éléments de détection reçoit ainsi directement la lumière issue des deux faisceaux d'interférence. Il est prévu dans cette configuration que les moyens de capture comprennent également un gel d'indice disposé entre ledit réseau bidimensionnel d'éléments de détection et ledit dioptre, et au contact dudit réseau et  
15 dudit dioptre de sorte à réduire les réflexions multiples entre ledit réseau et ledit dioptre.

Dans la deuxième configuration, le réseau bidimensionnel d'éléments de détection est éloigné du dioptre de façon à ce situer dans une zone sombre non éclairée par  
20 les deux faisceaux d'interférence. Le réseau bidimensionnel d'éléments de détection ne reçoit pas ainsi la lumière issue des deux faisceaux d'interférence. Il est prévu dans cette configuration que les moyens de capture comprennent également un réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion agencés pour projeter l'interférogramme sur le réseau bidimensionnel d'éléments de détection par diffusion  
25 d'ondes propagatives.

Dans le cas où l'angle d'incidence de chacun des deux faisceaux d'interférence sur le plan du dioptre est supérieur à l'angle critique de réflexion totale, c'est-à-dire en configuration dite « ondes évanescentes », les moyens de capture comprennent  
30 également un réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion agencés pour projeter l'interférogramme sur le réseau bidimensionnel d'éléments de détection par diffusion d'ondes évanescentes, ledit réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion étant

incliné par rapport à l'interférogramme suivant l'axe transversal de l'interférogramme. Il est ainsi possible de disposer l'interférogramme sur le réseau bidimensionnel d'éléments de détection via le réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion située entre le réseau bidimensionnel d'éléments de détection et le dioptre. Cela permet  
5 alors de réaliser un sur-échantillonnage de sorte que la résolution soit inférieure au quart de l'interfrange de l'interférogramme.

Suivant un premier mode de réalisation de la configuration « ondes évanescentes », le réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion est incliné par rapport au plan du  
10 dioptre suivant l'axe transversal de l'interférogramme. Dans ce cas, c'est l'inclinaison du réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion qui permet le décalage des lignes d'éléments de détection par rapport à l'interférogramme. Il est également possible dans ce mode de réalisation d'adjoindre au spectromètre un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux  
15 faisceaux d'interférence afin d'incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de l'interférogramme, à condition que l'inclinaison provoquée par ce moyen de retard bidimensionnel soit différente celle du réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion.

20 Suivant un deuxième mode de réalisation de la configuration « ondes évanescentes », le réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion est parallèle au plan du dioptre et le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence afin d'incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptre suivant l'axe transversal de  
25 l'interférogramme.

Dans chacun de ces modes de réalisation de la configuration « ondes évanescentes », il est possible de prévoir que le réseau bidimensionnel d'éléments de détection soit incliné par rapport au réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion  
30 suivant l'axe transversal de l'interférogramme.

Toujours dans ces modes de réalisation de la configuration « ondes évanescentes »,

il est également possible de prévoir que le réseau bidimensionnel d'éléments de détection soit parallèle au réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion.

5 De manière avantageuse, chaque élément de détection est superposé à un élément de diffusion par projection suivant l'axe orthogonal au plan du dioptre. Une telle configuration centrée des éléments de détection et de diffusion permet de mesurer exactement la projection de l'interférogramme sur chaque élément de détection sans décalage à corriger.

10 De manière avantageuse, la largeur d'au moins une partie des éléments de diffusion est très inférieure au quart de l'interfrange de l'interférogramme. Ainsi la résolution minimale, donnée par le critère de Shannon comme étant le quart de l'interfrange de l'interférogramme, n'est pas limitée par la largeur des éléments de diffusion.

15 Selon un premier mode particulier de mise en œuvre, au moins un élément de diffusion est un bâtonnet de longueur égale à la longueur d'un élément de détection.

Selon un deuxième mode particulier de mise en œuvre, au moins un élément de diffusion est un plot diffusant.

20 Selon un troisième mode particulier de mise en œuvre, au moins un élément de diffusion est un point diffusant.

25 Selon un premier mode de réalisation du spectromètre, celui-ci comprend un prisme isocèle agencé de manière à ce que le dioptre soit constitué par une partie au moins des faces arrières du prisme, et à ce que les faisceaux d'interférence arrivent sur la face avant du prisme en incidence normale de manière symétrique par rapport au plan médian de ladite face avant qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière dudit prisme. Il est ainsi possible de réaliser un spectromètre très  
30 compact où l'inclinaison de l'interférogramme par rapport au réseau bidimensionnel d'éléments de détection permet de contrôler la résolution spectrale et la bande spectrale d'analyse.

Dans un mode de réalisation visant à régler la position de l'interférogramme au niveau du dioptré, le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase monodimensionnel agencé pour retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence de sorte à déplacer la position du centre de l'interférogramme suivant l'axe transversal de l'interférogramme. Parmi ces moyens de retard de phase monodimensionnel, au moins un est disposé contre l'une des deux demi-faces avant de la face avant du prisme isocèle, chaque demi-face avant étant formée par l'intersection de la face avant avec le plan médian de ladite face avant qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière dudit prisme.

Dans un mode de réalisation visant à incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptré, le spectromètre comprend au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel agencé de sorte à retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence afin d'incliner l'interférogramme par rapport au plan du dioptré suivant l'axe transversal de l'interférogramme. Parmi ces moyens de retard de phase bidimensionnel, il peut être prévu qu'au moins un soit disposé contre l'une des deux demi-faces avant de la face avant du prisme isocèle, chaque demi-face étant formée par l'intersection de la face avant avec le plan médian de ladite face avant qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière dudit prisme. Il peut être également prévu qu'au moins un soit disposé contre l'une des deux face arrière du prisme isocèle.

Selon un deuxième mode de réalisation du spectromètre, celui-ci comprend un moyen de transduction et un prisme isocèle agencé de manière à ce que le dioptré soit constitué par une partie au moins d'une face arrière, à ce qu'un faisceau d'interférence arrive sur ledit moyen de transduction placé contre ledit dioptré en incidence normale après avoir traversé l'autre face arrière puis avoir été réfléchi sur la face avant, et à ce que l'autre faisceau d'interférence arrive directement sur ledit dioptré, sur lequel il est réfléchi du fait de la présence dudit moyen de transduction.

Dans tous ces modes de réalisation utilisant un prisme isocèle, il peut être

avantageusement prévu que ce prisme soit un prisme isocèle rectangle.

L'invention propose également un dispositif d'imagerie spectroscopique comprenant des moyens d'émission de deux faisceaux d'interférence et un spectromètre selon  
5 l'un quelconque des modes de réalisation ci-dessus.

Selon un mode particulier de mise en œuvre de ce dispositif, les moyens d'émission comprennent une source lumineuse émettant un faisceau lumineux, un moyen de  
10 séparation de ce faisceau lumineux en deux faisceaux d'interférence, et des moyens de guidage et de collimation de ces deux faisceaux d'interférence vers le dioptre de sorte à localiser l'interférogramme issu de deux faisceaux d'interférence au niveau du plan dudit dioptre.

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

15

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un exemple non limitatif de réalisation, accompagné de figures annexées représentant respectivement :

- la figure 1, un schéma de principe d'un spectromètre selon un premier mode de  
20 réalisation de l'invention en configuration dite « champ sombre »;
- la figure 2, une vue de dessus du spectromètre illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention en configuration dite « champ sombre »;
- la figure 3, un schéma de principe d'un spectromètre un premier mode de réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes »;
- 25 - la figure 4, une vue de dessus du spectromètre illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes »;
- la figure 5, une vue de dessus du spectromètre selon les premier et deuxième modes de réalisation de l'invention en configuration « ondes évanescentes »;
- la figure 6, un graphe de la répartition d'intensité mesurée par le spectromètre  
30 selon ces premier et deuxième modes de réalisation en configuration « ondes évanescentes »;
- la figure 7, une vue de dessus du spectromètre illustrant un troisième mode de

réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes »,

- la figure 8, une vue de dessus du spectromètre selon le troisième mode de réalisation de l'invention en configuration « ondes évanescentes »,

5 - la figure 9, une vue de coupe du spectromètre illustrant une première configuration permettant d'obtenir un système d'interférence par « séparation du front d'onde »,

- la figure 10, une vue de coupe du spectromètre illustrant une deuxième configuration permettant d'obtenir un système d'interférence par « séparation du front d'onde »,

10 - la figure 11, une vue de coupe du spectromètre illustrant une seconde configuration permettant d'obtenir le système d'interférence par « rétro-réflexion », et

- la figure 12, un schéma du dispositif d'imagerie spectroscopique selon l'invention.

### **EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

15 La figure 1 représente un schéma de principe d'un spectromètre un premier mode de réalisation de l'invention en configuration dite « champ sombre ».

Le spectromètre dans cette configuration comprend un dioptre 11, des moyens de capture 18, et des moyens de calcul 20.

20 Le spectromètre permet la mesure de la distribution spectrale d'une source lumineuse préalablement séparée en deux faisceaux lumineux d'interférence F1 et F2, ces deux faisceaux étant collimatés, mis en forme et projetés sur le dioptre pour former un système d'interférences, ou interférogramme.

25 Le dioptre 11 est un plan transparent situé dans le plan (xOy) et séparant deux demi-plans d'indices de réfraction différents. Il est agencé pour localiser dans son plan l'interférogramme 12 issu des deux faisceaux d'interférence F1 et F2. Les deux faisceaux F1 et F2 arrivent sur le dioptre 11 en faisant un angle  $\theta$  avec l'axe transversal (Oz) du dioptre 11. Ils forment un champ d'interférences 12 (ou interférogramme) constitués de lignes d'interférence 13 selon la direction transversale (Ox) de l'interférogramme appartenant au plan (xOy) du dioptre 11. Ces

30

lignes 13 correspondent à une succession de franges sombres et brillantes.

Les moyens de capture 18 comprennent un réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 situé dans un plan parallèle au plan du dioptre 11. Les éléments de détection 19 sont disposés de manière équidistante sur l'ensemble du réseau bidimensionnel 18. Les éléments de détection 19 sont des éléments transducteurs photosensibles aptes à détecter une partie de l'interférogramme.

Les moyens de calcul 20 sont reliés au réseau bidimensionnel 18. Plus précisément, chaque élément de détection 19 du réseau 18 est relié auxdits moyens de calcul 20. Ces moyens de calcul réalisent le traitement des données expérimentales mesurées par chaque élément de détection 19 et la reconstitution de la distribution spectrale d'au moins l'un des deux faisceaux d'interférence (F1,F2), ou de la source lumineuse à l'origine de ces deux faisceaux (F1,F2). Pour cela, les signaux électriques obtenus par le réseau 18 sont filtrés et traités numériquement pour reconstituer, par transformée de Fourier inverse, ladite distribution spectrale.

Selon un mode particulier de réalisation, un moyen de retard de phase 23 peut être disposé de sorte à être traversé par l'un des deux faisceaux d'interférence. Ce moyen de retard de phase 23 est une ligne à retard de phase. Elle est traversé par le faisceau F1 et introduit pour ce faisceau le même déphasage quelque soit le plan d'incidence ( $yOz$ ) où l'on se trouve, le déphasage étant ainsi indépendant de la composante transversale ( $Ox$ ). Cette ligne 23 permet ainsi de déplacer et de contrôler la position de la frange brillante centrale le long de l'axe ( $Oy$ ).

On définit l'angle critique  $\theta_c$  comme l'angle au-delà duquel on obtient une réflexion totale interne des faisceaux au niveau du dioptre 11. Par exemple, pour un dioptre séparant un milieu d'indice  $n=1,5$  (demi-espace inférieur) de l'air d'indice 1 (demi-espace supérieur), cet angle  $\theta_c$  vaut  $45^\circ$ . Dans ce cas particulier où l'angle d'incidence  $\theta$  est inférieur à cet angle critique  $\theta_c$ , les faisceaux d'incidence F1,F2 traversent le dioptre 11 et arrivent sur le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19. On parle alors de configuration « champ sombre ».

Selon ce premier mode de réalisation en champ sombre, le réseau bidimensionnel 18 n'est pas incliné par rapport au plan (xOy) du dioptre 11. Un moyen de retard de phase à deux dimensions 24 est disposé de sorte à être traversé par l'autre faisceau d'interférence. Ce moyen de retard de phase 24 est une ligne à retard de phase bidimensionnelle. Elle est traversée par le faisceau F2 et introduit un déphasage différent selon la direction transversale (Ox), ce déphasage pouvant être incrémental ou linéaire. Le faisceau F2 traversant la ligne à retard de phase 24 présente alors une distribution transversale de sa phase contrôlée par la structure de la ligne 24. Le moyen 24 peut être par exemple un élément transparent à gradient d'indice ou un miroir incliné. Dans les deux cas, il permet de générer une différence de marche qui augmente de manière linéaire ou par étapes selon la direction (Ox).

Le faisceau lumineux F2 passant par la ligne 24 et combiné au faisceau F1 permet d'obtenir un système de lignes d'interférence brillantes et sombres inclinées d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe (Ox).

Dans ce mode de réalisation, le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 est situé à une très faible distance du dioptre 11 de façon à se situer dans la zone éclairée par les deux faisceaux d'interférence. Les moyens de capture comprennent alors également un gel d'indice 21 situé entre le réseau bidimensionnel d'éléments de détection 19 et le dioptre, et au contact de ceux-ci. Cela permet d'éviter des réflexions multiples entre le réseau 18 et le dioptre, qui pourraient causer des lumières parasites faussant la mesure sur l'interférogramme 12.

Dans un autre mode de réalisation, le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 est éloigné du dioptre 11 de façon à se situer dans une zone sombre non éclairée par les deux faisceaux d'interférence. Les moyens de capture comprennent alors également un réseau bidimensionnel d'éléments de diffusion agencés pour projeter l'interférogramme 12 sur le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 par diffusion d'ondes propagatives.

La figure 2 représente une vue de dessus du spectromètre illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention en configuration dite « champ sombre ».

Le spectromètre selon ce mode de réalisation ne comporte pas de moyen de retard  
5 de phase 24. Le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 est incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport au plan (xOy) du dioptre 11 suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme 12. Le réseau 18 est ainsi incliné par rapport aux lignes d'interférences 13. Dans ce cas, le moyen de retard de phase 24 est rendu inutile car il n'est pas nécessaire d'incliner les lignes d'interférences.

10

Dans ces conditions, le résultat obtenu au niveau de la détection est donc le même que celui fourni par le spectromètre selon le premier mode de réalisation et illustré par la figure 1. En effet, il est équivalent d'incliner les lignes d'interférences 13 d'un angle  $\alpha$  et de maintenir le réseau 18 parallèle à l'axe transversal (Ox) de  
15 l'interférogramme 12, ou d'incliner le réseau 18 d'un angle  $\alpha$  et de maintenir les lignes d'interférences 13 parallèles à l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme 12.

La figure 3 représente un schéma de principe d'un spectromètre un premier mode de réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes ».

20

Le spectromètre dans cette configuration comprend de la même façon un dioptre 11, des moyens de capture 18, et des moyens de calcul 20.

Dans ce cas particulier où l'angle d'incidence  $\theta$  est supérieur à cet angle critique  $\theta_c$ ,  
25 les faisceaux d'incidence F1, F2 sont totalement réfléchis au niveau du dioptre 11 et une onde évanescente se forme du côté de l'espace de faible indice (demi-espace supérieur). On parle alors de configuration « ondes évanescentes ».

Les moyens de capture 18 comprennent un réseau bidimensionnel 18 d'éléments de  
30 détection 19 et un réseau bidimensionnel 15 d'éléments de diffusion 16. Ces deux réseaux sont situés dans un plan parallèle au plan du dioptre 11.

Le réseau bidimensionnel 15 d'éléments de diffusion 16 est situé dans un plan parallèle au plan du dioptre 11, au-dessus du plan dudit dioptre 11 et en contact avec l'onde évanescente. Les éléments de diffusion 16 sont disposés de manière équidistante sur l'ensemble du réseau bidimensionnel 15.

5

Les moyens de détection comprennent un réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 également situé dans un plan parallèle au plan du dioptre 11, au-dessus du plan du réseau bidimensionnel 15 d'éléments de diffusion 16. Les éléments de détection 19 sont disposés de manière équidistante sur l'ensemble du réseau bidimensionnel 18.

10

Avantageusement, chaque élément de diffusion 16 est associé à un élément de détection 19. La projection d'un élément de diffusion 16 sur le plan du réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 est confondu avec l'élément de détection 19 associé audit élément de diffusion 16. Dans une telle configuration, chaque élément de diffusion 16 est parfaitement centré en dessous d'un détecteur 19. Le réseau 15 d'éléments de diffusion 16 et le réseau 18 de détecteurs 19 coïncident.

15

Avantageusement, un moyen de retard de phase 23 peut être disposé de manière identique à celui dans le premier mode de réalisation en champ sombre illustré par la figure 1.

20

Dans cette configuration, l'angle d'incidence  $\theta$  des faisceaux d'interférence F1, F2 est supérieur à l'angle critique  $\theta_c$  de réflexion totale. Des ondes évanescentes sont alors générées et localisées en surface du côté de faible incidence du dioptre 11. Dans ces conditions, aucun faisceau ne se propage au-delà du dioptre 11. La distribution d'intensité au niveau de l'onde évanescente reflète exactement celle de l'interférogramme produit par la réflexion totale interne des faisceaux F1 et F2. Le signal échantillonné de cette distribution d'intensité sur le dioptre 11 est obtenu en combinant le réseau 15 d'éléments diffusants 16 et le réseau 18 d'éléments de détection 19.

25

30

- La forme et la hauteur des éléments diffusants 16 peut être choisie afin d'optimiser l'efficacité d'extraction de l'onde évanescente vers les détecteurs 19, en utilisant le maximum de surface utile du détecteur 19 associé à cet élément de diffusion 16. Un
- 5 exemple de forme peut être des bâtonnets dont la largeur serait bien inférieure au quart de l'interfrange et de longueur le long d'une frange serait du même ordre que celle du détecteur. En cas de saturation des détecteurs, on peut alors réduire la longueur des bâtonnets jusqu'à obtenir des points ou plots.
- 10 Selon ce premier mode de réalisation en configuration « ondes évanescentes », un moyen de retard de phase à deux dimensions 24 est disposé de sorte à être traversé par l'autre faisceau d'interférence. Ce moyen de retard de phase 24 est une ligne à retard de phase bidimensionnelle. Elle est traversée par le faisceau F2 et introduit un
- 15 déphasage différent selon la direction transversale (Ox), ce déphasage pouvant être incrémental ou linéaire. Le faisceau F2 traversant la ligne à retard de phase 24 présente alors une distribution transversale de sa phase contrôlée par la structure de la ligne 24. Le moyen 24 peut être par exemple un élément transparent à gradient d'indice ou un miroir incliné. Dans les deux cas, il permet de générer une différence de marche qui augmente de manière linéaire ou par étapes selon la direction (Ox).
- 20 Le faisceau lumineux F2 passant par la ligne 24 et combiné au faisceau F1 permet d'obtenir un système de lignes d'interférence brillantes et sombres inclinées d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe (Ox).

La figure 4 représente une vue de dessus du spectromètre illustrant un deuxième

25 mode de réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes ».

Selon ce deuxième mode de réalisation, les réseaux bidimensionnels 15 et 18 d'éléments de diffusion 16 et de détection 19 sont inclinés d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe (Ox) du plan du dioptre 11. Les éléments de diffusion 16 et de détection 19 sont

30 parfaitement alignés. Dans ce mode, dit « configuration centrée », les deux réseaux 15 et 18 sont ainsi inclinés par rapport aux lignes d'interférences 13. Dans ce cas, le moyen de retard de phase 24 est rendu inutile car il n'est pas nécessaire d'incliner

les lignes d'interférences. Dans ces conditions, le résultat obtenu au niveau de la détection est donc le même que celui fourni par le spectromètre selon le premier mode de réalisation en configuration « ondes évanescentes ». En effet, il est équivalent d'incliner les lignes d'interférences 13 d'un angle  $\alpha$  et de maintenir les réseaux 15 et 18 parallèles à l'axe transversal (Ox) du dioptre 11, ou d'incliner les réseaux 15 et 18 d'un angle  $\alpha$  et de maintenir les lignes d'interférences 13 parallèles à l'axe transversal (Ox) du dioptre 11.

La figure 5 représente une vue de dessus du spectromètre selon les premier et deuxième modes de réalisation de l'invention en configuration « ondes évanescentes ».

Comme illustré en figure 5, il est possible de réaliser un sur-échantillonnage « r » de sorte que r soit inférieur au quart de l'interfrange, tout en gardant un espacement entre les colonnes d'éléments de diffusion 16 parallèles à l'axe (Ox) qui soit égal à la taille P des pixels (en anglais « pixel pitch »). Plus précisément, P désigne la période du réseau de détecteurs et tend vers la taille du pixel dans le cas où l'espacement entre pixels est faible. Dans un mode de réalisation particulier où l'interférogramme ne serait pas périodique, l'interfrange minimale serait prise en compte pour définir la résolution maximale de l'échantillonnage et qui correspond au pas d'échantillonnage minimum  $r_{\text{Min}}$ .

La figure 6 est un graphe de la répartition d'intensité mesurée par le spectromètre selon ces premier et deuxième modes de réalisation en configuration « ondes évanescentes ».

Comme illustré en figures 5 et 6, les détecteurs 19 situés en colonne « a » et lignes 1 à N fournissent un échantillonnage de la distribution d'intensité le long de cette colonne « a ». Les points « 1a » à « Na » donnent l'intensité du champ d'interférence aux points correspondants du réseau 18. La résolution maximale de cet échantillonnage transversal dépend de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  entre les lignes d'interférence 13 et les colonnes des réseaux 15 et 18, ainsi que de la taille P des

pixels. Le critère de Shannon impose que le pas d'échantillonnage minimum  $r_{\text{Min}}$  soit inférieur ou égal au quart de l'interfrange minimale de l'interférogramme 12.

5 La résolution en longueur d'onde du spectromètre selon l'invention est liée à la composante longitudinale dans le plan d'incidence et fait intervenir une condition sur la largeur des faisceaux projetée sur le plan d'incidence (yOz). Sa bande spectrale d'analyse est liée à la composante transversale (perpendiculaire au plan d'incidence) et fait intervenir une condition sur la taille transversale des faisceaux selon l'axe (Ox). Les performances dépendent également de la précision avec laquelle est réalisée et  
10 contrôlée l'inclinaison des lignes d'interférences 13 par rapport aux réseaux 15 et 18. Par conséquent, un spectromètre conforme à ce mode de réalisation présente l'avantage d'avoir une résolution et une bande spectrale d'analyse qui ne dépendent pas de la taille des pixels.

15 Le raisonnement illustré par les figures 5 et 6 s'applique également aux deux modes de réalisation de l'invention en configuration « champ sombre », illustrée par les figures 1 et 2.

La figure 7 représente une vue de dessus du spectromètre illustrant un deuxième  
20 mode de réalisation de l'invention en configuration dite « ondes évanescentes ».

Selon le troisième mode de réalisation, le réseau bidimensionnel 15 d'éléments de diffusion est incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe (Ox) du plan du dioptre 11. Le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 est parallèle au plan du dioptre  
25 11. Les éléments de diffusion 16 et de détection 19 sont inclinés d'un angle  $\alpha$  suivant l'axe (Ox) du plan du dioptre 11. Dans ce mode, dit « configuration décentrée », seul le réseau 15 est incliné par rapport aux lignes d'interférence 13. En inclinant les colonnes d'éléments de diffusion 16 par rapport à l'axe (Ox), les réseaux de diffuseurs 16 et de capteurs 19 ne sont plus superposés. Cette inclinaison d'un angle  
30  $\alpha$  prédéterminé peut être obtenue par un procédé de fabrication de grilles en surface par holographie à deux faisceaux. Ce type de procédé permet d'inscrire les diffuseurs 16 à la surface du dioptre 11 avec une excellente maîtrise de l'angle

d'inclinaison  $\alpha$  sur l'ensemble des colonnes.

La figure 8 représente une vue de dessus du spectromètre selon le troisième mode de réalisation de l'invention en configuration « ondes évanescentes ».

5

La figure 6 illustre également les résultats obtenus selon ce troisième mode de réalisation. Les diffuseurs 16 sont dans ce cas décalés progressivement par rapport aux centres des détecteurs 19. Le décalage dépend de l'angle d'inclinaison  $\alpha$ . La ligne d'interférence 13 est parallèle à l'axe (Ox). Les détecteurs 19 situés en colonne « a » et lignes 1 à N fournissent un échantillonnage de la distribution d'intensité le long de cette colonne « a », comme illustré en figure 6. Les points « 1a » à « Na » donnent l'intensité du champ d'interférence 12 aux points correspondants du réseau 18, de façon similaire à celle obtenue par le spectromètre selon les deux premiers modes de réalisation décrits ci-dessus. Ainsi la même information est obtenue au niveau du spectromètre que celle obtenue par la configuration selon les deux premiers modes de réalisation.

15

Les figures 9, 10 et 11 représentent des configurations pour des applications de capteurs spectroscopiques. Dans chacune de ces configurations, l'élément de transduction réalisant la fonction spectroscopique peut être disposé uniquement sur une seule face d'un prisme et n'est représenté qu'à titre d'illustration.

20

La figure 9 représente une vue de coupe du spectromètre illustrant une première configuration permettant d'obtenir un système d'interférence par « séparation du front d'onde ».

25

Le spectromètre comporte un prisme isocèle 41. Ce prisme isocèle 41 est formé de cinq faces : une face avant (44), deux faces arrière (42,43), une face de dessus et une face de dessous. Lesdites faces de dessus et de dessous forment chacune un triangle isocèle. Il est agencé de manière à ce que le dioptré soit constitué à présent par une partie au moins des faces arrière 42 et 43 du prisme 41. Dans ce cas, les faisceaux d'interférence F1 et F2 arrivent sur la face avant 44 du prisme 41 en

30

incidence normale de manière symétrique par rapport au plan médian de ladite face avant 44 qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière 42 et 43 dudit prisme 41. Chaque faisceau est ainsi répartie suivant l'un des deux côtés de ce plan médian. L'angle du prisme détermine l'angle d'incidence des deux faisceaux. En particulier, un prisme isocèle rectangle correspond à un angle d'incidence de 45°. La structure ainsi formée avec ce prisme 41 assure une compacité et une stabilité mécanique et thermique du spectromètre.

Le moyen de transduction 25 est disposé contre la face arrière 43 et réalise la fonction de capteur spectroscopique. De façon équivalente à ce qui est obtenu avec un spectromètre selon les trois premiers modes de réalisation, on obtient avec cette configuration un champ d'interférence 12 réparti de manière symétrique entre les deux faces arrière (42,43) du prisme isocèle 41. En effet, avec cette configuration, le faisceau F1 traverse le moyen 23 puis le prisme 41, avant d'être réfléchi sur la face arrière 42 du prisme. De même, le faisceau F2 traverse le moyen 24 puis le prisme 41, avant d'être réfléchi sur la face arrière 43 du prisme. Le champ d'interférence se forme donc sur les faces 42 et 43. Par exemple les interférences sur la face 42 correspondent aux interférences entre le faisceau lumineux F1 envoyé sur ladite face 42 et le faisceau F2 envoyé sur ladite face 42 après réflexion sur la face 43.

Le moyen de retard de phase monodimensionnel 23 est disposé contre l'une des deux demi-faces avant 44' ou 44'' de la face avant 44 du prisme 41. Chacune des deux demi-faces avant 44' et 44'' est formée par l'intersection de la face avant 44 avec le plan médian de ladite face avant 44 qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière 42 et 43 dudit prisme 41. On entendra par la suite que chaque demi-face avant (44',44'') du prisme 41 est ainsi constituée. Dans cette configuration, le moyen 23 est disposé du côté du faisceau F1. Il permet de retarder le faisceau F1 de manière à décaler la frange centrale loin du sommet du prisme 41. Cela permet de minimiser les effets de la lumière parasite diffusée au sommet.

Le moyen de retard de phase bidimensionnel 24 est disposé contre la demi-face avant 44'' de la face avant 44 du prisme 41, la première demi-face 44' étant déjà

occupée par le moyen de retard de phase 23.

La figure 10 représente une vue de coupe du spectromètre illustrant une deuxième configuration permettant d'obtenir un système d'interférence par « séparation du front  
5 d'onde ».

Le moyen de retard de phase bidimensionnel 24 est disposé cette fois-ci contre la face arrière 43 du prisme isocèle 41. Ce choix de la face arrière 43 est du au fait que le moyen de retard de phase 23 est disposé contre la demi-face avant 44'. La partie  
10 inférieure du faisceau F2 subit une réflexion avec un déphasage selon l'axe (Ox) qui dépend du moyen 24. Dans ce cas, le moyen 24 peut être un miroir à retard de phase ou un miroir incliné d'un angle  $\alpha$ .

Le moyen de transduction 25 est disposé sur la face arrière 43 et joue aussi le rôle  
15 de moyen de retard de phase monodimensionnel 23 ou bidimensionnel 24. Ce transducteur 25 permet de réaliser des applications de capteurs. En étant en contact avec le milieu à analyser, il peut induire :

- un déphasage ou une modification du spectre de réflexion (activation de surface sur miroir diélectrique dont l'indice de réfraction dépend du milieu extérieur),
- 20 - une variation d'angle de réflexion ou une absorption (plasmons de surface), et
- un découplage vers l'extérieur du prisme (réseaux de Bragg).

La figure 11 représente une vue de coupe du spectromètre illustrant une seconde configuration permettant d'obtenir le système d'interférence par « rétro-réflexion ».

25 Le spectromètre comporte un prisme à angle droit et un élément 25 qui joue le rôle d'un miroir. Le faisceau F1 arrive sur la face 52 puis est réfléchi sur la face 54 afin d'arriver sur l'élément 25 placé contre la face 53. Le faisceau F2 arrive directement sur la face 53, sur laquelle il est réfléchi du fait de la présence de l'élément 25. Il se  
30 forme alors l'interférogramme ou onde stationnaire entre les faces 53 et 54, qui le système de détection peut capter et mesurer.

Selon un autre mode de réalisation, ledit moyen de transduction 25 est combiné avec un élément de retard de phase bidimensionnel.

5 La figure 12 représente un schéma du dispositif d'imagerie spectroscopique selon l'invention.

Ce dispositif comprend des moyens d'émission des deux faisceaux d'interférence (F1,F2) et un spectromètre conforme à la présente invention.

10 Les moyens d'émission comprennent une source lumineuse 31 émettant un faisceau lumineux, un moyen de séparation 32 de ce faisceau lumineux en deux faisceaux d'interférence F1 et F2 (séparation en amplitude), ainsi que des moyens de guidage et de collimation (33,33') desdits deux faisceaux d'interférence vers le dioptre 11.

15 Le moyen de séparation 32 est constitué par un moyen de séparation optique standard, en particulier un moyen parmi une lame séparatrice, un cube avec une lame demi-onde, des coupleurs en optique fibré, etc.

20 A l'aide des moyens de guidage et de collimation (33,33'), les deux faisceaux lumineux F1 et F2 sont collimatés de sorte à localiser le champ d'interférence 12 sur le dioptre 11. Un faisceau d'interférence de section par exemple rectangulaire peut être obtenu avec un système de microlentilles cylindriques.

25 Les deux faisceaux d'interférence F1 et F2 traversent respectivement les moyens de retard de phase monodimensionnel 23 et bidimensionnel 24 et sont envoyés vers le dioptre 11. Le dioptre 11 peut être par exemple l'une au moins des faces du prisme 41. Dans la cas où la détection se fait dans l'air, l'angle d'incidence  $\theta$  est supérieur à l'angle critique  $\theta_c = \text{Arcsin}(1/n)$ . Plus précisément, mis à part le dioptre 11, la forme du prisme 41 peut être quelconque : sphérique, trois ou plusieurs faces, etc.

30 La connexion permettant de séparer le faisceau lumineux issu de la source 31 en deux faisceaux F1 et F2 est une connexion fibrée. Ce dispositif comporte enfin deux

réseaux 15 et 18 d'éléments de diffusion 16 et de détection 19, ainsi que des moyens de calcul 20.

Un spectromètre et un dispositif d'imagerie spectroscopique conforme à l'invention  
5 peuvent être utilisés pour différentes applications, en particulier pour les applications suivantes :

- un dispositif de mesure colorimétrique dans le visible, par exemple pour une bande spectrale 380-730nm avec une résolution de 10nm : un dispositif suffisant présente un angle d'incidence  $\theta=70^\circ$ , une taille de pixel  $P=12\mu\text{m}$ , un angle d'inclinaison  
10  $\alpha=0,16^\circ$ , une taille transversale des faisceaux  $L_x=4,2\text{mm}$  et une largeur de faisceau  $L_y=0,01\text{mm}$  ;

- un dispositif de télécommunication dans l'infrarouge, par exemple pour une bande spectrale 1400-1600nm avec une résolution de 1nm : un dispositif suffisant présente un angle d'incidence  $\theta=70^\circ$ , une taille de pixel  $P=12\mu\text{m}$ , un angle d'inclinaison  
15  $\alpha=0,6^\circ$ , une taille transversale des faisceaux  $L_x=1,2\text{mm}$  et une largeur de faisceau  $L_y=0,5\text{mm}$  ;

- un dispositif de spectroscopie d'absorption dans l'infrarouge, par exemple pour une bande spectrale 1500-1600nm avec une résolution de 0,2nm : un dispositif suffisant présente un angle d'incidence  $\theta=70^\circ$ , une taille de pixel  $P=12\mu\text{m}$ , un angle  
20 d'inclinaison  $\alpha=1,27^\circ$ , une taille transversale des faisceaux  $L_x=0,5\text{mm}$  et une largeur de faisceau  $L_y=2,2\text{mm}$ .

Les modes de réalisation précédemment décrits de la présente invention sont donnés à titre d'exemples et ne sont nullement limitatifs. Il est entendu que l'homme  
25 du métier est à même de réaliser différentes variantes de l'invention sans pour autant sortir du cadre du brevet.

En particulier, il est possible de ne pas intégrer directement le réseau bidimensionnel 18 d'éléments de détection 19 au spectromètre. Dans ce cas, l'assemblage du  
30 spectromètre avec le réseau bidimensionnel d'éléments de détection – en prévoyant l'inclinaison qui convient – permet également de réaliser la fonction spectroscopique sans pour autant sortir du cadre du brevet.

## REVENDEICATIONS

1 – Spectromètre comprenant un dioptre (11), des moyens de capture (15,18)  
5 au niveau dudit dioptre (11) d'un interférogramme (12) issu de deux faisceaux  
d'interférence (F1,F2) et formant des lignes d'interférence (13) suivant l'axe  
transversal (Ox) de l'interférogramme (12) appartenant au plan (xOy) du dioptre (11),  
lesdits moyens de capture (15,18) comprenant un réseau (18) d'éléments de  
10 détection (19) agencé pour détecter la répartition spatiale dudit interférogramme (12),  
caractérisé en ce que ledit réseau (18) d'éléments de détection (19) est  
bidimensionnel et en ce qu'au moins une partie desdits moyens de capture (15,18) et  
ledit interférogramme (12) sont inclinés l'un par rapport à l'autre suivant l'axe  
transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

15 2 – Spectromètre selon la revendication 1, comprenant au moins un moyen de  
retard de phase bidimensionnel (24) agencé de sorte à retarder la phase de l'un des  
deux faisceaux d'interférence (F1,F2) afin d'incliner l'interférogramme (12) par  
rapport au plan (xOy) du dioptre (11) suivant l'axe transversal (Ox) de  
l'interférogramme (12).

20 3 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2,  
comprenant au moins un moyen de retard de phase monodimensionnel (23) agencé  
pour retarder la phase de l'un des deux faisceaux d'interférence (F1,F2) de sorte à  
déplacer la position du centre de l'interférogramme (12) suivant l'axe transversal (Ox)  
25 de l'interférogramme (12).

4 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
comprenant des moyens de calcul (20) reliés au moins en partie au réseau  
bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) pour le traitement des données  
30 expérimentales mesurées par au moins une partie des éléments de détection (19) et  
la reconstitution de la distribution spectrale d'au moins l'un des deux faisceaux  
d'interférence (F1,F2).

5 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque élément de détection (19) est un élément transducteur.

6 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, pour lequel l'angle d'incidence de chacun desdits deux faisceaux d'interférence (F1,F2) sur le plan (xOy) du dioptre (11) est inférieur à l'angle critique ( $\theta_c$ ) de réflexion totale, dans lequel le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) est incliné par rapport à l'interférogramme (12) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

10

7 – Spectromètre selon la revendication 6, dans lequel le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) est incliné par rapport au plan (xOy) du dioptre (11) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

8 – Spectromètre selon la revendication 6 en dépendance de la revendication 2, dans lequel le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) est parallèle au plan (xOy) du dioptre (11).

9 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel les moyens de capture (15,18) comprennent également un gel d'indice (21) disposé entre ledit réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) et ledit dioptre (11), et au contact dudit réseau (18) et dudit dioptre (11) de sorte à réduire les réflexions multiples entre ledit réseau (18) et ledit dioptre (11).

10 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel les moyens de capture (15,18) comprennent également un réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) agencés pour projeter l'interférogramme (12) sur le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) par diffusion d'ondes propagatives.

30

11 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, pour lequel l'angle d'incidence de chacun desdits deux faisceaux d'interférence (F1,F2) sur le

plan (xOy) du dioptre (11) est supérieur à l'angle critique ( $\theta_c$ ) de réflexion totale, dans lequel les moyens de capture (15;18) comprennent également un réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) agencés pour projeter l'interférogramme (12) sur le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19)  
5 par diffusion d'ondes évanescentes, ledit réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) étant incliné par rapport à l'interférogramme (12) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

12 – Spectromètre selon la revendication 11, dans lequel le réseau  
10 bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) est incliné par rapport au plan (xOy) du dioptre (11) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

13 – Spectromètre selon la revendication 11 en dépendance de la revendication  
15 2, dans lequel le réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) est parallèle au plan (xOy) du dioptre (11).

14 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans  
20 lequel le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) est incliné par rapport au réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16) suivant l'axe transversal (Ox) de l'interférogramme (12).

15 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans  
25 lequel le réseau bidimensionnel (18) d'éléments de détection (19) est parallèle au réseau bidimensionnel (15) d'éléments de diffusion (16).

16 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, dans  
lequel chaque élément de détection (19) est superposé à un élément de diffusion (16) par projection suivant l'axe orthogonal (Oz) au plan (xOy) du dioptre (11).

30 17 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, dans lequel la largeur d'au moins une partie des éléments de diffusion (16) est très inférieure au quart de l'interfrange de l'interférogramme (12).

18 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 17, dans lequel au moins un élément de diffusion (16) est un bâtonnet de longueur égale à la longueur d'un élément de détection (19).

5

19 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 18, dans lequel au moins un élément de diffusion (16) est un plot diffusant.

20 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 11 à 19, dans lequel au moins un élément de diffusion (16) est un point diffusant.

21 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un prisme isocèle (41) agencé de manière à ce que le dioptre (11,42,43) soit constitué par une partie au moins des faces arrières (42,43) du prisme (41), et à ce que les faisceaux d'interférence (F1,F2) arrivent sur la face avant (44) du prisme (41) en incidence normale de manière symétrique par rapport au plan médian de ladite face avant (44) qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière (42,43) dudit prisme (41).

22 – Spectromètre selon la revendication 21 en dépendance de la revendication 3, dans lequel au moins un moyen de retard de phase monodimensionnel (23) est disposé contre l'une des deux demi-faces avant (44',44'') de la face avant (44) du prisme isocèle (41), chaque demi-face avant (44',44'') étant formée par l'intersection de la face avant (44) avec le plan médian de ladite face avant (44) qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière (42,43) dudit prisme (41).

23 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 21 à 22 en dépendance de la revendication 2, dans lequel au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel (24) est disposé contre l'une des deux demi-faces avant (44',44'') de la face avant (44) du prisme isocèle (41), chaque demi-face (44',44'') étant formée par l'intersection de la face avant (44) avec le plan médian de ladite face avant (44) qui coupe l'arête formée par l'intersection des deux faces arrière

(42,43) dudit prisme (41).

24 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 21 à 23 en dépendance de la revendication 2, dans lequel au moins un moyen de retard de phase bidimensionnel (24) est disposé contre l'une des deux face arrière (42,43) du prisme isocèle (41).

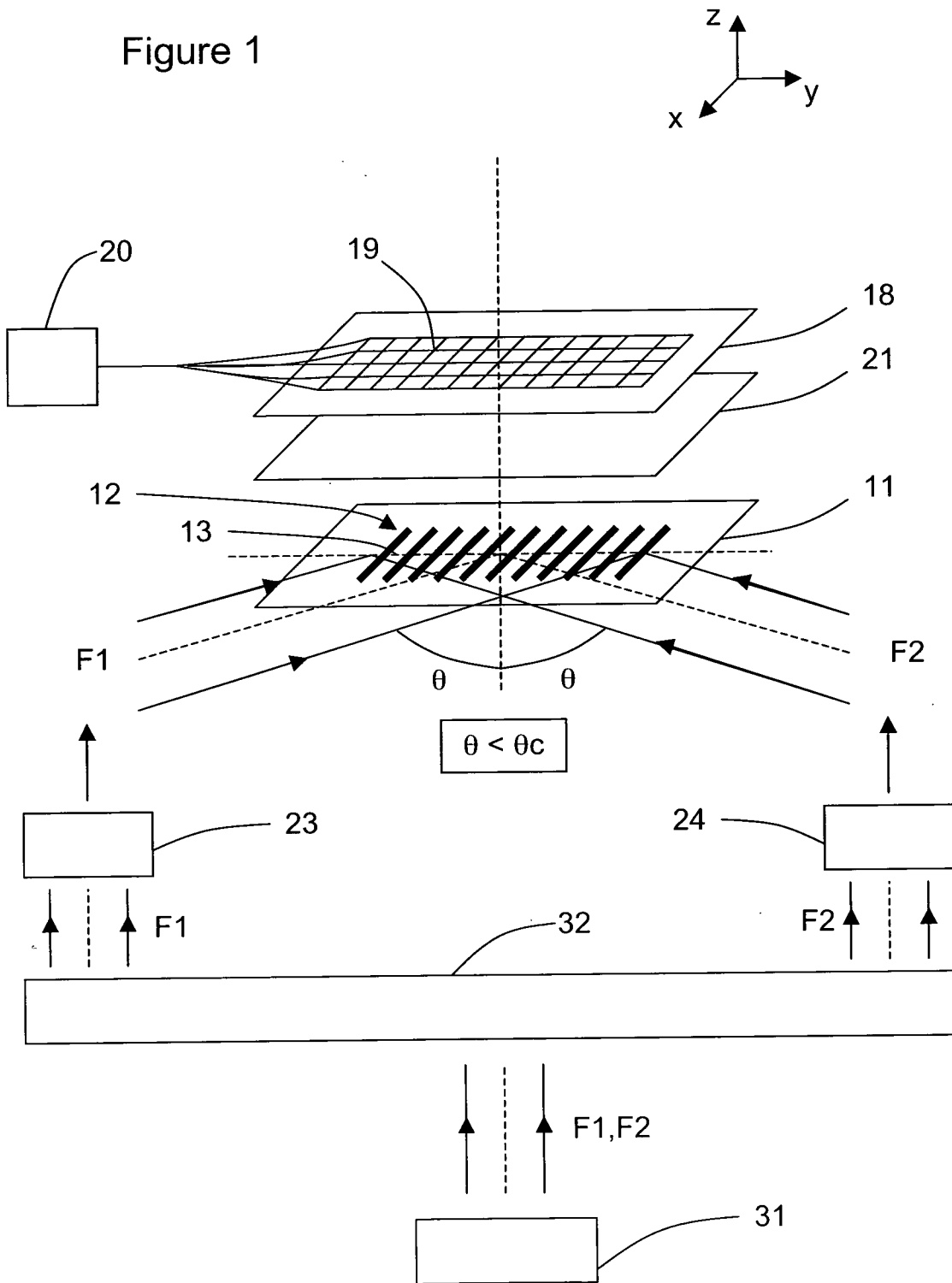
25 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 21 à 24, comprenant un moyen de transduction (25) et un prisme isocèle (51) agencé de manière à ce que le dioptre (11,53) soit constitué par une partie au moins d'une face arrière (53), à ce qu'un faisceau d'interférence (F1) arrive sur ledit moyen de transduction 25 placé contre ledit dioptre (11,53) en incidence normale après avoir traversé l'autre face arrière (52) puis avoir été réfléchi sur la face avant (54), et à ce que l'autre faisceau d'interférence (F2) arrive directement sur ledit dioptre (11,53), sur lequel il est réfléchi du fait de la présence dudit moyen de transduction 25.

26 – Spectromètre selon l'une quelconque des revendications 21 à 25, dans lequel ledit prisme isocèle (41,51) est un prisme isocèle rectangle.

27 – Dispositif d'imagerie spectroscopique comprenant des moyens d'émission de deux faisceaux d'interférence (F1,F2) et un spectromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes.

28 – Dispositif d'imagerie spectroscopique selon la revendication 27, dans lequel les moyens d'émission comprennent une source lumineuse (31) émettant un faisceau lumineux, un moyen de séparation (32) de ce faisceau lumineux en deux faisceaux d'interférence (F1,F2), et des moyens de guidage et de collimation (33',33'') de ces deux faisceaux d'interférence (F1,F2) vers le dioptre (11) de sorte à localiser l'interférogramme (12) issu de deux faisceaux d'interférence (F1,F2) au niveau du plan (xOy) dudit dioptre (11).

Figure 1



2/12

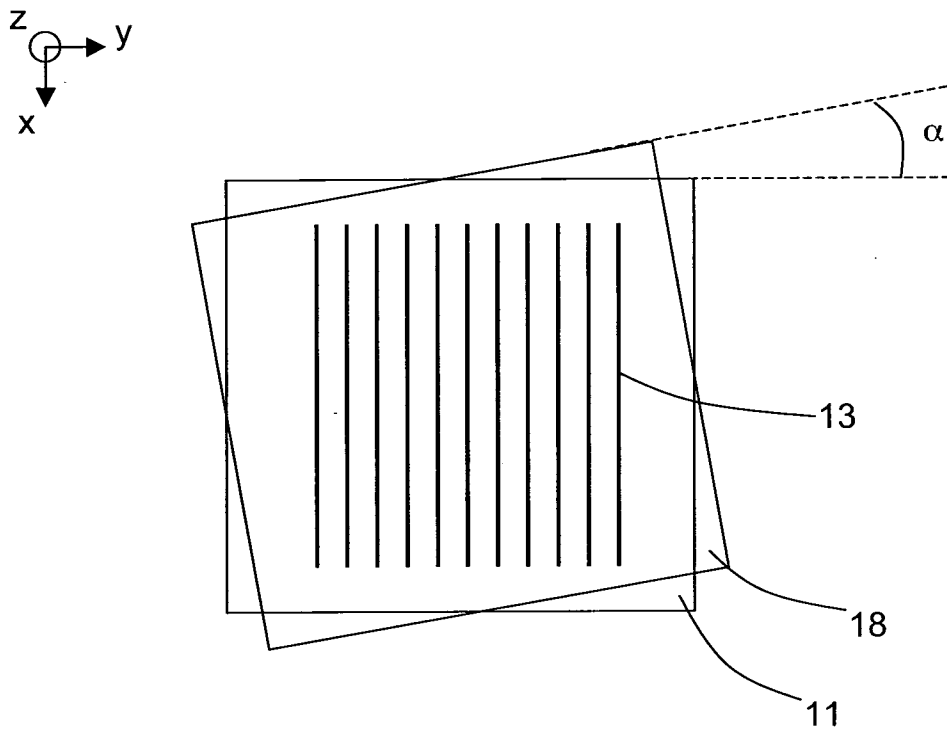
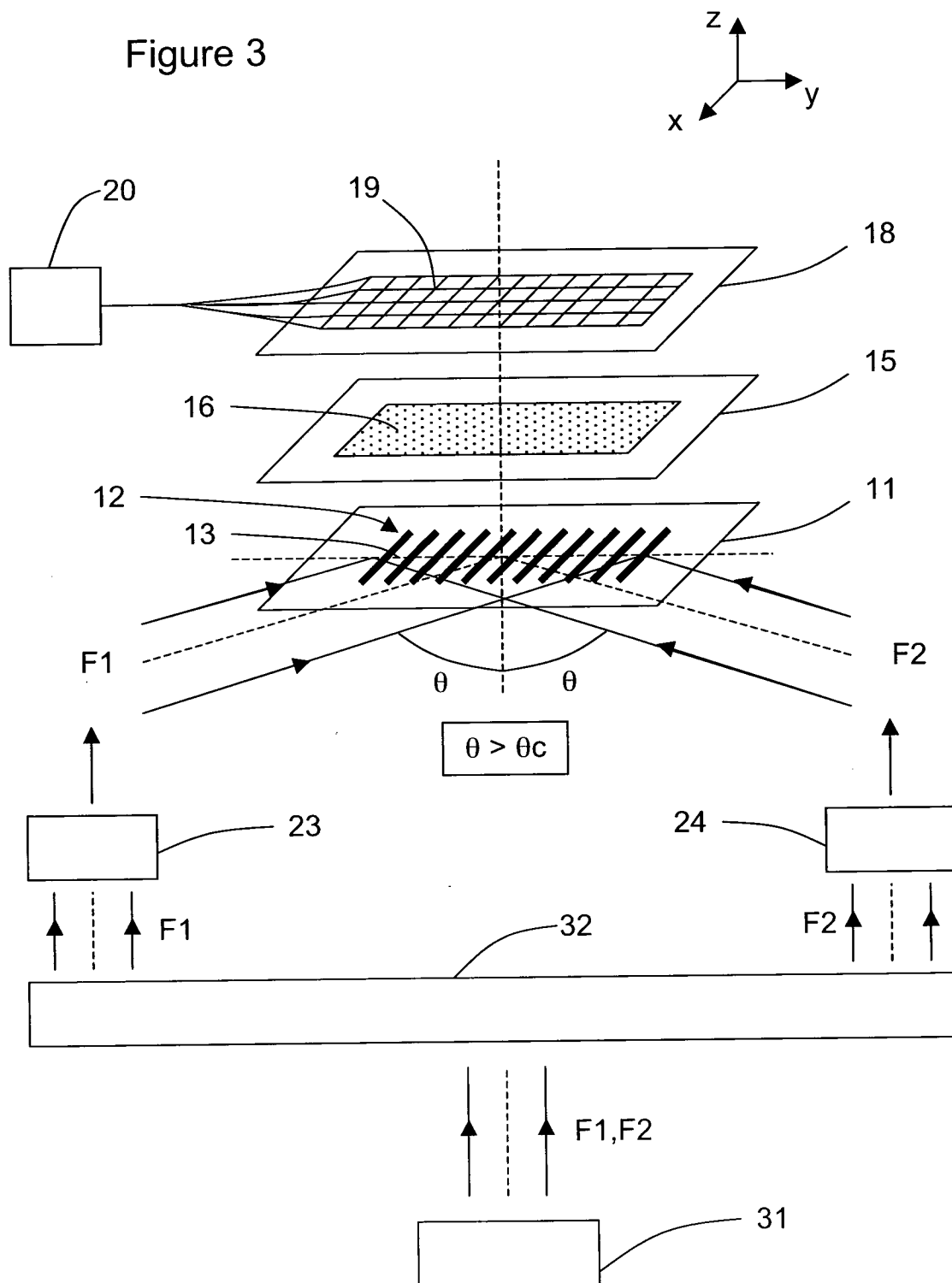


Figure 2

Figure 3



4/12

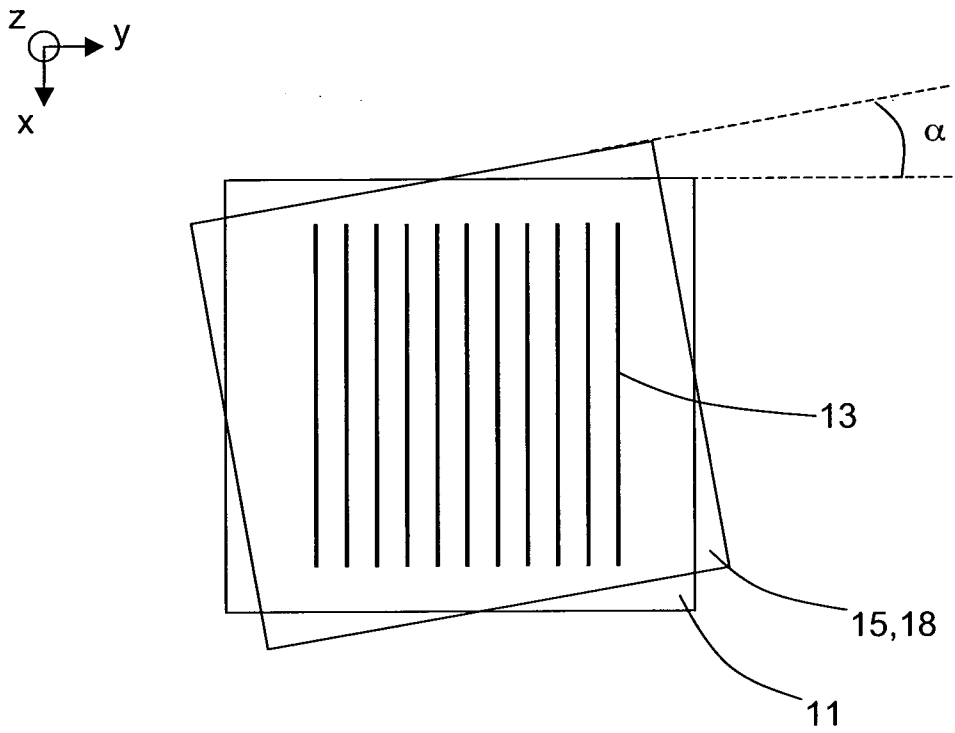


Figure 4

5/12

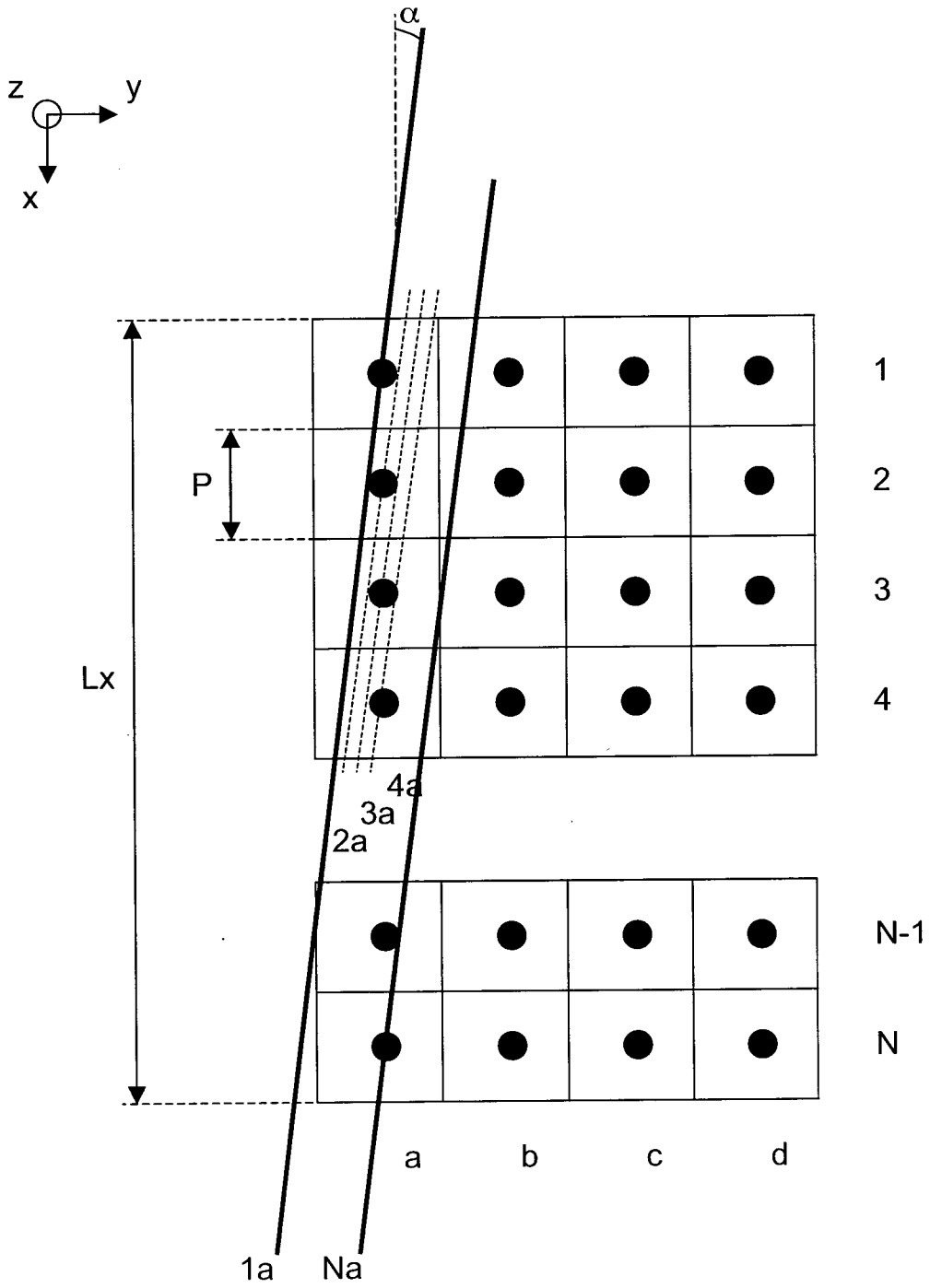


Figure 5

6/12

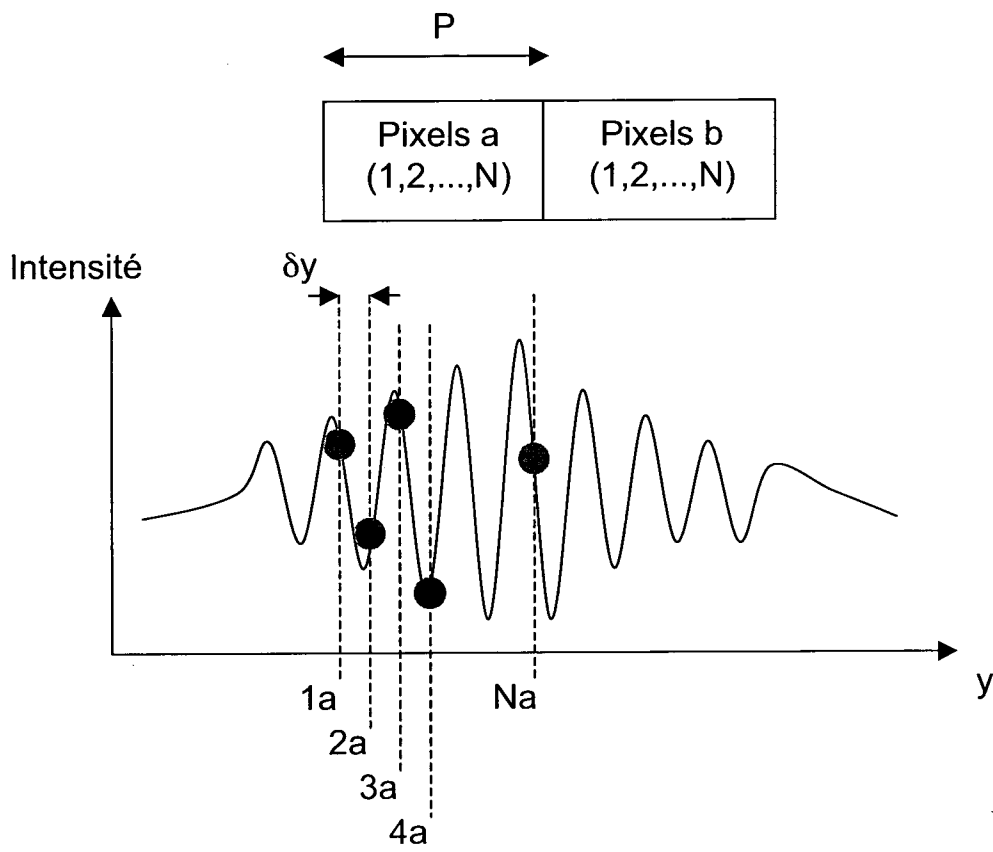


Figure 6

7/12

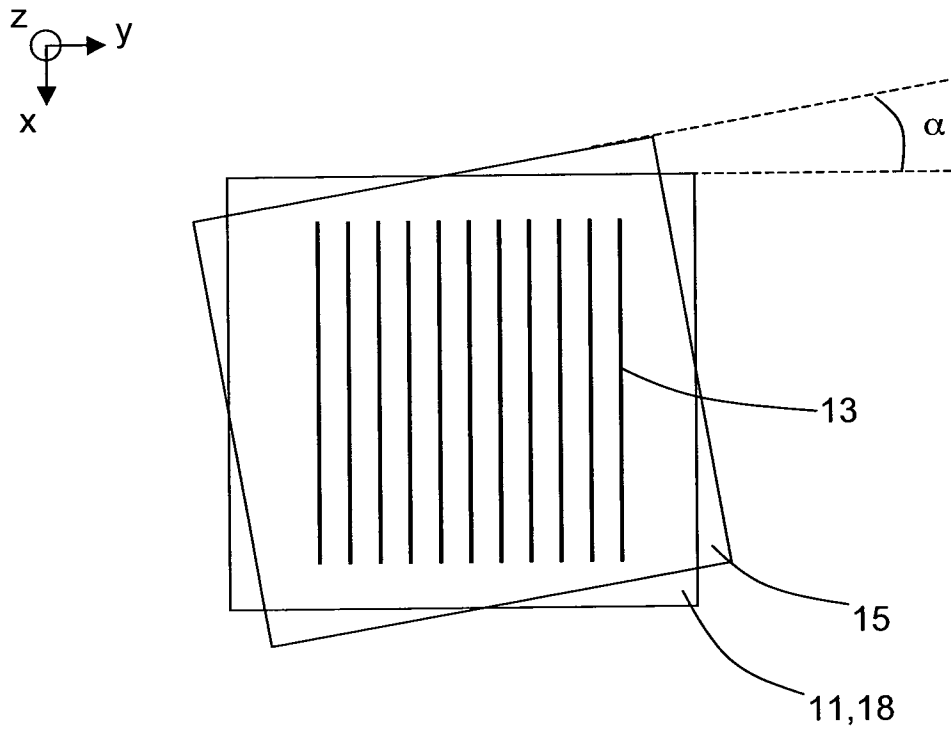


Figure 7

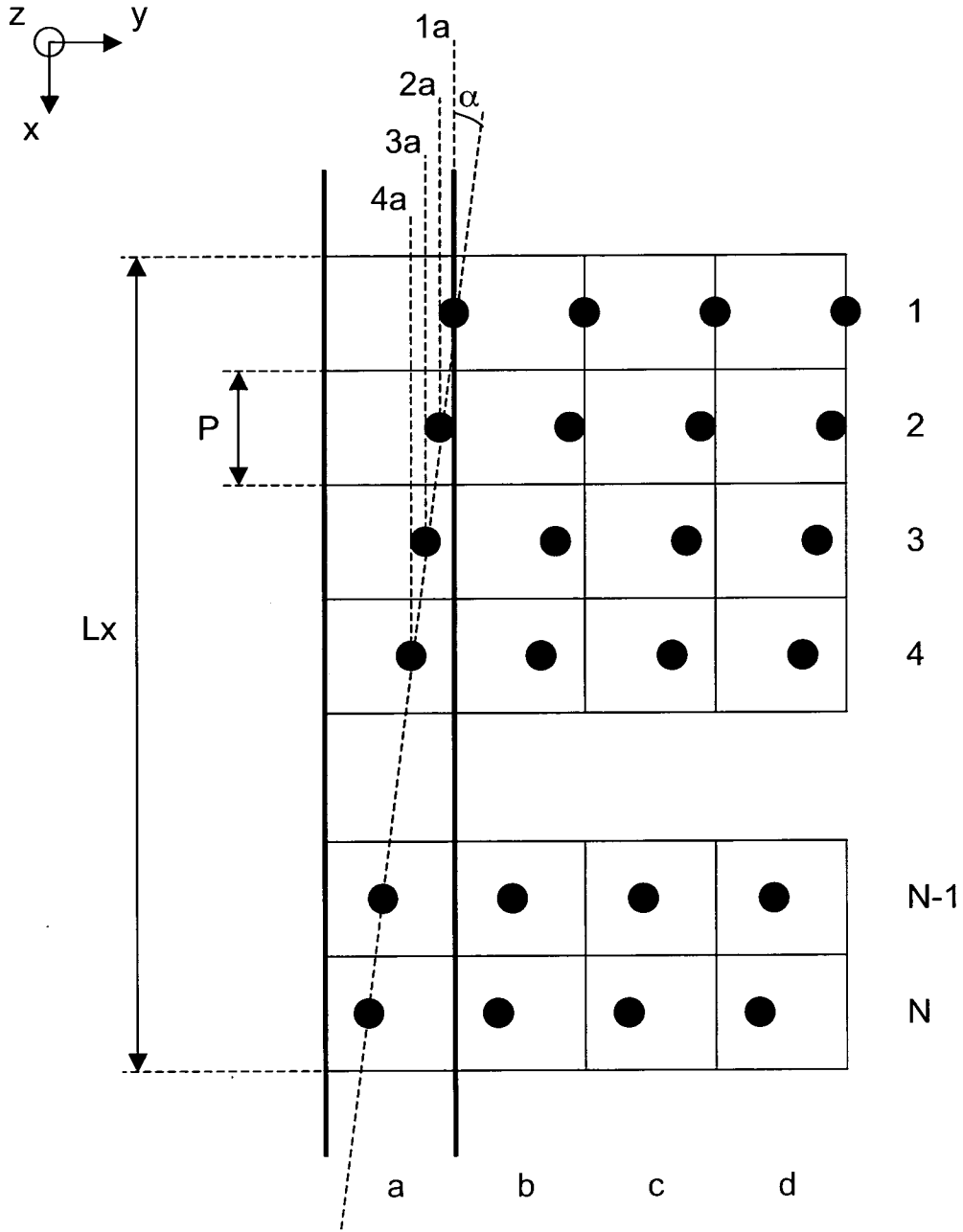


Figure 8

9/12

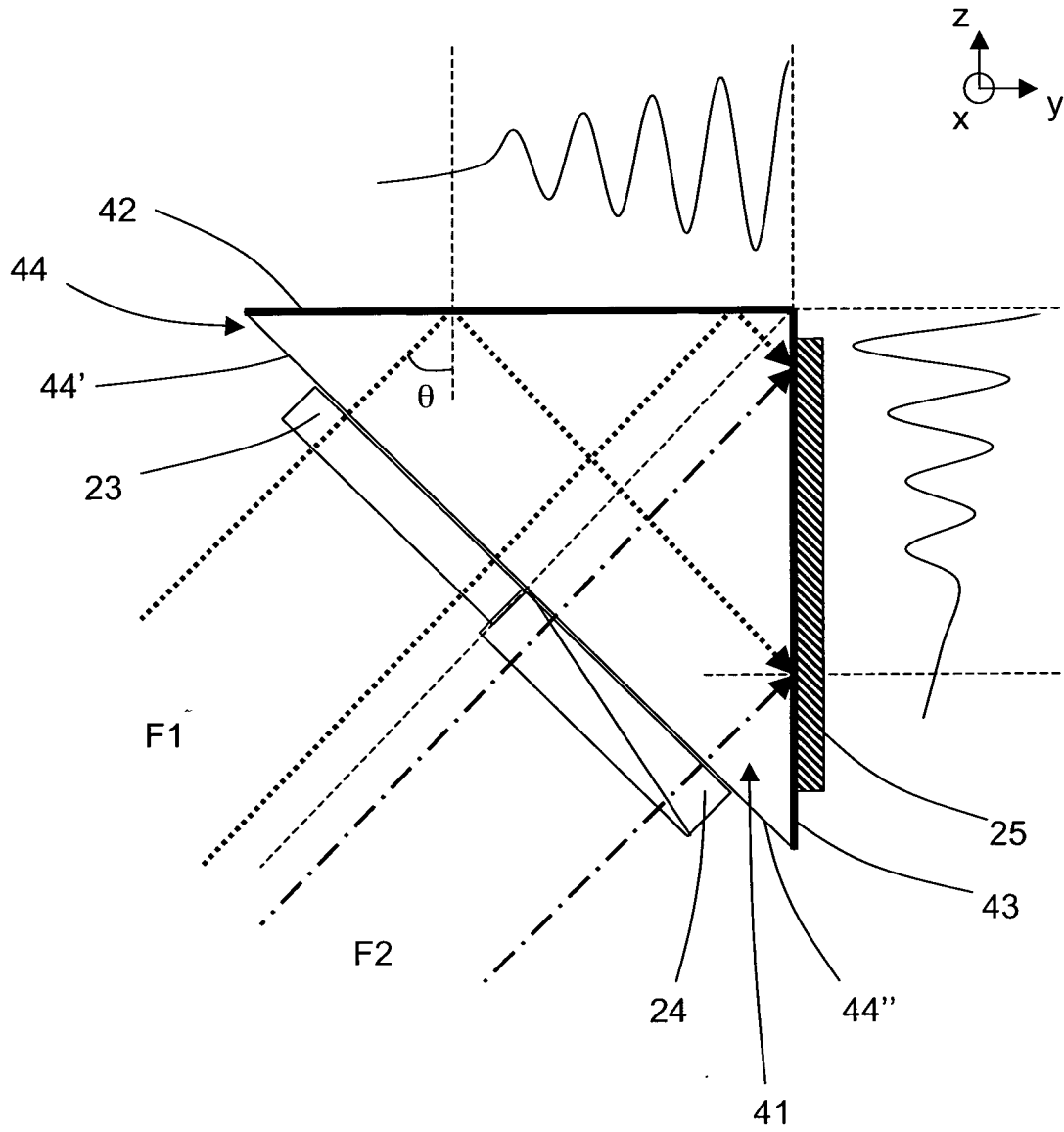


Figure 9

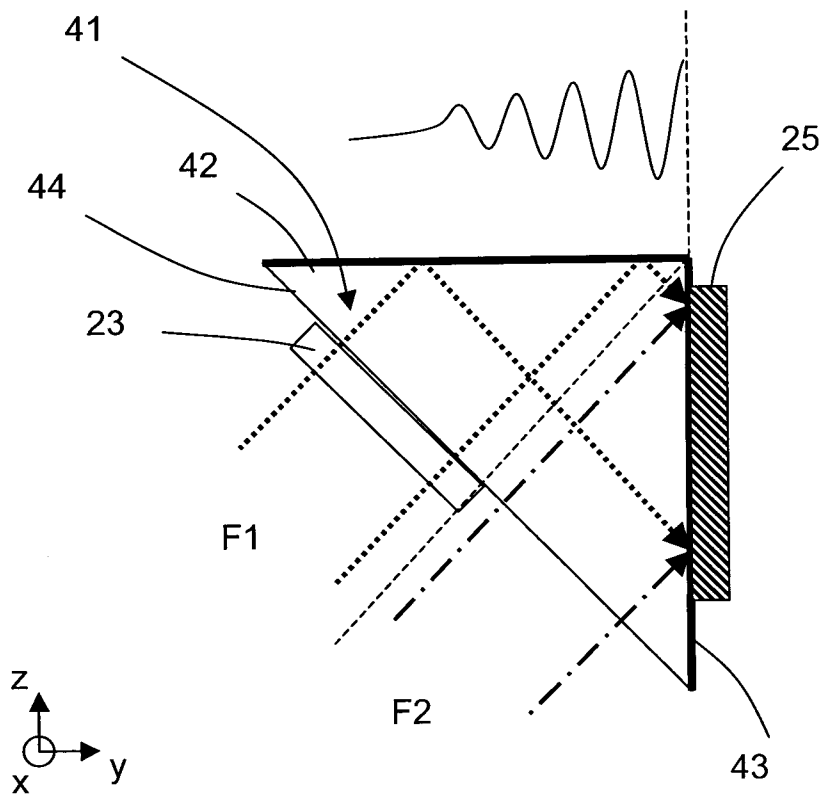


Figure 10

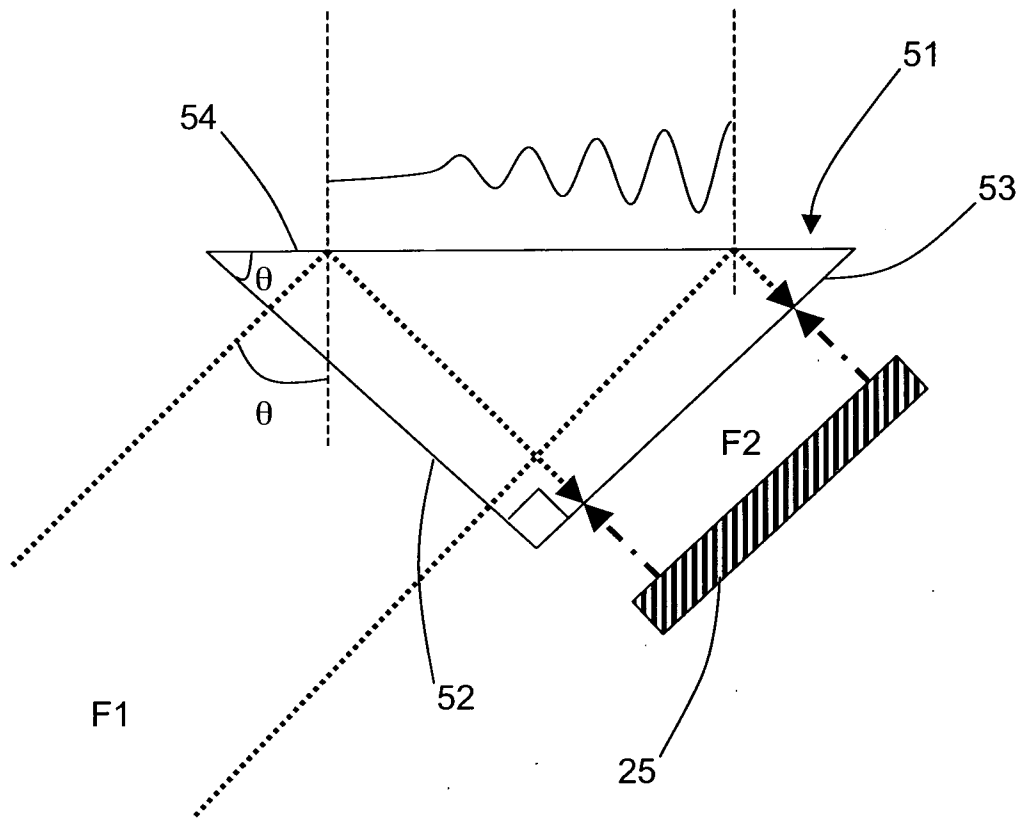


Figure 11

12/12

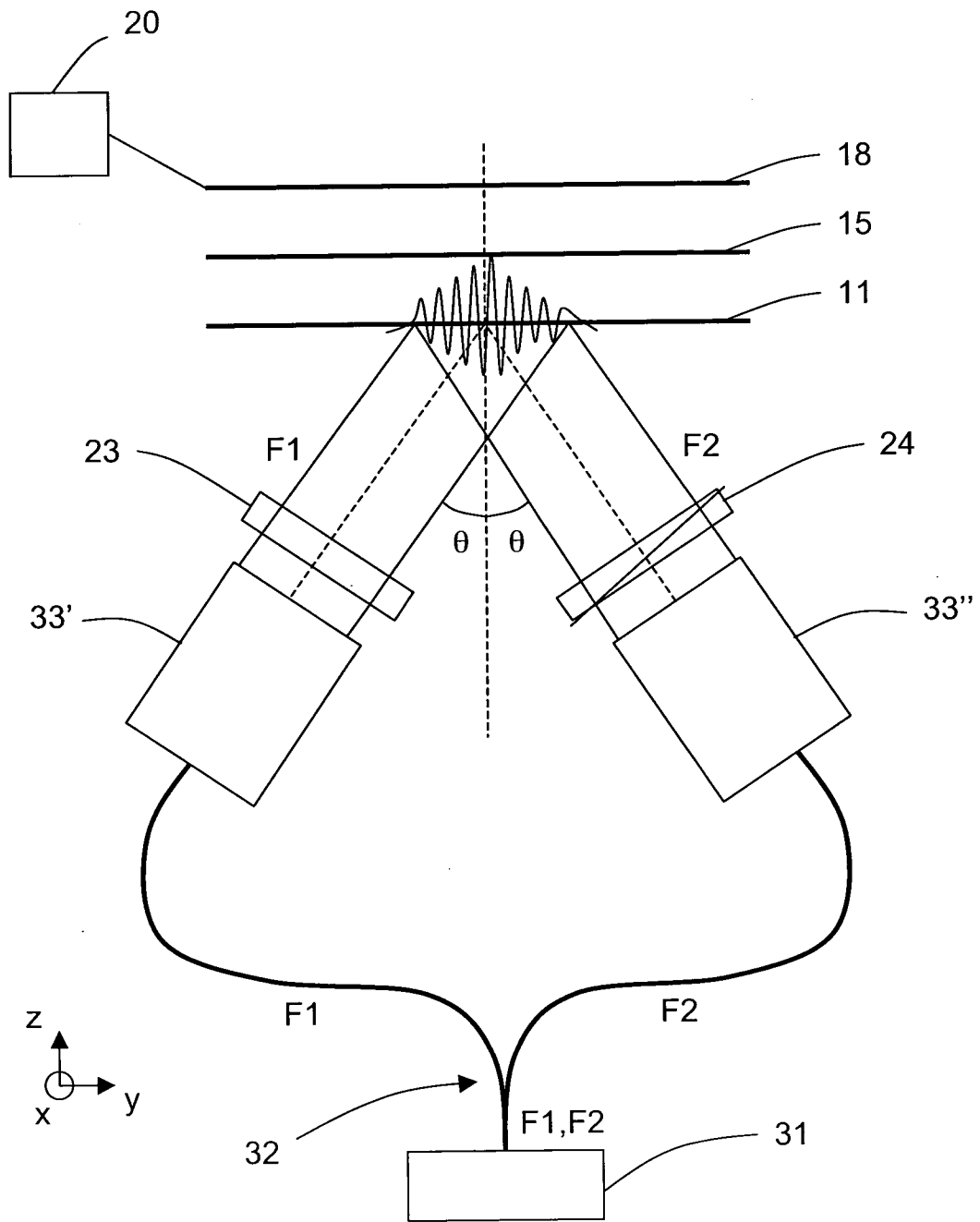


Figure 12

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2009/000279

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01J3/02 G01J3/453 G01J3/28

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)

G01J

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 practical, 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	FR 2 889 587 A (UNIV GRENOBLE 1 [FR]; INST NAT POLYTECH GRENOBLE [FR]) 9 February 2007 (2007-02-09) page 3, line 31 - page 5, line 7 page 7, line 24 - page 8, line 23 page 10, line 9 - line 25 figures 1,6,7	1-28
Y	EP 1 426 745 A (ATNASHEV VITALY BORISOVICH [RU]) 9 June 2004 (2004-06-09) paragraphs [0036] - [0041], [0048] figures 8,9	1-28



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 document 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

21 août 2009

Date of mailing of the international search report

28/08/2009

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

Jacquin, Jérôme

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2009/000279

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2889587	A	09-02-2007	CA 2617959 A1	15-02-2007
			EP 1913350 A1	23-04-2008
			WO 2007017588 A1	15-02-2007
			JP 2009505050 T	05-02-2009
EP 1426745	A	09-06-2004	CN 1541330 A	27-10-2004
			JP 2005500526 T	06-01-2005
			WO 03016840 A1	27-02-2003

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2009/000279

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

INV. G01J3/02 G01J3/453 G01J3/28

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)

G01J

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	FR 2 889 587 A (UNIV GRENOBLE 1 [FR]; INST NAT POLYTECH GRENOBLE [FR]) 9 février 2007 (2007-02-09) page 3, ligne 31 - page 5, ligne 7 page 7, ligne 24 - page 8, ligne 23 page 10, ligne 9 - ligne 25 figures 1,6,7	1-28
Y	EP 1 426 745 A (ATNASHEV VITALY BORISOVICH [RU]) 9 juin 2004 (2004-06-09) alinéas [0036] - [0041], [0048] figures 8,9	1-28

 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
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

21 août 2009

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/08/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

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

Fonctionnaire autorisé

Jacquin, Jérôme

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2009/000279

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
FR 2889587	A	09-02-2007	CA	2617959 A1	15-02-2007
			EP	1913350 A1	23-04-2008
			WO	2007017588 A1	15-02-2007
			JP	2009505050 T	05-02-2009
-----					
EP 1426745	A	09-06-2004	CN	1541330 A	27-10-2004
			JP	2005500526 T	06-01-2005
			WO	03016840 A1	27-02-2003
-----					