

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 04.12.12.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.06.14 Bulletin 14/23.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : HORIBA JOBIN YVON SAS Société
par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : ACHER OLIVIER et RICHARD SIMON.

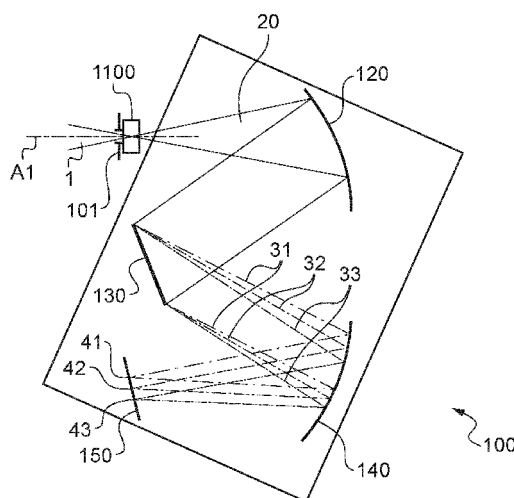
⑦③ Titulaire(s) : HORIBA JOBIN YVON SAS Société par
actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP Société
anonyme.

⑤④ SPECTROMETRE POUR L'ANALYSE DU SPECTRE D'UN FAISCEAU LUMINEUX.

⑤⑦ La présente invention propose un spectromètre (100)
pour l'analyse du spectre d'un faisceau lumineux amont (1)
comportant une fente d'entrée (101) et des moyens de dis-
persion angulaire (130).

Selon l'invention, les moyens de dispersion angulaire
comprennent au moins un réseau de diffraction à séparation
de polarisation qui est adapté, pour la pluralité de longueurs
d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à diffracter un faisceau lumineux redres-
sé (20) en des faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33)
dans un même ordre de diffraction particulier du réseau de
diffraction à séparation de polarisation qui est soit l'ordre de
diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1, lorsque le fais-
ceau lumineux redressé présente un état de polarisation red-
ressé prédéterminé qui est circulaire; et le spectromètre
comporte des moyens de modification de la polarisation
(1100) disposés entre la fente d'entrée et les moyens de dis-
persion angulaire, qui sont adaptés à modifier l'état de po-
larisation du faisceau lumineux amont pour générer le
faisceau lumineux redressé selon l'état de polarisation red-
ressé prédéterminé.



L'invention concerne le domaine de la métrologie optique.

Elle concerne plus particulièrement un spectromètre à forte efficacité de diffraction pour l'analyse du spectre d'un faisceau lumineux ou d'une source lumineuse quel que soit l'état de polarisation du faisceau lumineux.

5 La présente invention trouve une application particulièrement avantageuse lorsqu'une haute efficacité du spectromètre sur une large bande spectrale est recherchée.

En métrologie optique, la spectrométrie est une technique qui consiste à analyser le spectre d'un faisceau lumineux amont que celui-ci soit issu directement
10 d'une source de lumière, ou qu'il provienne d'un objet éclairé par une source de lumière pour en déduire certaines propriétés de cette source ou de cet objet.

Un spectromètre est un instrument optique permettant de réaliser une telle analyse pour un spectre comprenant une pluralité de longueurs d'onde.

Il est bien connu de l'homme du métier qu'un spectromètre comporte
15 généralement :

- une fente d'entrée adaptée à laisser traverser le faisceau lumineux amont,
- des moyens de dispersion angulaire adaptés à disperser angulairement un faisceau lumineux incident en fonction d'une pluralité de longueurs d'onde,

20 Dans de nombreuses applications, comme par exemple la spectroscopie Raman ou la spectroscopie dans le domaine proche infrarouge, la quantité de lumière effectivement disponible à la sortie spectromètre, au niveau de moyens de détection ou d'une fente de sortie, pour l'analyse du spectre est faible. Une mesure rapide ou précise peut alors s'avérer difficile.

25 Ainsi, un spectromètre, dont les moyens de dispersion angulaire présenteraient une très haute efficacité sur une large bande spectrale, permettrait de transporter avec un minimum de pertes l'ensemble des photons du faisceau lumineux amont depuis la fente d'entrée jusqu'aux moyens de détection ou jusqu'à la fente de sortie. Ceci offrirait une plus grande rapidité et une meilleure précision de mesure du spectromètre pour
30 l'analyse du spectre du faisceau lumineux amont.

On connaît des documents US2010/0225856A1 et US2010/0225876A1 des moyens de dispersion angulaire comprenant au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation présentant une très haute efficacité de diffraction dans les ordres de diffraction +1 et -1 sur une large bande spectrale, notamment dans le
35 domaine des longueurs d'onde ultraviolette, visible et infrarouge.

Les documents US2010/0225856A1 et US2010/0225876A1 enseignent qu'un tel réseau de diffraction à séparation de polarisation diffracte un faisceau lumineux incident, qui présente un état de polarisation quelconque, en un faisceau diffracté dans l'ordre 0, un faisceau diffracté dans l'ordre +1, et / ou un faisceau diffracté dans l'ordre -1.

Selon ces mêmes documents, un réseau de diffraction à séparation de polarisation présente les propriétés suivantes :

- la somme des efficacités de diffraction dans l'ordre de diffraction +1 et dans l'ordre de diffraction -1 est très élevée, typiquement supérieure à 90%, et
- les intensités relatives des faisceaux lumineux diffractés dans l'ordre de diffraction +1 et dans l'ordre de diffraction -1 sont fonction de l'état de polarisation du faisceau lumineux incident, et peuvent varier entre 0% et 100% de l'intensité totale des faisceaux lumineux diffractés dans l'ordre de diffraction +1 et dans l'ordre de diffraction -1 selon l'état de polarisation du faisceau lumineux incident.

Cependant, un spectromètre est généralement conçu de telle sorte qu'un seul ordre de diffraction, excepté l'ordre de diffraction 0, est exploité pour l'analyse du faisceau lumineux amont.

Ainsi, un spectromètre utilisant un réseau de diffraction à séparation de polarisation pour analyser le spectre d'un faisceau lumineux amont, peut présenter une efficacité *quasi* nulle selon l'état de polarisation du faisceau lumineux amont et être donc moins avantageux qu'un spectromètre classique utilisant d'autres moyens de dispersion angulaire optimisés afin que l'exploitation de l'ordre de diffraction pour l'analyse du faisceau lumineux amont soit efficace.

Afin de remédier à l'inconvénient précité de l'état de la technique, la présente invention propose un spectromètre permettant d'exploiter la très haute efficacité de diffraction d'un réseau de polarisation à séparation de polarisation sur une large bande spectrale.

À cet effet, l'invention concerne un spectromètre pour l'analyse du spectre d'un faisceau lumineux amont comportant :

- une fente d'entrée adaptée à laisser traverser ledit faisceau lumineux amont,
- des moyens de dispersion angulaire pouvant être fixes ou mobiles, adaptés à disperser angulairement un faisceau lumineux redressé en fonction d'une pluralité de longueurs d'onde en une pluralité de faisceaux lumineux diffractés,

Selon l'invention, lesdits moyens de dispersion angulaire comprennent au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation qui est adapté, pour ladite

pluralité de longueurs d'onde, à diffracter ledit faisceau lumineux redressé en ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés dans un même ordre de diffraction particulier dudit réseau de diffraction à séparation de polarisation qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1, lorsque ledit faisceau lumineux redressé présente un état de polarisation redressé prédéterminé qui est circulaire, et ledit spectromètre comporte en outre des moyens de modification de la polarisation disposés entre ladite fente d'entrée et lesdits moyens de dispersion angulaire, et adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à modifier l'état de polarisation dudit faisceau lumineux amont pour générer ledit faisceau lumineux redressé selon l'état de polarisation redressé prédéterminé, lesdits moyens de modification de la polarisation comprenant :

- des moyens de séparation de la polarisation adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à générer, à partir dudit faisceau lumineux amont, un premier faisceau lumineux séparé et un deuxième faisceau lumineux séparé qui présentent des états de polarisation orthogonaux entre eux, et
- des moyens de redressement de la polarisation adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à générer un premier faisceau lumineux polarisé redressé à partir dudit premier faisceau lumineux séparé et un deuxième faisceau lumineux polarisé redressé à partir dudit deuxième faisceau lumineux séparé, ledit premier faisceau lumineux polarisé redressé et ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé présentant un même état de polarisation, ledit premier faisceau lumineux polarisé redressé et ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé formant ledit faisceau lumineux redressé présentant ledit même état de polarisation.

Le spectromètre selon l'invention utilise donc de manière combinée un réseau de diffraction à séparation de polarisation avec des moyens de modification de la polarisation du faisceau lumineux amont.

Le réseau de diffraction peut être conçu pour diffracter, avec une très haute efficacité sur une très large bande spectrale, ledit faisceau lumineux redressé en un faisceau lumineux diffracté, soit dans l'ordre de diffraction +1, soit dans l'ordre de diffraction -1, si le faisceau lumineux redressé présente un état de polarisation redressé circulaire bien déterminé.

Les moyens de modification de la polarisation permettent alors, quel que soit l'état de polarisation du faisceau lumineux amont, de préparer l'état de polarisation du faisceau lumineux redressé selon cet état de polarisation redressé circulaire bien déterminé, grâce aux moyens de séparation de la polarisation et aux moyens de redressement de la polarisation.

En effet, quel que soit l'état de polarisation du faisceau lumineux amont, celui-ci est séparé par les moyens de séparation de la polarisation en deux faisceaux lumineux séparés de polarisation orthogonale qui sont chacun traités par les moyens de redressement de la polarisation pour que les deux faisceaux lumineux polarisés redressés présentent le même état de polarisation circulaire que le faisceau lumineux redressé.

Ainsi, le spectromètre selon l'invention permet d'exploiter la très grande efficacité du réseau de diffraction à séparation de polarisation dans un ordre de diffraction déterminé, soit l'ordre +1 ou soit l'ordre -1, et ce quel que soit l'état de polarisation du faisceau lumineux amont.

Avantageusement, l'invention permet d'exploiter la très grande efficacité du réseau de diffraction à séparation de polarisation sur une large bande spectrale.

Par ailleurs, d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives du spectromètre selon l'invention sont les suivantes :

- ledit spectromètre comporte des moyens de détection adaptés à mesurer l'intensité lumineuse de ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés pour chaque longueur d'onde de la pluralité de longueurs d'onde, et à délivrer un signal représentatif du spectre dudit faisceau lumineux amont ;

- ledit spectromètre comporte des moyens de focalisation de ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés angulairement en fonction de ladite pluralité de longueurs d'onde, lesdits moyens de focalisation étant adaptés à focaliser, pour chaque longueur d'onde de ladite pluralité de longueurs d'onde, ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés sur un plan image ou sur lesdits moyens de détection ;

- lesdits moyens de redressement de la polarisation comprennent :

- un premier composant optique redresseur de la polarisation adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à générer ledit premier faisceau lumineux polarisé redressé à partir dudit premier faisceau lumineux séparé à ladite pluralité de longueurs d'onde, et

- un deuxième composant optique redresseur de la polarisation adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à générer ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé à partir dudit deuxième faisceau lumineux séparé à ladite pluralité de longueurs d'onde;

- lesdits moyens de séparation de la polarisation comprennent un premier système optique adapté à intercepter en entrée ledit faisceau lumineux amont pour le diriger en sortie vers au moins un composant optique séparateur de polarisation qui est adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à générer, à partir dudit faisceau

lumineux amont, ledit premier faisceau lumineux séparé et ledit deuxième faisceau lumineux séparé ;

5 - ledit premier système optique est agencé de manière à ce que les rayons lumineux dudit faisceau lumineux amont soient tous parallèles entre eux à la sortie dudit premier système optique, et lesdits moyens de séparation de la polarisation comprennent également un deuxième système optique adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à intercepter en entrée, d'une part, ledit premier faisceau lumineux séparé pour le focaliser sur ledit premier composant optique redresseur de polarisation et, d'autre part, ledit deuxième faisceau lumineux polarisé séparé pour le focaliser sur
10 ledit deuxième composant optique redresseur de polarisation ;

- ledit composant optique séparateur de polarisation comprend un prisme de Wollaston, un prisme de Rochon, un prisme de Sénarmont, ou un prisme à décalage de faisceau, configuré de manière à ce que ledit premier faisceau lumineux séparé et ledit deuxième faisceau lumineux séparé présentent des états de polarisation
15 linéaires orthogonaux, et ledit premier composant optique redresseur de la polarisation comprend une première lame à retard quart d'onde présentant un premier axe lent et ledit deuxième composant optique redresseur de la polarisation comprend une deuxième lame à retard quart d'onde présentant un second axe lent perpendiculaire audit premier axe lent ;

20 - ledit composant optique séparateur de polarisation comprend un autre réseau de diffraction à séparation de polarisation adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde, à diffracter ledit faisceau lumineux amont en :

- ledit premier faisceau lumineux séparé qui est diffracté dans un premier ordre de diffraction qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de
25 diffraction -1 dudit autre réseau de diffraction à séparation de polarisation, et qui présente un premier état de polarisation circulaire, et en

- ledit deuxième faisceau lumineux séparé qui est diffracté dans un deuxième ordre de diffraction qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1 dudit autre réseau de diffraction à séparation de polarisation, ledit
30 deuxième ordre de diffraction étant différent du premier ordre de diffraction, et qui présente un deuxième état de polarisation circulaire orthogonal audit premier état de polarisation, et

- ledit premier composant optique redresseur de la polarisation comprend une lame à retard demi-onde qui inverse l'état de polarisation dudit premier faisceau
35 lumineux séparé traversant ledit premier composant optique redresseur de la polarisation, et ledit deuxième composant optique redresseur de la polarisation

comprend une lame neutre à faces parallèles ne modifiant pas l'état de polarisation dudit deuxième faisceau lumineux séparé traversant ledit deuxième composant optique redresseur de la polarisation ;

5 - ledit spectromètre comporte une pluralité d'étages dispersifs cascades en configuration additive ou soustractive ;

 - avantageusement, par exemple en configuration Czerny Turner, ledit réseau de diffraction à séparation de polarisation est monté mobile en rotation pour ajuster soit la longueur d'onde centrale d'un détecteur multi-canal, soit la longueur d'onde en sortie de fente d'un détecteur monocanal ;

10 - lesdits moyens de dispersion angulaire comprennent un prisme présentant une face d'entrée qui intercepte ledit faisceau lumineux redressé et une face de sortie sur laquelle est disposé ledit réseau de diffraction à séparation de polarisation ;

 - lesdits moyens de détection comprennent un détecteur multi-canal ;

15 - lesdits moyens de détection comprennent une fente et un détecteur mono-canal.

Plusieurs modes de réalisation de l'invention sont décrits en détail en référence aux dessins dans lesquels :

20 - la figure 1 est une vue schématique de moyens de modification de la polarisation ;

 - la figure 2 est une vue schématique de moyens de modification de la polarisation selon une variante du dispositif de la figure 1 ;

 - la figure 3 est une vue schématique de moyens de modification de la polarisation selon une autre variante du dispositif de la figure 1 ;

25 - la figure 4 est une vue schématique d'un spectromètre selon un premier mode de réalisation dans une configuration de type Czerny-Turner ;

 - la figure 5 est une vue schématique d'un spectromètre selon une variante du premier mode de réalisation comprenant une tourelle multi-réseaux ;

30 - la figure 6 est une vue schématique d'un spectromètre selon un deuxième mode de réalisation ;

 - la figure 7 est une vue schématique d'un spectromètre selon un troisième mode de réalisation avec un réseau de diffraction à séparation de polarisation fonctionnant en transmission ;

35 - la figure 8 est une vue schématique d'un spectromètre selon une variante du troisième mode de réalisation avec un réseau de diffraction à séparation de polarisation placé sur la face inclinée d'un prisme ;

- la figure 9 est une vue schématique d'un double monochromateur comportant deux étages dispersifs en configuration soustractive ;

- la figure 10 est une vue schématique d'un double monochromateur comportant deux étages dispersifs en configuration additive ;

5 - la figure 11 est une vue schématique d'un triple monochromateur comportant trois étages dispersifs en configuration soustractive ;

- la figure 12 est une vue schématique d'un triple monochromateur comportant trois étages dispersifs en configuration additive.

On a représenté sur les figures 4 à 12 différents modes de réalisation d'un spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600 selon l'invention qui sont, destinés soit à analyser le spectre d'un faisceau lumineux amont 1 (cas des modes de réalisation représentés sur les figures 4 à 8), soit à sélectionner une partie du spectre d'un faisceau lumineux amont 1 (cas des modes de réalisation représentés sur les figures 9 à 12). Dans ce deuxième cas, on parle alors communément de
15 « *monochromateurs* ».

Sans limitation, on considérera dans les figures 1 à 12 que le faisceau lumineux amont 1 est non polarisé, c'est-à-dire présente un état de polarisation quelconque. En effet, sans connaissance *a priori* de l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1, ce cas est le moins restrictif. On comprendra d'ailleurs à la lumière des
20 exemples, l'intérêt de l'invention vis-à-vis de cette méconnaissance *a priori* de l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1.

De manière générale, et comme cela est bien représenté sur les figures 4 à 12, les différents modes de réalisation d'un spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600 selon l'invention comprend tout d'abord une fente d'entrée 101.

25 La fente d'entrée 101 est ici une fente plane de forme rectangulaire, centrée sur un axe optique A1 qui est perpendiculaire au plan de la fente d'entrée 101.

On considérera dans les différents modes de réalisation que le faisceau lumineux amont 1 est un faisceau lumineux divergent formé d'un cône de rayons lumineux, le cône étant de révolution autour de l'axe optique A1 et ayant pour sommet
30 le centre de la fente d'entrée 101.

Ainsi disposée, la fente d'entrée 101 laisse traverser le faisceau lumineux amont 1.

Selon l'invention, les différents modes de réalisation d'un spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600 représentés sur les figures 4 à 12 comportent des moyens de modification de la polarisation 1100 qui seront décrits en détail ci-après en regard des
35 exemples représentés sur les figures 1 à 3.

Ces moyens de modification de la polarisation 1100 acceptent, en entrée, le faisceau lumineux amont 1 qui a traversé la fente d'entrée 101 et génèrent, en sortie, un faisceau lumineux redressé 20 qui est également un faisceau lumineux divergent.

Ces moyens de modification de la polarisation 1100 sont disposés entre la fente d'entrée 101, en aval de celle-ci, et différents éléments optiques du spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600, ces éléments comprenant notamment des moyens de dispersion angulaire, qui sont fixes ou pouvant être animés d'un mouvement de rotation.

Dans les modes de réalisation particuliers du spectromètre 100 ; 500 ; 600 représentés sur les figures 4, 5 et 9 à 12, les moyens de dispersion angulaire comprennent en particulier au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation 130, 231 ; 531A qui est plan et fonctionne en réflexion.

Dans un autre mode de réalisation particulier du spectromètre 200 représenté sur la figure 6, les moyens de dispersion angulaire comprennent un réseau de diffraction à séparation de polarisation 260 qui est de forme concave et fonctionne en réflexion.

Dans un dernier mode de réalisation particulier du spectromètre 300 représenté sur les figures 7 et 8, les moyens de dispersion angulaire comprennent au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation 330, 432 qui est plan et fonctionne en transmission.

Les moyens de dispersion angulaire interceptent le faisceau lumineux redressé 20 en polarisation.

Les moyens de dispersion angulaire dispersent alors angulairement le faisceau lumineux redressé 20 en fonction de la longueur d'onde.

Par souci de simplification et pour illustrer les exemples de l'invention, on considérera dans la suite de la description une, deux ou trois longueurs d'onde particulières du spectre du faisceau lumineux amont 1 pour lesquelles l'intensité lumineuse est non nulle.

On notera ces trois longueurs d'onde particulières λ_1 , λ_2 , et λ_3 .

Cette considération n'est en rien limitative et ne présume pas ni de la nature précise du spectre du faisceau lumineux amont 1, qui peut être par exemple un spectre continu, discret, à bandes, à raies ou un mélange de tous ces types de spectre, ni de son étendue spectrale.

On entend par là que les moyens de dispersion angulaire génèrent, à partir du faisceau lumineux redressé 20 aux longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , et λ_3 :

- un faisceau lumineux diffracté 31 à la longueur d'onde λ_1 , et

- un faisceau lumineux diffracté 32 à la longueur d'onde λ_2 qui est séparé angulairement du faisceau lumineux diffracté 31 à la longueur d'onde λ_1 .

- un faisceau lumineux diffracté 33 à la longueur d'onde λ_3 qui est séparé angulairement du faisceau lumineux diffracté 31 à la longueur d'onde λ_1 et du faisceau
5 lumineux diffracté 32 à la longueur d'onde λ_2 .

Dans certains modes de réalisation particuliers de l'invention représentés sur les figures 4, 5, et 7 à 12, le spectromètre 100 ; 300 ; 500 ; 600 comporte en outre des moyens de collimation 120 ; 320 ; 520 qui transforment le faisceau lumineux redressé 20 en un faisceau lumineux parallèle de telle sorte que tous les rayons
10 lumineux du faisceau lumineux redressé 20 sont parallèles en aval des moyens de collimation 120 ; 320 et incidents sur le réseau de diffraction à séparation de polarisation plan 130, 231 ; 330, 432 ; 531A avec la même incidence.

Dans les différents modes de réalisation de l'invention représentés sur les figures 4 à 12, le spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600 comporte des moyens de
15 focalisation 140 ; 260 ; 340 ; 540.

Les moyens de focalisation 140 ; 260 ; 340 ; 540, qui sont placés sur les chemins optiques des faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33, focalisent, respectivement pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , les faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 dans un plan image.

Dans les modes de réalisation particuliers de l'invention représentés sur les figures 9 à 12, les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 sont focalisés sur un plan image 505, 605 soit au même point de focalisation du plan image 505 (cas de la figure 9), soit en des points de focalisation séparés du plan image 505 ; 605 (cas des figures 10 à 12),
20

Dans les modes de réalisation particuliers de l'invention représentés sur les figures 4 à 8, le plan image est destiné à recevoir des moyens de détection 150.
25

Comme cela est bien représenté sur les figures 4 à 8, les trois faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 sont alors focalisés sur le plan image en trois points de focalisation 41, 42, 43 séparés spatialement les uns des autres en fonction de la
30 longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 .

Les moyens de détection 150 sont sensibles aux intensités lumineuses des faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 focalisés aux points de focalisation 41, 42, 43 et mesurent alors les intensités lumineuses des faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 .

Les moyens de détection 150 délivrent ainsi un signal représentatif du spectre dudit faisceau lumineux amont 1 qui peut être ensuite analysé.

Les différents éléments précités du spectromètre 100 ; 300 sont inclus dans un bâti (non représenté) opaque à la lumière extérieure, la fente d'entrée 101 étant située
5 sur l'une des parois de ce bâti.

On va maintenant décrire les moyens de modification de la polarisation 1100, en regard des figures 1 à 3 sur lesquelles des exemples de moyens de modification de la polarisation ont été représentés.

Les moyens de modification de la polarisation 1100 modifient, pour la pluralité
10 de longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1 et génèrent le faisceau lumineux redressé 20 qui, on va le voir en lien avec les figures 1 et 2, présente un état de polarisation redressé qui est circulaire.

À cet effet, les moyens de modification de la polarisation 1100 comprennent tout d'abord des moyens de séparation de la polarisation 1110.

Comme le montrent bien les figures 1 à 3, ces moyens de séparation de la
15 polarisation 1110 sont placés en aval de la fente d'entrée 101 du spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600, le long du chemin optique du faisceau lumineux amont 1 pour intercepter celui-ci.

Les moyens de séparation de la polarisation 1110 génèrent, pour chaque
20 longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , à partir du faisceau lumineux amont 1 un premier faisceau lumineux séparé 11 et un deuxième faisceau lumineux séparé 12 qui présentent des états de polarisation orthogonaux entre eux.

Les moyens de modification de la polarisation 1100 comprennent par ailleurs des moyens de redressement de la polarisation 1120 placés en aval des moyens de
25 séparation de la polarisation 1110 le long des chemins optiques du premier faisceau lumineux séparé 11 et du deuxième faisceau lumineux séparé 12 qui sont focalisés sur les moyens de redressement de la polarisation 1120 par les moyens de séparation de la polarisation 1110.

Les moyens de redressement de la polarisation 1120 génèrent alors en sortie,
30 pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 :

- un premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 à partir du premier faisceau lumineux séparé 11, et
- un deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22 à partir du deuxième faisceau lumineux séparé 12.

Selon l'invention, le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et le
35 deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22 présentent un même état de

polarisation qui est un état de polarisation circulaire et forment par superposition un faisceau lumineux redressé 20 en sortie des moyens de redressement de la polarisation 1120.

5 Ainsi, l'état de polarisation redressé du faisceau lumineux redressé 20 est identique à l'état de polarisation circulaire du premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et du deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22.

On va décrire ci-après (voir exemples des figures 1 à 3) comment les moyens de séparation de la polarisation 1110 génèrent le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 et comment les moyens de redressement
10 de la polarisation 1120 génèrent le faisceau lumineux redressé 20 dont l'état de polarisation redressé est circulaire.

De manière préférée dans ces trois exemples, les moyens de redressement de la polarisation 1120 comprennent un premier composant optique redresseur de la polarisation 1121 et un deuxième composant optique redresseur de la
15 polarisation 1122.

Le premier composant optique redresseur de la polarisation 1121 et le deuxième composant optique redresseur de la polarisation 1122 sont ici des composants plans, situés l'un à côté de l'autre.

Dans les deux premiers exemples des figures 1 et 2, les moyens de redressement de la polarisation 1120 sont situés dans le plan d'une fente de sortie 1101 qui est centrée sur l'axe optique A1.
20

Cette fente de sortie 1101 est soit réelle, c'est-à-dire matérialisée au moyen d'une ouverture physique dans un capot des moyens de modification de la polarisation 1100 ; soit virtuelle, c'est-à-dire qu'elle correspond à l'image de la fente
25 d'entrée 101 au travers des moyens de séparation de la polarisation 1110.

Dans le troisième exemple, les moyens de redressement de la polarisation 1120 sont situés juste après les moyens de séparation de la polarisation 1110 (voir détails ci-après).

Le premier composant optique redresseur de la polarisation 1121 est disposé
30 pour recevoir ledit premier faisceau lumineux séparé 11 et génère, pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21; respectivement le deuxième composant optique redresseur de la polarisation 1122 est disposé pour recevoir ledit deuxième faisceau lumineux séparé 12 et génère, pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , le deuxième faisceau lumineux polarisé
35 redressé 22.

Selon le premier exemple illustré sur la figure 1, les moyens de séparation de la polarisation 1110 comprennent un premier système optique 1111 comprenant ici une lentille convergente réfractant le faisceau lumineux amont 1 divergent.

En sortie de la lentille convergente 1111, le faisceau lumineux amont 1 est
5 dirigé vers un composant optique séparateur de polarisation 1113.

Dans ce premier exemple, ce composant optique séparateur de polarisation 1113 comprend un prisme de Wollaston.

Il est bien connu qu'un prisme de Wollaston est en fait un parallélépipède formé de deux prismes, ce parallélépipède ayant la particularité de séparer un rayon
10 lumineux incident de polarisation quelconque en deux rayons lumineux qui sont séparés angulairement et qui présentent des états de polarisation linéaires et orthogonaux entre eux.

Ainsi, le prisme de Wollaston 1113 génère à partir du faisceau lumineux amont 1, à chaque longueur d'onde $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$:

- 15 - le premier faisceau lumineux séparé 11 selon un état de polarisation linéaire, et
- le deuxième faisceau lumineux séparé 12 selon un état de polarisation linéaire orthogonal à l'état de polarisation du premier faisceau lumineux séparé 11.

En variante, le composant optique séparateur de polarisation pourrait par
20 exemple comprendre un prisme de Rochon, un prisme de Sénarmont.

En variante encore, dans ce premier exemple, le composant optique séparateur de polarisation pourrait par exemple comprendre un réseau de diffraction à séparation de polarisation.

Dans la configuration du premier exemple de la figure 1 où le composant
25 optique séparateur de polarisation 1113 comprend un prisme de Wollaston, le premier composant optique redresseur de la polarisation 1121 comprend une première lame à retard quart d'onde et le deuxième composant optique redresseur de la polarisation 1122 comprend une deuxième lame à retard quart d'onde.

Les deux lames à retard 1121, 1122 sont des lames uniaxes réalisées dans un
30 cristal biréfringent.

De manière classique, la première lame à retard 1121 présente ainsi premier axe lent et la deuxième lame à retard 1122 présente un second axe lent.

Il est bien connu en optique qu'une lame à retard quart d'onde transforme une polarisation linéaire formant un angle de 45° avec l'axe lent de la lame à retard en une
35 polarisation circulaire, le sens de la polarisation circulaire étant obtenu en amenant la polarisation linéaire sur l'axe lent de la lame quart d'onde.

La première lame à retard 1121 est disposée relativement au prisme de Wollaston 1113 de manière à ce que le premier axe lent de la première lame à retard 1121 forme un angle de 45° avec l'axe de polarisation linéaire du premier faisceau lumineux séparé 11.

5 La deuxième lame à retard 1122 est orientée par rapport à la première lame à retard 1121 de sorte que le deuxième axe lent soit orthogonal au premier axe lent.

Ainsi orientée, la deuxième lame à retard 1122 est disposée relativement au prisme de Wollaston 1113 de sorte que le deuxième axe lent de la deuxième lame à retard 1122 forme également un même angle de 45° avec l'axe de polarisation linéaire
10 du deuxième faisceau lumineux séparé 12, l'axe de polarisation linéaire du deuxième faisceau lumineux séparé 12 étant orthogonal à l'axe de polarisation linéaire du premier faisceau lumineux séparé 11.

On comprend donc que :

- le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21, qui est généré par
15 transmission du premier faisceau lumineux séparé 11 présentant un état de polarisation linéaire au travers de la première lame à retard 1121 quart d'onde, présente en sortie de ladite lame à retard un état de polarisation circulaire, et

- le deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22, qui est généré par
20 transmission du deuxième faisceau lumineux séparé 12 présentant un état de polarisation linéaire au travers de la deuxième lame à retard 1122 quart d'onde, présente en sortie de ladite lame à retard un état de polarisation circulaire.

De plus, comme le premier faisceau lumineux séparé 11 présente un état de polarisation linéaire orthogonal à l'état de polarisation du deuxième faisceau lumineux séparé 12, et comme le premier axe lent est orthogonal au deuxième axe lent, les états
25 de polarisation circulaires du premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et du deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22 sont identiques.

Ainsi, comme expliqué précédemment, le faisceau lumineux redressé 20, qui est formé du premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et du deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22, présente un état de polarisation circulaire.

30 Selon un deuxième exemple illustré sur la figure 2, les moyens de séparation de la polarisation 1110 comprennent également un premier système optique 1111 comprenant ici une lentille convergente réfractant le faisceau lumineux amont 1 divergent.

Cette lentille convergente 1111 dont l'axe optique est confondu avec l'axe
35 optique A1 est disposée le long de cet axe optique A1 par rapport à la fente d'entrée 101 de manière à ce que le faisceau lumineux amont 1 soit collimaté,

c'est-à-dire que les rayons lumineux du faisceau lumineux amont 1 soient tous parallèles entre eux à la sortie de la lentille convergente 1111.

En sortie de la lentille convergente 1111, le faisceau lumineux amont 1 est alors dirigé vers un composant optique séparateur de polarisation 1113 de sorte que le
5 faisceau lumineux amont 1 est ici en incidence normale sur ce composant optique séparateur de polarisation 1113.

Dans ce deuxième exemple, le composant optique séparateur de polarisation 1113 comprend ici un autre réseau de diffraction à séparation de polarisation.

10 En variante, dans ce deuxième exemple, le composant optique séparateur de polarisation pourrait par exemple comprendre un prisme de Wollaston, un prisme de Rochon, un prisme de Sénarmont.

De manière générale, un réseau de diffraction diffracte un faisceau lumineux incident en un ou plusieurs faisceaux diffractés se propageant dans des directions
15 différentes, c'est-à-dire que les faisceaux diffractés sont séparés angulairement.

En référence à la loi des réseaux de diffraction, on parle alors d'ordres de diffraction tels que l'ordre 0 et les ordres supérieurs : ordres ± 1 , ordres ± 2 , etc...

Un réseau de diffraction à séparation de polarisation est généralement un composant holographique plan formé d'au moins une lame d'onde diffractive
20 (« *diffractive waveplate* » en anglais) à cristaux liquides.

Un réseau de diffraction à séparation de polarisation présente la particularité de diffracter un faisceau lumineux incident en au moins un faisceau diffracté dans l'ordre de diffraction +1 et un faisceau diffracté dans l'ordre de diffraction -1, les deux faisceaux diffractés étant polarisés circulairement et orthogonalement. Par exemple, si
25 le faisceau diffracté dans l'ordre de diffraction +1 est polarisé circulairement à gauche, alors le faisceau diffracté dans l'ordre de diffraction -1 est polarisé circulairement à droite, ou *vice versa*.

Cette particularité existe que le faisceau lumineux incident soit non polarisé ou polarisé de manière quelconque. En effet, l'état de polarisation du faisceau lumineux incident ne régit que la répartition de l'énergie lumineuse dans l'ordre de diffraction +1
30 et dans l'ordre de diffraction -1.

L'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113 est conçu pour fonctionner sur une bande spectrale couvrant au moins le spectre du faisceau lumineux amont 1, de telle sorte qu'il présente des efficacités de diffraction dans l'ordre
35 de diffraction +1 et dans l'ordre de diffraction -1 telles que leur somme soit la plus

proche possible de 100%, typiquement supérieure ou égale à 90%, ou, de préférence, supérieure ou égale à 95%.

De cette manière, la diffraction du faisceau lumineux amont 1 par l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113 se fait avec une très haute efficacité, quelle que soit l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1.

La somme des efficacités de diffraction dans l'ordre de diffraction +1 et dans l'ordre de diffraction -1 ne peut être égale à 100%. En effet, non seulement une partie de la lumière incidente sur un réseau de diffraction à séparation de polarisation n'est pas diffractée – elle est soit rétroréfléchie, soit absorbée, soit diffusée –, mais aussi une partie de la lumière incidente sur un réseau de diffraction à séparation de polarisation est diffractée dans l'ordre de diffraction 0.

Disposé en aval de la lentille convergente 1111, l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113 diffracte, pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 le faisceau lumineux amont 1 en :

- le premier faisceau lumineux séparé 11 qui est diffracté dans un premier ordre de diffraction, ici l'ordre de diffraction +1 de l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113, et qui présente un premier état de polarisation circulaire, ici une polarisation circulaire gauche, et en
- le deuxième faisceau lumineux séparé 12 qui est diffracté dans un deuxième ordre de diffraction, ici l'ordre de diffraction -1 de l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113, et qui présente un deuxième état de polarisation circulaire, ici une polarisation circulaire droite, ce deuxième état de polarisation étant orthogonal au premier état de polarisation.

Dans ce deuxième exemple, les moyens de séparation de la polarisation 1110 comprennent également un deuxième système optique 1112; formé ici par une deuxième lentille convergente ayant un axe optique confondu avec l'axe optique A1.

Cette deuxième lentille convergente 1112 s'interpose entre l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113 et les moyens de redressement de la polarisation 1120, le long des chemins optiques du premier faisceau lumineux séparé 11 et du deuxième faisceau lumineux séparé 12, pour les intercepter.

Comme cela est bien représenté sur la figure 2, la deuxième lentille convergente 1112 focalise alors pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 :

- le premier faisceau lumineux séparé 11 sur le premier composant optique redresseur de la polarisation 1121, et
- le deuxième faisceau lumineux séparé 12 sur le deuxième composant optique redresseur de la polarisation 1122.

Dans la configuration du deuxième exemple de la figure 2 où le composant optique séparateur de polarisation 1113 comprend un autre réseau de diffraction à séparation de polarisation, le premier composant optique redresseur de la polarisation 1121 comprend une première lame à retard demi-onde et le deuxième composant optique redresseur de la polarisation 1122 comprend une lame neutre à faces parallèles.

Il est bien connu en optique qu'une lame à retard demi-onde transforme, ou « inverse », une polarisation circulaire en une polarisation circulaire orthogonale, c'est-à-dire qu'une polarisation circulaire gauche est inversée en une polarisation circulaire droite, et *vice versa*.

Par ailleurs, on entendra ici qu'une lame neutre à faces parallèles est une lame transparente qui ne modifie pas l'état de polarisation d'un faisceau lumineux la traversant.

On comprend donc que :

- le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21, qui est généré par transmission du premier faisceau lumineux séparé 11 présentant un état de polarisation circulaire gauche au travers de la lame demi-onde 1121, présente en sortie de ladite lame demi-onde un état de polarisation circulaire droite, et
- le deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22, qui est généré par transmission du deuxième faisceau lumineux séparé 12 présentant un état de polarisation circulaire droite au travers de la lame neutre 1122 quart d'onde, présente en sortie de ladite lame neutre un état de polarisation circulaire droite.

Ainsi, comme expliqué précédemment, le faisceau lumineux redressé 20, qui est formé de la superposition du premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et du deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22, présente un état de polarisation circulaire, qui est ici droite.

Selon un troisième exemple illustré sur la figure 3, les moyens de séparation de la polarisation 1110 comprennent, outre le premier système optique 1111 similaire au premier exemple, un composant optique séparateur de polarisation 1113 qui comporte un prisme à décalage de faisceau (« *beam displacer prism* » en anglais).

Ce prisme à décalage de faisceau 1113 est ici formé d'un cristal biréfringent de calcite, de forme parallélépipédique et droit, présentant une face d'entrée 1113A, une face de sortie 1113B, une face supérieure 1113C et une face inférieure 1113D parallèle à la face supérieure 1113C.

La face d'entrée 1113A et la face de sortie 1113B sont parallèles et taillées de telle sorte que l'axe optique du cristal forme un angle de 45° avec la face

d'entrée 1113A dans un plan parallèle à la face supérieure 1113C et à la face inférieure 1113D.

Le prisme à décalage de faisceau 1113 sépare le faisceau lumineux amont 1, qui est collimaté en incidence normale sur la face d'entrée 1113A du prisme à décalage de faisceau 1113 par la lentille convergente 1111, en le premier faisceau lumineux séparé 11 qui est dévié par rapport au faisceau lumineux amont 1 et en le deuxième faisceau lumineux séparé 12 qui n'est pas dévié par rapport au faisceau lumineux amont 1.

Par réfraction sur la face de sortie 1113B du prisme à décalage de faisceau 1113, le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 émergent du prisme à décalage de faisceau 1113 pour former deux faisceaux lumineux collimatés qui se propagent parallèlement l'un à l'autre et dans la même direction que le faisceau lumineux amont 1.

Par propagation dans le prisme à décalage de faisceau 1113, le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 sont décalés et ne se superposent pas en sortie du prisme à décalage de faisceau 1113.

La dimension du prisme à décalage de faisceau 1113 le long de l'axe optique A1 peut être ajustée de sorte que le décalage entre le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 soit suffisant pour que le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 ne se superposent pas en sortie du prisme à décalage de faisceau 1113.

On prévoira ainsi une dimension minimale du prisme à décalage de faisceau 1113 le long de l'axe optique A1.

En sortie du prisme à décalage de faisceau 1113, le premier faisceau lumineux séparé 11 et le deuxième faisceau lumineux séparé 12 présentent des états de polarisation linéaires, qui sont orthogonaux l'un à l'autre.

Ainsi, les moyens de redressement de la polarisation 1120 sont identiques à ceux du premier exemple illustré sur la figure 1 et comprennent deux lames quart d'onde 1121, 1122 orientées de telle sorte que les faisceaux lumineux polarisés redressés 21, 22 présentent un état de polarisation circulaire identique.

Ces faisceaux lumineux polarisés redressés 21, 22 sont ensuite focalisés sur la fente de sortie 1101 grâce à une lentille de focalisation 1130, pour former le faisceau lumineux redressé 20.

On vient ainsi de décrire comment le spectromètre 100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600 selon l'invention permet de générer, pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , à partir

du faisceau lumineux amont 1 qui présente *a priori* un état de polarisation quelconque, un faisceau lumineux redressé 20 qui présente un état de polarisation circulaire.

Sans limitation, on considérera dans la suite de la description que le faisceau lumineux redressé 20 présente un état de polarisation circulaire qui est droite.

5 On va désormais comprendre l'avantage d'une telle préparation de l'état de polarisation du faisceau lumineux redressé 20 à la lumière de la description des moyens de dispersion angulaire 130 ; 230 ; 330 ; 430 du spectromètre 100 ; 300 selon l'invention.

10 En effet, toujours selon l'invention, les moyens de dispersion angulaire 130 ; 230 ; 330 ; 430 comprennent au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432.

Ce réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 peut être du même type que l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation 1113 de la figure 2.

15 De préférence, le réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 est conçu de telle sorte qu'il présente une efficacité de diffraction très élevée, supérieure à 90%, mieux supérieure à 95% sur l'ensemble du spectre du faisceau lumineux amont 1, dans un seul et unique ordre de diffraction particulier, qui peut être soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1, lorsque le faisceau
20 lumineux redressé 20 présente un état de polarisation prédéterminé qui est circulaire. Le faisceau lumineux diffracté dans l'ordre de diffraction particulier par le réseau ainsi conçu présente alors :

- un état de polarisation circulaire identique à l'état de polarisation du faisceau lumineux redressé 20 lorsque ce réseau fonctionne en réflexion, et
- 25 - un état de polarisation circulaire inversé lorsque ce réseau fonctionne en transmission.

Sans limitation, on considérera ici que le réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 est conçu de telle sorte que l'ordre de diffraction particulier corresponde à l'ordre de diffraction +1, le faisceau lumineux
30 diffracté dans l'ordre de diffraction +1 étant polarisé selon un état de polarisation prédéterminé qui est circulaire gauche.

Par ailleurs, dans le spectromètre 100 ; 300 selon l'invention, les moyens de dispersion angulaire 130 ; 230 ; 330 ; 430 fonctionnant en combinaison avec les moyens de modification de la polarisation 1100, ces derniers sont donc configurés de
35 telle sorte que l'état de polarisation redressé du faisceau lumineux redressé 20 corresponde à l'état de polarisation prédéterminé pour lequel le réseau de diffraction à

séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 est le plus efficace dans l'ordre de diffraction particulier +1, dans l'exemple considéré ci-dessus.

Ainsi, on comprendra que le réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 des moyens de dispersion angulaire 130 ; 230 ; 330 ; 430 diffracte avec une très grande efficacité pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 le faisceau lumineux redressé 20 qui présente un état de polarisation circulaire gauche, en des faisceaux lumineux diffractés auxdites longueurs d'onde dans l'ordre de diffraction +1.

Plus précisément, le réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 diffracte le faisceau lumineux redressé 20 en :

- le faisceau lumineux diffracté 31 à la longueur d'onde λ_1 ,
- le faisceau lumineux diffracté 32 à la longueur d'onde λ_2 , et
- le faisceau lumineux diffracté 33 à la longueur d'onde λ_3 .

Comme expliqué plus haut, ces faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 sont alors exploités par les moyens de focalisation 140 ; 340 et les moyens de détection 150 afin que le spectromètre 100 ; 300 puisse analyser le spectre du faisceau lumineux amont 1.

On décrira plus en détail ci-après les différents modes de réalisation de l'invention précédemment décrite, dans lesquels les moyens de modification de la polarisation peuvent être indifféremment ceux du premier exemple de la figure 1 ou ceux du deuxième exemple de la figure 2.

Premier mode de réalisation d'un spectromètre

On a représenté sur la figure 3 un spectromètre 100 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Ce spectromètre 100 est un type de spectromètre bien connu, dit de « Czerny-Turner ».

En variante, le spectromètre 100 pourrait par exemple être de type « Ebert-Fastie », « Monk-Gillieson », ou « Littrow ».

Dans cette configuration, les moyens de collimation 120 comprennent un premier miroir concave sphérique dont le plan focal est situé dans le plan de la fente de sortie 1101 des moyens de modification de la polarisation 1100.

Ainsi disposé, le premier miroir concave 120 collimate le faisceau lumineux redressé 20 sur le réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 du spectromètre 100 qui fonctionne en réflexion.

Comme expliqué précédemment, le faisceau lumineux redressé 20 présentant un état de polarisation redressé qui est circulaire, le réseau de diffraction à séparation

de polarisation 130 diffracte en réflexion le faisceau lumineux redressé 20 dans un unique ordre de diffraction, ici l'ordre de diffraction +1, pour chaque longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 du faisceau lumineux amont 1, donnant ainsi naissance aux trois faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 qui sont des faisceaux lumineux de rayons
5 parallèles.

Toujours dans cette configuration, les moyens de focalisation 140 comprennent un deuxième miroir concave sphérique, qui est ici identique au premier miroir concave 120, dont le plan focal est situé dans le plan des moyens de détection 150.

Ainsi disposé, le deuxième miroir concave 140 focalise les faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 respectivement aux trois points de focalisation 41, 42, 43 sur les
10 moyens de détection 150.

Les moyens de détection 150 comportent dans ce premier mode de réalisation un détecteur multi-canal formé ici d'une barrette linéaire de capteurs CCD placée de telle sorte que les points de focalisation 41, 42, 43 sont alignés sur la ligne de
15 capteurs CCD.

Les points de focalisation 41, 42, 43 sont centrés sur des capteurs CCD différents de sorte que le détecteur multi-canal 150 délivre un signal relatif à l'intensité lumineuse diffractée aux différentes longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 .

Ceci étant vrai pour toutes les longueurs d'onde appartenant au spectre du faisceau lumineux amont 1, les moyens de détection 150 mesurent alors, en fonction
20 de la longueur d'onde, les intensités lumineuses du faisceau lumineux amont 1 pour en déduire son spectre.

Il est par ailleurs connu que la résolution spectrale (exprimée en nanomètres) d'un spectromètre est fonction de la taille des capteurs CCD et de leur espacement.

En variante, le détecteur multi-canal pourrait par exemple être formé d'une barrette de photodiodes, d'une matrice en deux dimensions de capteurs CCD ou de photodiodes.
25

En variante encore, les moyens de détection pourraient comporter une fente et un détecteur mono-canal. La fente présente une forme et des dimensions qui sont
30 celles de l'image de la fente d'entrée par le système optique de collimation, le réseau de diffraction à séparation de polarisation et le système optique de focalisation. Le détecteur mono-canal est un détecteur unique, par exemple une photodiode silicium, germanium, InGaAs, InAs, InSb, PbS, PbSe, ou HgCdTe, une photodiode à avalanche, un tube photo-multiplicateur.

L'efficacité de diffraction du réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 étant très élevée, les intensités lumineuses des faisceaux lumineux
35

diffractés 31, 32, 33 mesurées aux points de focalisation 41, 42, 43 des moyens de détection sont très grandes, et l'analyse du spectre du faisceau lumineux amont 1 est plus aisée.

De plus, le spectromètre 100 est, relativement, moins sensible à la lumière
5 parasite ambiante.

Il est enfin possible de n'utiliser qu'un seul réseau de diffraction à séparation de polarisation 130 pour couvrir une large bande spectrale, ce qui peut éviter d'insérer une tourelle multi-réseaux dans le spectromètre 100.

Variante du premier mode de réalisation d'un spectromètre

10 On a représenté sur la figure 4 un spectromètre 100 selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention.

Dans cette variante, le spectromètre 100 comporte des moyens de dispersion angulaire 230 qui comprennent ici trois réseaux de diffraction à séparation de polarisation 231, 232, 233.

15 Ces trois réseaux de diffraction à séparation de polarisation 231, 232, 233 sont conçus de manière à ce que leurs bandes spectrales se recouvrent partiellement. Par exemple, le premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 231 couvre une bande spectrale allant de 350 nm à 1000 nm, le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 232 couvre une bande spectrale allant de 900 nm à
20 1800 nm, et le troisième réseau de diffraction à séparation de polarisation 233 couvre une bande spectrale allant de 1700 nm à 2500 nm.

Ceci permet, d'une part, de couvrir une bande spectrale encore plus grande, et, d'autre part, d'avoir des réseaux de diffraction à séparation de polarisation 231, 232, 233 dont l'efficacité est encore optimisée sur leur bande spectrale respective.

25 Les trois réseaux de diffraction à séparation de polarisation 231, 232, 233 sont en effet disposés sur les trois faces latérales d'une tourelle multi-réseaux 230A de forme triangulaire. Par rotation de cette tourelle, il est alors possible de sélectionner dans le spectromètre 100, le réseau de diffraction à séparation de polarisation 231, 232, 233 à utiliser en fonction de la bande spectrale adéquate.

30 En variante du premier mode de réalisation de l'invention et de sa variante représentés respectivement sur les figures 4 et 5, où le spectromètre 100 est de type « Czerny-Turner », le spectromètre pourrait par exemple comporter une pluralité d'étages dispersifs cascades en configuration additive ou soustractive.

Selon cette variante, chacun des étages dispersifs peut comprendre un réseau
35 de diffraction à séparation de polarisation supplémentaire identique au réseau de diffraction à séparation de polarisation des moyens de dispersion angulaire.

En cascasant plusieurs étages en configuration additive, on peut additionner les dispersions spectrales des différents étages sans dégrader la transmission globale dans le spectromètre grâce à l'utilisation des réseaux de diffraction à séparation de polarisation.

- 5 En cascasant plusieurs étages en configuration soustractive, on peut réaliser un filtre accordable extrêmement raide, tout en gardant une excellente transmission au travers du spectromètre.

Deuxième mode de réalisation d'un spectromètre

- 10 On a représenté sur la figure 6 un spectromètre 200 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

Ce spectromètre 200 comporte un composant optique hybride 260 rassemblant les moyens de dispersion angulaire et les moyens de focalisation.

- 15 Ce composant optique hybride 260 est ici formé d'un réseau de diffraction à séparation de polarisation qui fonctionne en réflexion et qui n'est pas plan mais présente une forme par exemple sphérique ou concave de sorte que le faisceau lumineux redressé 20 est simultanément diffracté et focalisé par le composant optique hybride 260 sur les moyens de détection 150.

- 20 La configuration de ce deuxième mode de réalisation est particulièrement avantageuse en termes d'encombrement et de réglage du fait du nombre réduit de composants utilisés dans ce spectromètre 200.

Troisième mode de réalisation d'un spectromètre

On a représenté sur la figure 7 un spectromètre 300 selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

- 25 Les moyens de collimation 320 du spectromètre 300 comprennent ici une première lentille convergente dont le plan focal est situé dans le plan de la fente de sortie 3101 des moyens de modification de la polarisation 1100 de sorte que la première lentille 320 collimate le faisceau lumineux redressé 20 sur le réseau de diffraction à séparation de polarisation 330 du spectromètre 300 qui fonctionne dans ce mode de réalisation en transmission.

- 30 Les moyens de focalisation 340 comprennent une deuxième lentille convergente dont le plan focal est sensiblement confondu avec le plan des moyens de détection 350 qui sont identiques aux moyens de détection 150 du spectromètre 100 représenté sur la figure 3.

- 35 Ainsi disposé, la deuxième lentille 340 focalise les faisceaux lumineux diffractés 31, 32, 33 respectivement aux trois points de focalisation 41, 42, 43 sur les moyens de détection 350.

En variante, et de manière avantageuse, les moyens de collimation et les moyens de focalisation pourraient par exemple comprendre des systèmes optiques complexes avec plusieurs lentilles permettant de corriger les aberrations géométriques et chromatiques sur une large bande spectrale et pour des faisceaux lumineux amont
5 présentant une forte divergence.

On observe sur la figure 5 que l'ensemble des éléments du spectromètre 300 n'est pas aligné selon une même direction, comme par exemple celle de l'axe optique A1. Dans certaines configurations, il peut néanmoins être avantageux d'avoir un spectromètre « en ligne », par exemple pour des raisons d'encombrement, ou bien
10 lorsqu'il s'agit de transformer une camera d'imagerie en spectromètre.

Variante du troisième mode de réalisation d'un spectromètre

On a ainsi représenté sur la figure 8 un spectromètre 300 selon une variante du deuxième mode de réalisation de l'invention.

Les moyens de dispersion angulaire 430 comportent un prisme 431 et un
15 réseau de diffraction à séparation de polarisation 432 identique au réseau de diffraction à séparation de polarisation 330 du spectromètre 300 représenté sur la figure 5.

Le prisme 431 est un prisme droit qui présente :

- une face d'entrée 431A perpendiculaire à l'axe optique A1 et orientée vers la première lentille 320, de sorte que les rayons du faisceau lumineux redressé 20
20 soient en incidence normale sur cette face d'entrée 431A du prisme 431,
- une base 431B perpendiculaire à la face d'entrée 431A, et
- une face de sortie 431C opposée et inclinée par rapport à la face d'entrée 431A et formant avec celle-ci un angle de prisme $\hat{A}$.

Avantageusement, les différentes faces 431A, 431B, 431C du prisme 431 sont
25 traitées anti-reflet.

Comme cela est représenté sur la figure 6, le réseau de diffraction à séparation de polarisation 432 est placé sur la face de sortie 431C inclinée du prisme 431, accolé à celle-ci au moyen d'une colle optique.

En variante, le réseau de diffraction à séparation de polarisation pourrait par
30 exemple être placé sur la face d'entrée du prisme, accolé à celle-ci au moyen d'une colle optique.

En variante encore, on pourrait fabriquer le réseau de diffraction à séparation de polarisation directement sur la face de sortie ou sur la face d'entrée.

L'angle de prisme $\hat{A}$ est déterminé de telle sorte que le faisceau lumineux diffracté 32 pour une longueur d'onde λ_2 située ici sensiblement au centre du spectre
35 du faisceau lumineux amont 1 soit collimaté selon l'axe optique A1.

De cette façon, en plaçant la deuxième lentille 340 de telle sorte que son axe optique soit parallèle à l'axe optique A1, les trois points de focalisation 41, 42, 43 sont situés dans un plan perpendiculaire à cet axe optique A1. Les moyens de détection 150 sont alors alignés et centrés selon l'axe optique A1.

5 Ainsi, le prisme 431 introduit une déviation angulaire destinée à compenser celle introduite par le réseau de diffraction à séparation de polarisation 432 afin que les différents éléments du spectromètre 300 soient alignés selon une même direction, ici selon l'axe optique A1.

Ceci permet donc d'avoir un spectromètre « en ligne ».

10 Dans d'autres modes alternatifs de réalisation d'un spectromètre, les moyens de collimation et/ou les moyens de focalisation sont conçus et agencés afin de former une image de la fente de sortie des moyens de modification de la polarisation.

Dans le cas des figures 1 à 3, les moyens de modification de la polarisation 1100 sont alors tels que le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21
15 et le deuxième faisceau lumineux polarisé redressé 22 sont respectivement imagés par les moyens de collimation 120 ; 320 et/ou les moyens de focalisation 140 ; 260 ; 340 en deux points distincts des moyens de détection 150, qui peuvent alors mesurer séparément leur intensités respectives.

Le premier faisceau lumineux polarisé redressé 21 et le deuxième faisceau
20 lumineux polarisé redressé 22 présentant chacun un état de polarisation fonction de l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1, il est alors possible, connaissant la configuration des moyens de modification de la polarisation, d'en déduire l'état de polarisation du faisceau lumineux amont 1.

On réalise ainsi un spectropolarimètre.

25 Premier mode de réalisation d'un monochromateur

On a représenté sur la figure 9 un premier monochromateur 500 comportant deux étages dispersifs 500A, 500B successifs qui sont ici cascades en configuration soustractive.

Le monochromateur 500 comporte une fente d'entrée 101 et des moyens de
30 modification de la polarisation 1100 identiques à ceux des spectromètres 100, 200, 300 des trois modes de réalisation d'un spectromètre précédemment décrit.

Il comporte par ailleurs des moyens de collimation 520, formés ici d'un premier miroir concave, qui permet de collimater le faisceau lumineux redressé 20 issu des moyens de modification de la polarisation 1100.

35 De la même manière, le monochromateur 500 comporte des moyens de focalisation 540 formés ici d'un deuxième miroir concave, identique au premier miroir

concave 520, qui permet de focaliser le faisceau lumineux issu du deuxième étage dispersif 500B sur un plan image 505.

Le premier étage dispersif 500A et le deuxième étage dispersif 500B sont situés, le long du faisceau lumineux, entre le premier miroir concave 520 et le
5 deuxième miroir concave 540.

Comme cela est représenté sur la figure 9, le premier étage dispersif 500A comporte :

- un premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A fonctionnant en réflexion,
- 10 - un troisième miroir concave 502A, identique au premier miroir concave, et
- un premier miroir plan 503A.

Le premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A est positionné dans le monochromateur 500 de manière à intercepter le faisceau lumineux
15 collimaté par le premier miroir concave 520.

Le premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A diffracte alors ce faisceau lumineux collimaté en fonction de la longueur d'onde en des faisceaux lumineux diffractés 31, 32.

Par souci de clarté, on n'a représenté sur la figure 9 que deux faisceaux
20 lumineux diffractés 31, 32 respectivement diffractés aux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 .

Pour des raisons d'encombrement, les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 sont ensuite repliés par réflexion sur le troisième miroir concave 502A et sur le premier miroir plan 503A.

En sortie du premier étage dispersif 500A et en amont du deuxième étage
25 dispersif 500B, une fente de filtrage 501 est placée sur le chemin optique des faisceaux lumineux diffractés 31, 32.

Cette fente de filtrage 501 a pour fonction de filtrer spatialement les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 et de réduire la lumière parasite se propageant dans le monochromateur.

30 Plus généralement, la fente de filtrage 501 peut comprendre un masque présentant une pluralité d'ouvertures permettant de sélectionner simultanément plusieurs bandes spectrales bien définies en fonction des dimensions des ouvertures et de leurs espacements respectifs.

En variante, la fente de filtrage pourrait comprendre un autre type de masque
35 présentant une pluralité d'ouvertures permettant de réaliser une fonction de filtre spectral éventuellement complexe.

De manière analogue au premier étage dispersif 500A, le deuxième étage dispersif 500B comporte :

- un deuxième miroir plan 503B,
- un quatrième miroir concave 502B, identique au troisième miroir concave, et
- un deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B, identique au premier et fonctionnant également en transmission,

Le deuxième miroir plan 503B réfléchit les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 filtrés par la fente de filtrage 501 en direction du quatrième miroir concave 502B, celui-ci repliant les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 pour les diriger vers le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B.

Le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B diffracte alors une deuxième fois les faisceaux lumineux diffractés 31, 32.

Comme évoqué plus haut, selon ce premier mode de réalisation d'un monochromateur, les deux étages dispersifs 500A, 500B sont ici en configuration soustractive.

Ceci signifie que le monochromateur 500 est configuré de telle sorte que le deuxième étage dispersif 500B compense la dispersion du premier étage dispersif 500A.

En particulier, ici, le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B est orienté de telle sorte que les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 incidents sur ce deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B sont superposés après diffraction en réflexion sur le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B et forment un faisceau lumineux émergent 20A qui est un faisceau collimaté.

Pour cela, l'orientation du deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B est ici obtenue par rotation de 180° du premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A autour de l'axe optique A1 des moyens de modification de la polarisation 1100.

Ainsi, le faisceau lumineux issu du deuxième étage dispersif 500A peut être ensuite focalisé par les moyens de focalisation 540 sur le plan image 505.

Variante du premier mode de réalisation d'un monochromateur

On a représenté sur la figure 10 une variante du premier monochromateur 500 comportant deux étages dispersifs 500A, 500B successifs qui sont ici cascades en configuration additive.

Cette variante comporte les mêmes éléments que le monochromateur 500 de la figure 9.

En revanche, la configuration de la variante du premier monochromateur 500 est telle que l'orientation du premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A est identique à celle du deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B.

Dans ces conditions, le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B ne compense plus la diffraction par le premier réseau de diffraction à séparation de polarisation 531A mais, au contraire, double la dispersion des faisceaux lumineux diffractés 31, 32 de sorte qu'ils sont séparés en sortie du deuxième étage dispersif 500B.

Le deuxième miroir concave 540 focalise alors les faisceaux lumineux diffractés 31, 32 en deux points de focalisation distincts du plan image 505.

Deuxième mode de réalisation d'un monochromateur

On a représenté sur la figure 11 un deuxième mode de réalisation d'un monochromateur 600 comportant trois étages dispersifs successifs :

- un premier étage dispersif 600A et un deuxième étage dispersif 600B cascades en configuration soustractive, et
- un troisième étage dispersif 600C simple.

Dans ce deuxième mode de réalisation, les différents éléments situés en amont ou en aval des différents étages dispersifs sont identiques aux éléments du premier mode de réalisation d'un monochromateur 500 représenté sur la figure 9.

De manière analogue, le premier étage dispersif 600A est identique au premier étage dispersif 500A du premier mode de réalisation d'un monochromateur.

Le deuxième étage dispersif 600B comporte non seulement tous les éléments du deuxième étage dispersif 500B du premier mode de réalisation du monochromateur 500, mais aussi un cinquième miroir concave 602C et un quatrième miroir plan 603C.

Le premier étage dispersif 600A et le deuxième étage dispersif 600B étant cascades en configuration soustractive, le faisceau obtenu par diffraction sur le deuxième réseau de diffraction à séparation de polarisation 531B est le le faisceau lumineux émergent collimaté 20A.

Comme dans le premier étage dispersif 600A, ce faisceau lumineux émergent collimaté 20A est replié par le cinquième miroir concave puis réfléchi par le troisième miroir plan 603C.

Il traverse alors une seconde fente de filtrage 601 située le long du chemin optique, entre le deuxième étage dispersif 600B et le troisième étage dispersif 600C.

Le troisième étage dispersif 600C est un étage dispersif classique qui comprend ici un cinquième miroir plan 603D, un sixième miroir concave 602D et un
5 réseau de diffraction à traits 631C pouvant présenter un très fort pouvoir dispersif.

En variante, le troisième étage dispersif pourrait par exemple comporter un réseau de diffraction à séparation de polarisation, qui serait alors identique au premier réseau de diffraction.

L'intérêt d'un monochromateur tel que celui représenté sur la figure 11 est de
10 proposer un monochromateur qui disperse dans le plan image 505 une petite bande spectrale avec la même dispersion que dans le plan de la fente de filtrage 501 (si les focales des étages sont les mêmes), mais avec un taux de lumière parasite bien inférieur, du fait du double filtrage dans le plan de la fente de filtrage 501 et dans le plan de la seconde fente de filtrage 601

15 Variante du deuxième mode de réalisation d'un monochromateur

On a représenté sur la figure 12 une variante du deuxième monochromateur 600 comportant :

- deux étages dispersifs 600A, 600B successifs qui sont ici cascades en configuration additive, et
- 20 - un troisième étage dispersif 600C identique à celui du monochromateur 600 représenté sur la figure 11.

L'intérêt d'un monochromateur selon la variante représentée sur la figure 12 est de proposer un monochromateur qui additionne les dispersions des trois étages, et permet d'atteindre de grandes dispersion avec un taux de lumière parasite très faible,
25 beaucoup plus faible que ce que l'on aurait en utilisant un seul étage trois fois plus dispersif.

REVENDICATIONS

1. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) pour l'analyse du spectre d'un faisceau lumineux amont (1) comportant :
 - 5 - une fente d'entrée (101) adaptée à laisser traverser le faisceau lumineux amont (1),
 - des moyens de dispersion angulaire (130 ; 230 ; 260 ; 330 ; 430 ; 500A, 500B ; 600A, 600B, 600C), adaptés à disperser angulairement un faisceau lumineux redressé (20) en fonction d'une pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3) en une
 - 10 pluralité de faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33),
 - caractérisé en ce que lesdits moyens de dispersion angulaire (130, 230 ; 260 ; 330 ; 430 ; 500A, 500B ; 600A, 600B) comprennent au moins un réseau de diffraction à séparation de polarisation (130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 ; 531A, 531B) qui est adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à diffracter ledit faisceau
 - 15 lumineux redressé (20) en la pluralité de faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33) dans un même ordre de diffraction particulier dudit réseau de diffraction à séparation de polarisation (130 ; 231, 232, 233 ; 330 ; 432 ; 531A, 531B) qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1, lorsque ledit faisceau lumineux redressé (20) présente un état de polarisation redressé prédéterminé qui est circulaire,
 - 20 et en ce que ledit spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) comporte en outre des moyens de modification de la polarisation (1100) disposés entre ladite fente d'entrée (101) et lesdits moyens de dispersion angulaire (130, 230 ; 260 ; 330 ; 430 ; 500A, 500B ; 600A, 600B), et adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à modifier l'état de polarisation dudit faisceau lumineux amont (1) pour générer
 - 25 ledit faisceau lumineux redressé (20) selon l'état de polarisation redressé prédéterminé, lesdits moyens de modification de la polarisation (1100) comprenant :
 - des moyens de séparation de la polarisation (1110) adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à générer, à partir dudit faisceau lumineux amont (1), un premier faisceau lumineux séparé (11) et un
 - 30 deuxième faisceau lumineux séparé (12) qui présentent des états de polarisation orthogonaux entre eux, et
 - des moyens de redressement de la polarisation (1120) adaptés, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à générer un premier faisceau lumineux polarisé redressé (21) à partir dudit premier faisceau
 - 35 lumineux séparé (11) et un deuxième faisceau lumineux polarisé redressé (22) à partir dudit deuxième faisceau lumineux séparé (12), ledit premier faisceau

lumineux polarisé redressé (21) et ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé (22) présentant un même état de polarisation, ledit premier faisceau lumineux polarisé redressé (21) et ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé (22) formant ledit faisceau lumineux redressé (20) présentant ledit même état de polarisation.

2. Spectromètre (100 ; 200 ; 300) selon la revendication 1, comportant des moyens de détection (150) adaptés à mesurer l'intensité lumineuse de ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33) pour chaque longueur d'onde de ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), et à délivrer un signal représentatif dudit spectre du faisceau lumineux amont (1),

3. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon la revendication 1 ou 2 comportant des moyens de focalisation (140 ; 260 ; 340 ; 540) de ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33) angulairement en fonction de ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), lesdits moyens de focalisation (140 ; 260 ; 340 ; 540) étant adaptés à focaliser, pour chaque longueur d'onde de ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), ladite pluralité de faisceaux lumineux diffractés (31, 32, 33) sur un plan image (505, 605) ou sur lesdits moyens de détection (150).

4. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel lesdits moyens de redressement de la polarisation (1120) comprennent :

- un premier composant optique redresseur de la polarisation (1121) adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à générer ledit premier faisceau lumineux polarisé redressé (21) à partir dudit premier faisceau lumineux séparé (11) à ladite pluralité de longueurs d'onde, et
- un deuxième composant optique redresseur de la polarisation (1122) adapté, pour la pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à générer ledit deuxième faisceau lumineux polarisé redressé (22) à partir dudit deuxième faisceau lumineux séparé (12) à ladite pluralité de longueurs d'onde.

5. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel lesdits moyens de séparation de la polarisation (1110) comprennent :

- un premier système optique (1111) adapté à intercepter en entrée ledit faisceau lumineux amont (1) pour le diriger en sortie vers au moins un composant optique séparateur de polarisation (1113) qui est adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à générer, à partir dudit faisceau lumineux amont (1),

ledit premier faisceau lumineux séparé (11) et ledit deuxième faisceau lumineux séparé (12).

6. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon la revendication 5, dans lequel :

5 - ledit premier système optique (1111) est agencé de manière à ce que les rayons lumineux dudit faisceau lumineux amont (1) soient tous parallèles entre eux à la sortie dudit premier système optique (1111), et dans lequel

- lesdits moyens de séparation de la polarisation (1110) comprennent également un deuxième système optique (1112) adapté, pour ladite pluralité de
10 longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à intercepter en entrée, d'une part, ledit premier faisceau lumineux séparé (11) pour le focaliser sur ledit premier composant optique redresseur de la polarisation (1121) et, d'autre part, ledit deuxième faisceau lumineux séparé (12) pour le focaliser sur ledit deuxième composant optique redresseur de la polarisation (1122).

15 7. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel :

- ledit composant optique séparateur de polarisation (1113) comprend un prisme de Wollaston, un prisme de Rochon, un prisme de Sénarmont, ou un prisme à décalage de faisceau, configuré de manière à ce que ledit premier faisceau lumineux
20 séparé (11) et ledit deuxième faisceau lumineux séparé (12) présentent des états de polarisation linéaires orthogonaux entre eux, et

- ledit premier composant optique redresseur de la polarisation (1121) comprend une première lame à retard quart d'onde présentant un premier axe lent et ledit deuxième composant optique redresseur de la polarisation (1122) comprend une
25 deuxième lame à retard quart d'onde présentant un second axe lent perpendiculaire au premier axe lent.

8. Spectromètre (100 ; 200 ; 300 ; 500 ; 600) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel :

- ledit composant optique séparateur de polarisation (1113) comprend un
30 autre réseau de diffraction à séparation de polarisation adapté, pour ladite pluralité de longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3), à diffracter ledit faisceau lumineux amont (1) en :

- ledit premier faisceau lumineux séparé (11) qui est diffracté dans un premier ordre de diffraction qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1 de l'autre réseau de diffraction à séparation de
35 polarisation (1113), et qui présente un premier état de polarisation circulaire, et en

- ledit deuxième faisceau lumineux séparé (12) qui est diffracté dans un deuxième ordre de diffraction qui est soit l'ordre de diffraction +1, soit l'ordre de diffraction -1 de l'autre réseau de diffraction à séparation de polarisation (1113), ledit deuxième ordre de diffraction étant différent du premier ordre de diffraction, et qui présente un deuxième état de polarisation circulaire orthogonal audit premier état de polarisation, et dans lequel

- ledit premier composant optique redresseur de la polarisation (1121) comprend une lame à retard demi-onde disposée de manière à inverser l'état de polarisation dudit premier faisceau lumineux séparé (11), et ledit deuxième élément optique redresseur de la polarisation (1122) comprend une lame neutre à faces parallèles adaptée pour conserver l'état de polarisation dudit deuxième faisceau lumineux séparé (12).

9. Spectromètre (500 ; 600) selon l'une des revendications 1 à 8, comportant une pluralité d'étages dispersifs (500A, 500B ; 600A, 600B, 600C) cascades en configuration additive ou soustractive.

10. Spectromètre (300) selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel lesdits moyens de dispersion angulaire (430) comprennent un prisme (431) présentant une face d'entrée (431A) qui intercepte ledit faisceau lumineux redressé (20) et une face de sortie (431C) sur laquelle est disposé ledit réseau de diffraction à séparation de polarisation (432).

11. Spectromètre (100 ; 200 ; 300) selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel lesdits moyens de détection (150) comprennent un détecteur multi-canal.

12. Spectromètre selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel lesdits moyens de détection comprennent une fente et un détecteur mono-canal.

Fig. 1

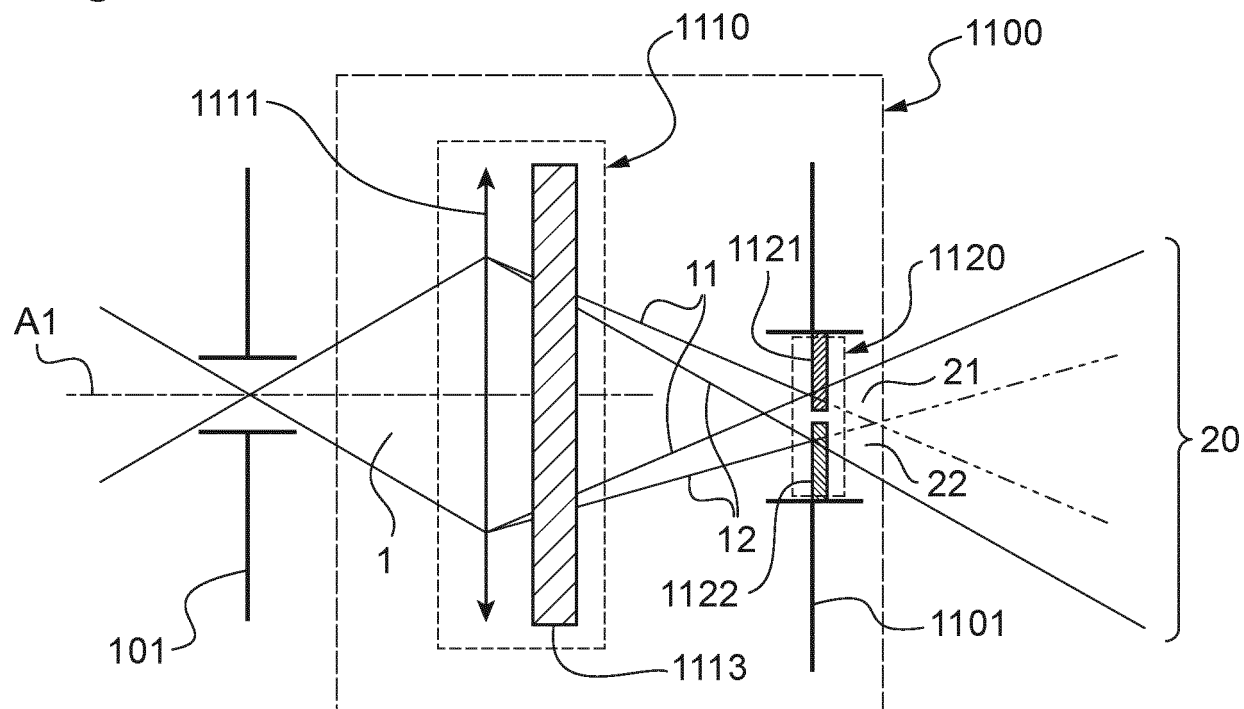
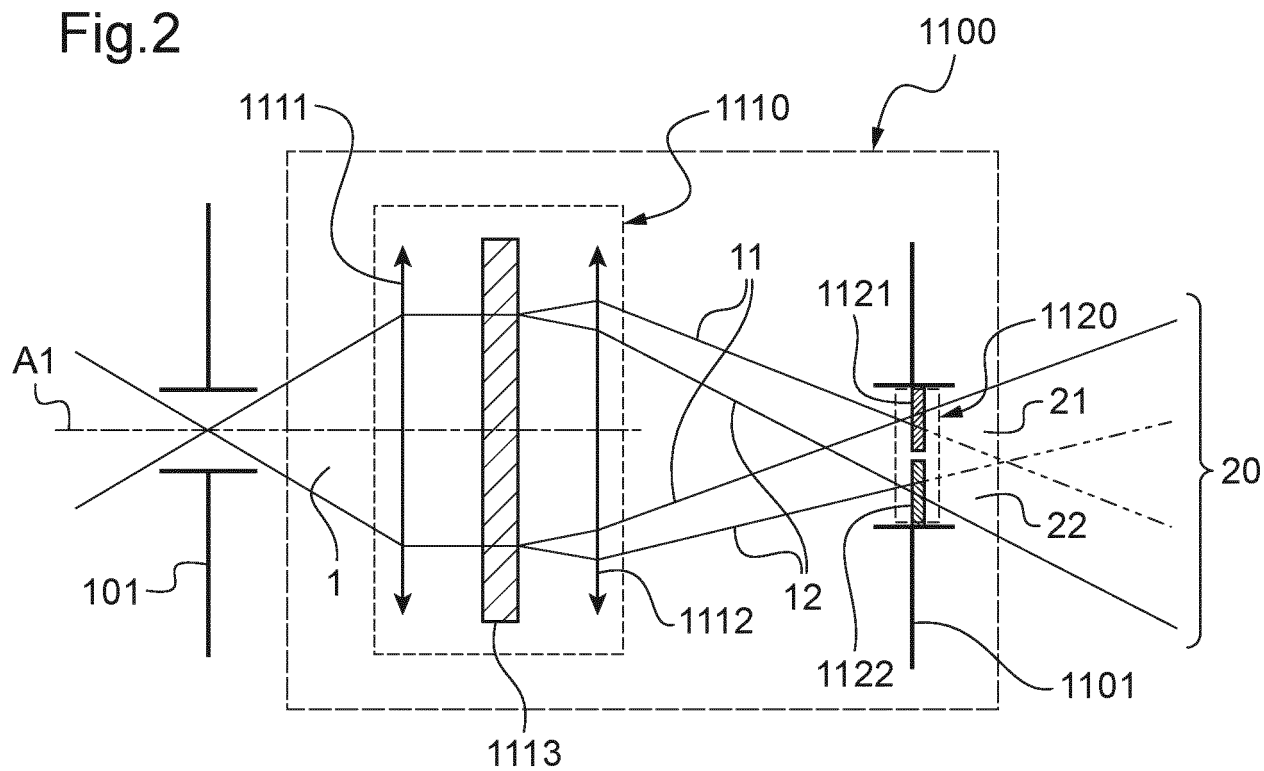


Fig.2



2/6

Fig.3

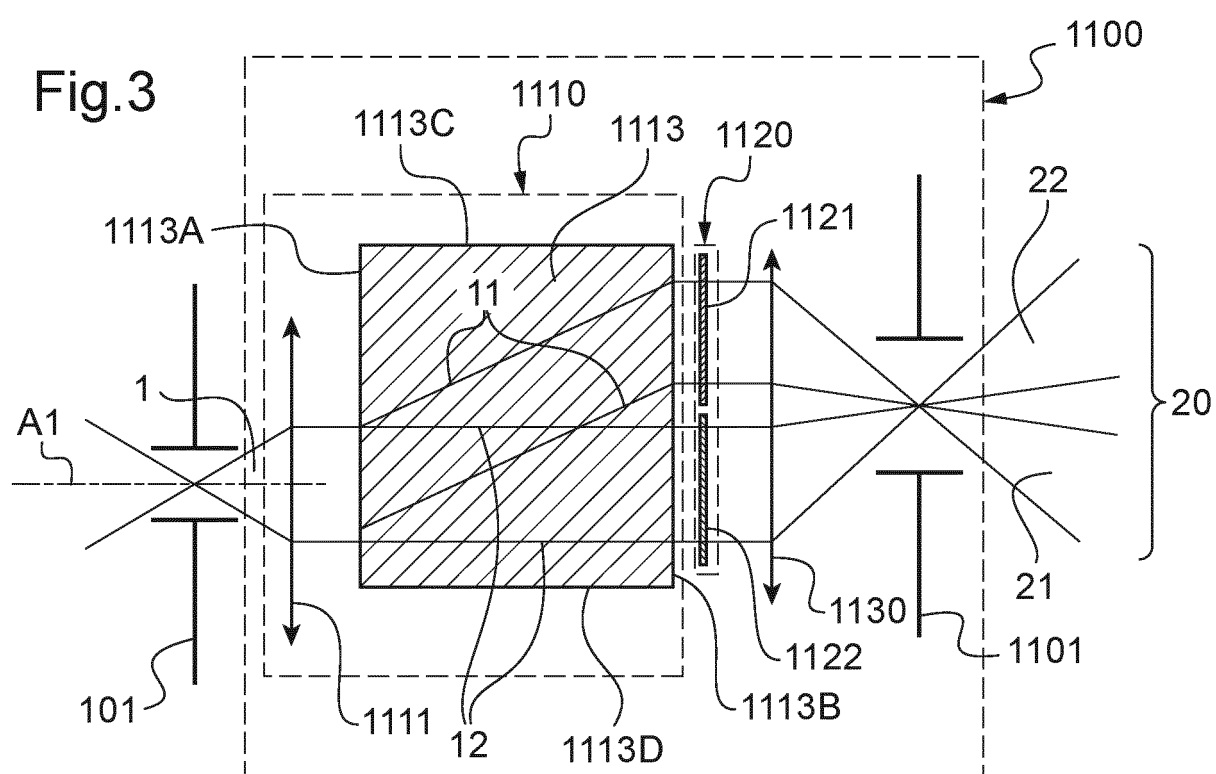


Fig.4

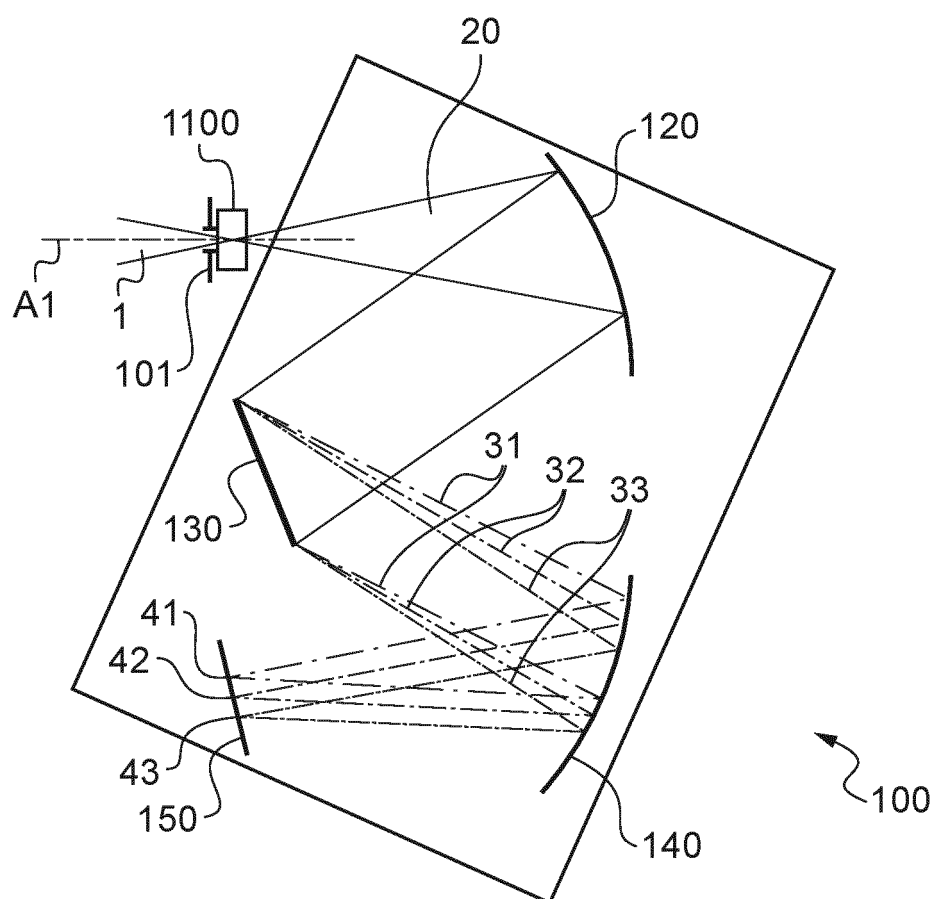


Fig.5

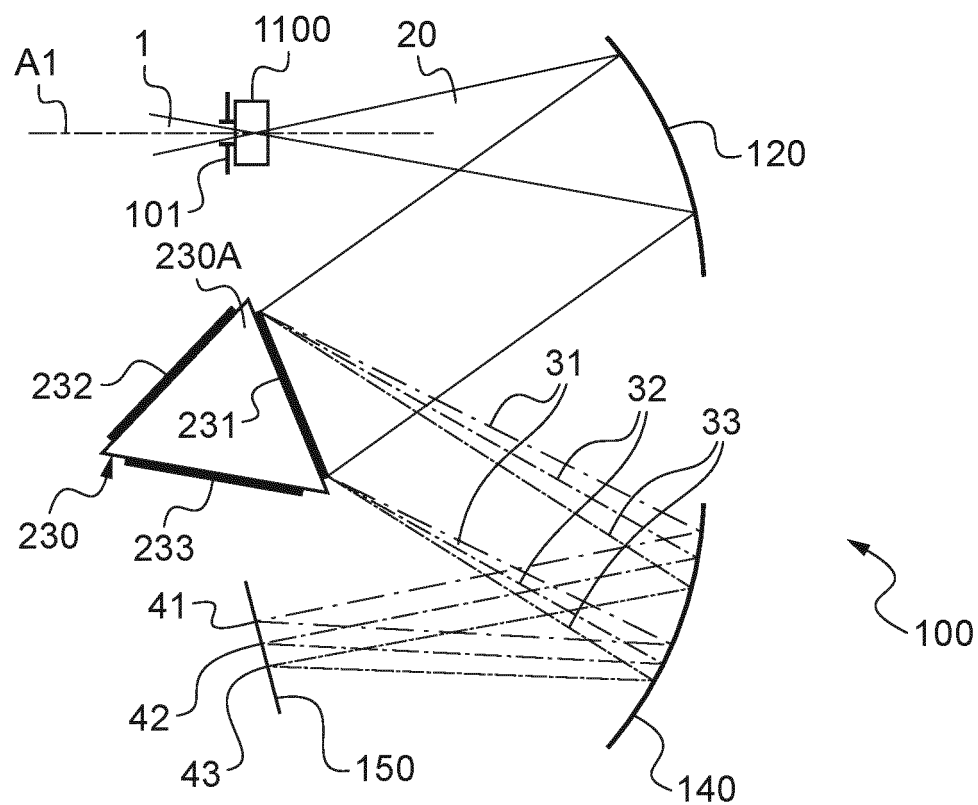


Fig.6

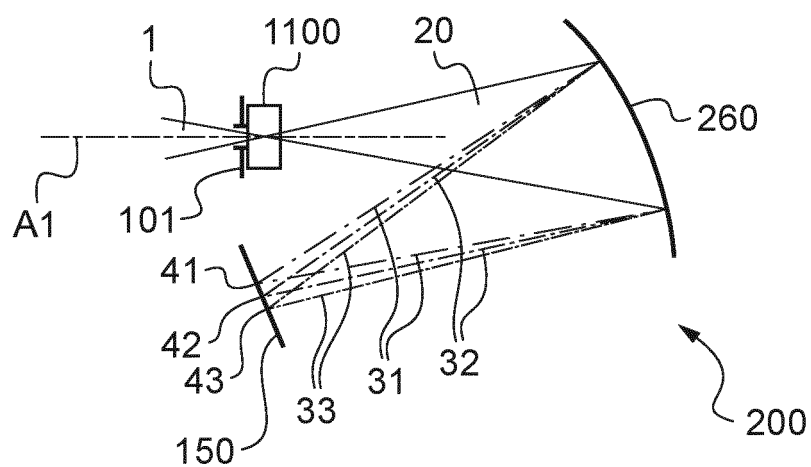


Fig.7

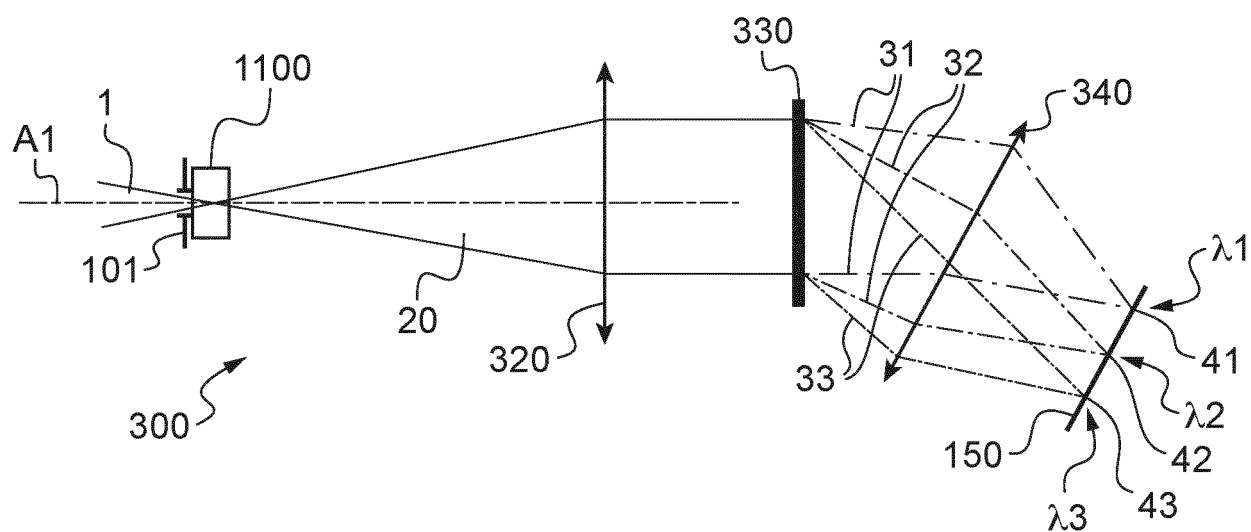
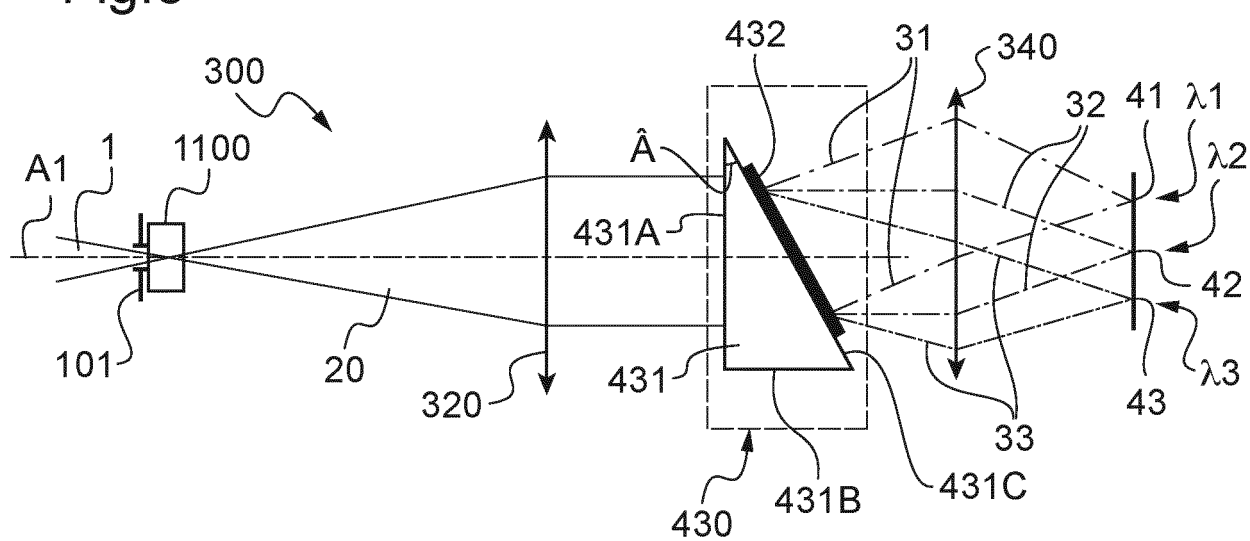


Fig.8



5/6

Fig.9

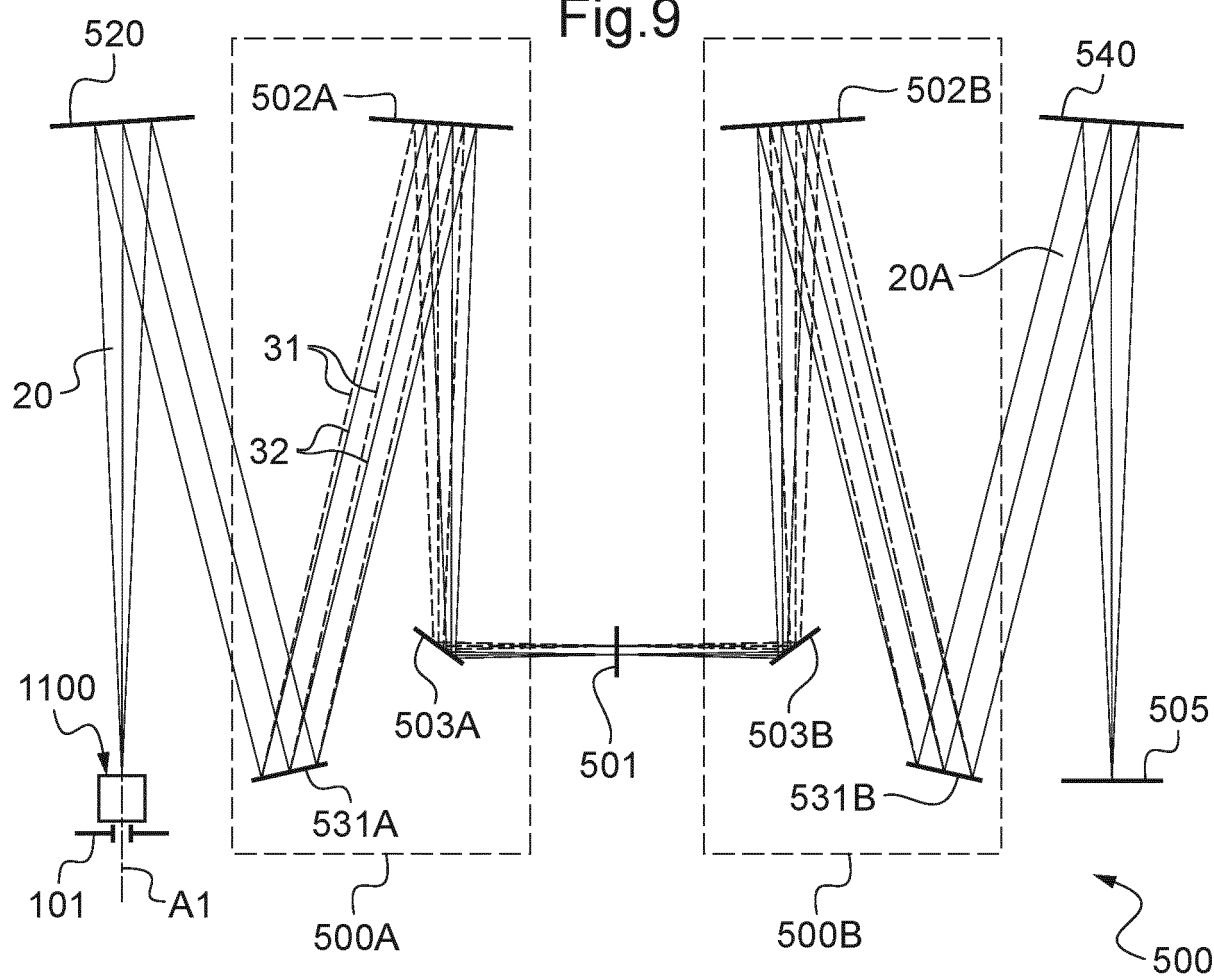
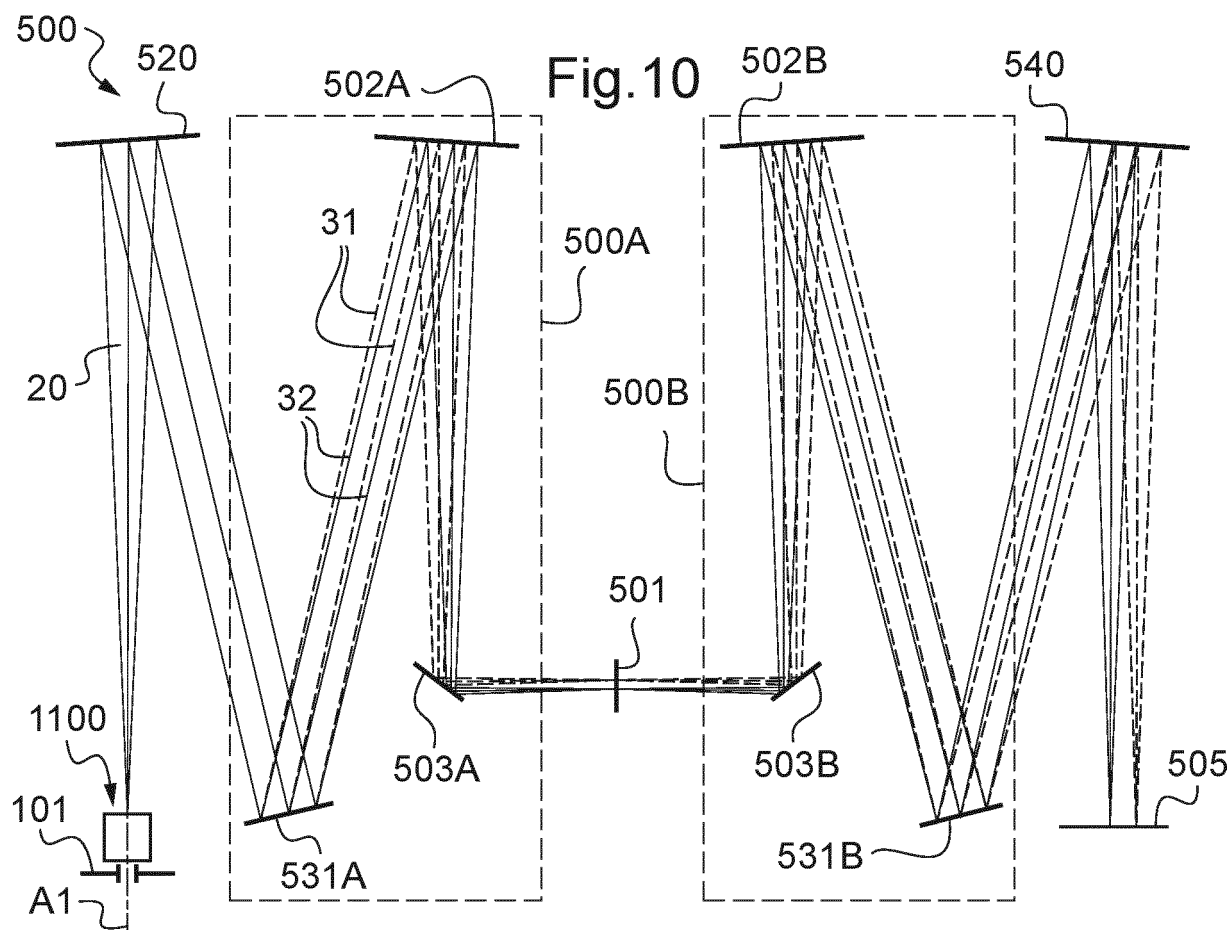


Fig.10



6/6

Fig.11

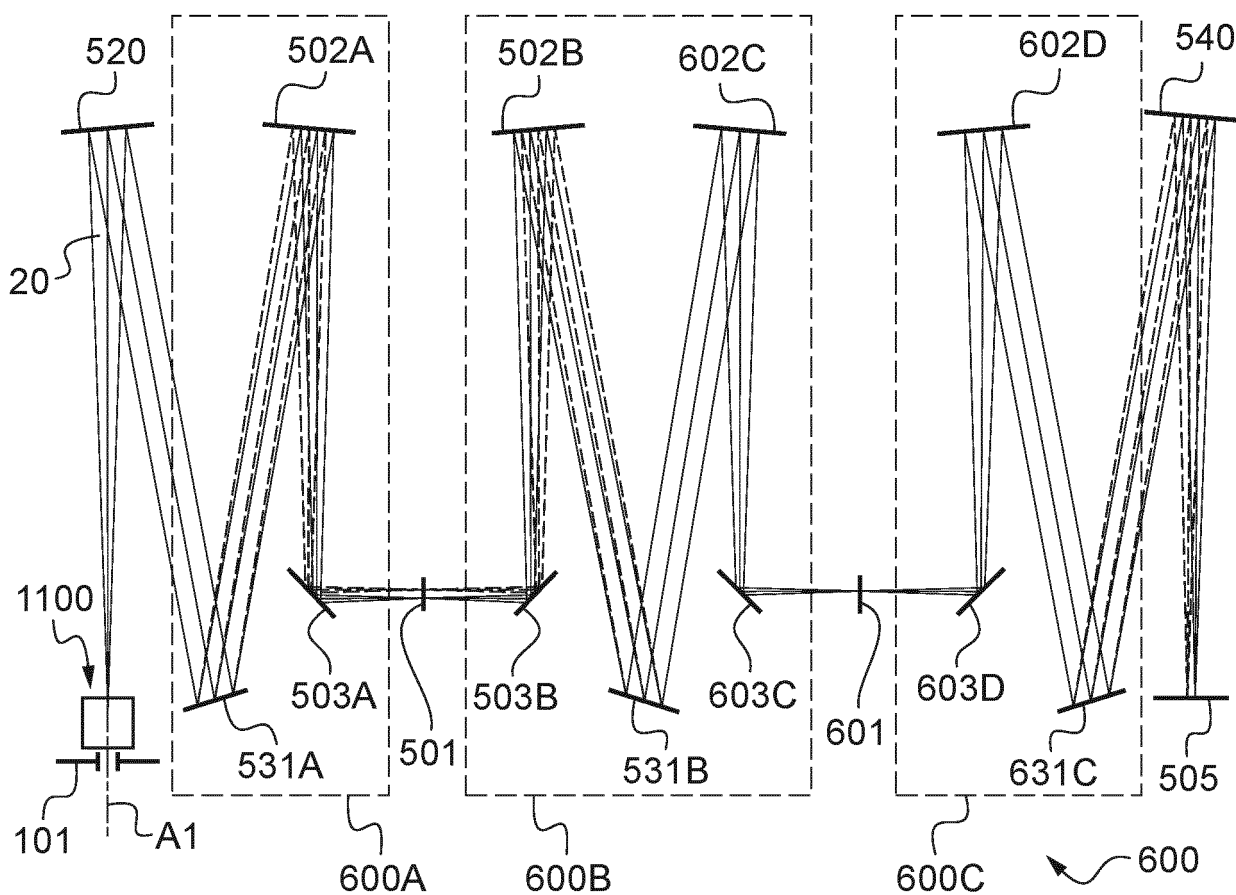
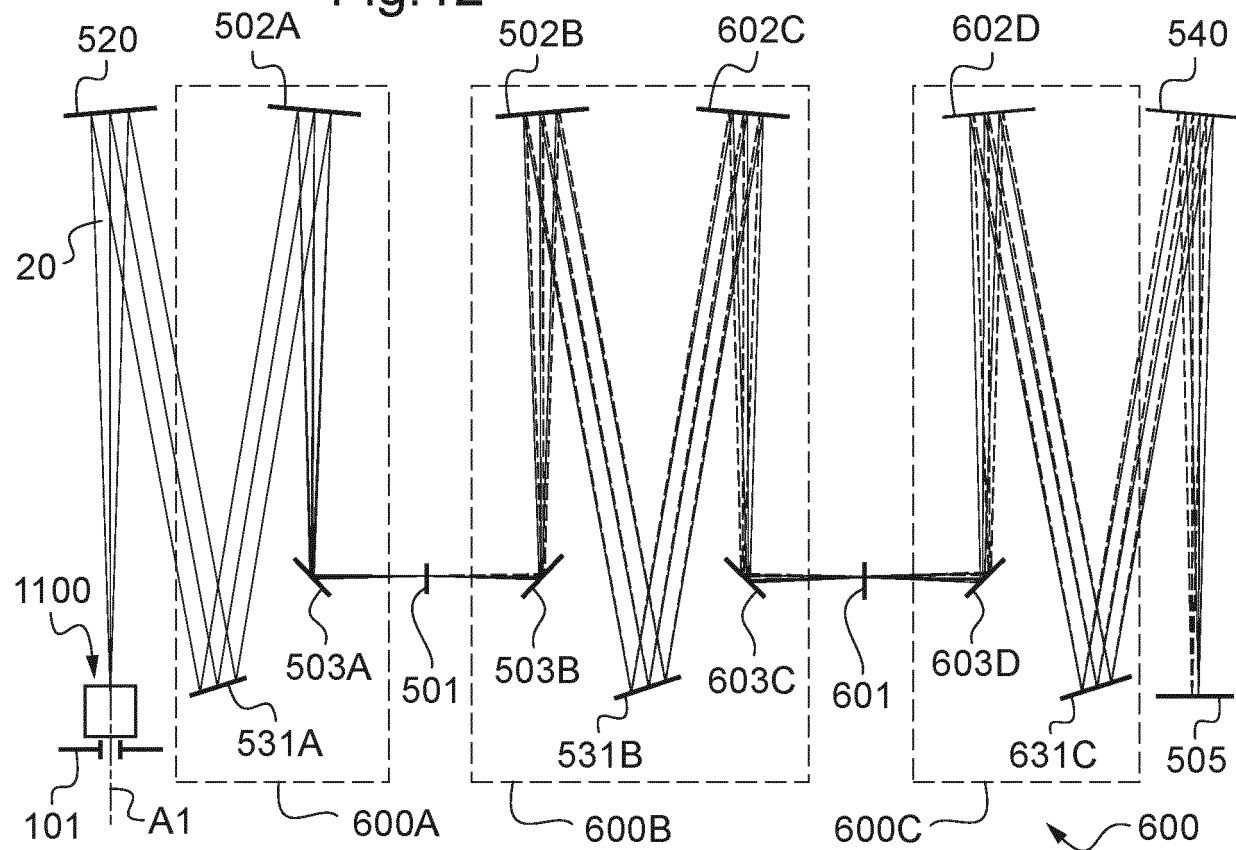


Fig.12





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 774974
FR 1261627

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	ELENA NICOLESCU AND MICHAEL J ESCUTI: "Compact spectrophotometer using polarization-independent liquid crystal tunable optical filters", PROCEEDINGS OF SPIE, S P I E - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, US , vol. 6661 1 janvier 2007 (2007-01-01), page 666105, XP007921936, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.735152 Extrait de l'Internet: URL:http://www.ece.ncsu.edu/oleg/files-wik i/5/56/SPIE07Nicolescu-LCPG_spectrometer.p df * abrégé; figures 3, 5 * * alinéas [0003], [0004] * -----	1-12	G01J3/02 G01J3/14 G02B27/10
A	WO 2010/042089 A1 (UNIV NORTH CAROLINA STATE [US]; ESCUTI MICHAEL J [US]; OH CHULWOO [US]) 15 avril 2010 (2010-04-15) * alinéa [0056] * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 juillet 2013		Varelas, Dimitrios	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1261627 FA 774974

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-07-2013**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2010042089 A1	15-04-2010	CN 102246089 A	16-11-2011
		EP 2350736 A1	03-08-2011
		JP 2012505430 A	01-03-2012
		WO 2010042089 A1	15-04-2010
