

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 566 902

②1 N° d'enregistrement national :

85 09825

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 J 3/02, 3/08.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 27 juin 1985.

③0 Priorité : DD, 2 juillet 1984, n° WP G 01 J/264 789;
20 août 1984, n° WP G 01 J/266 416.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 3 janvier 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Entreprise dite : VEB CARL ZEISS
JENA, entreprise de droit allemand. — DD.*

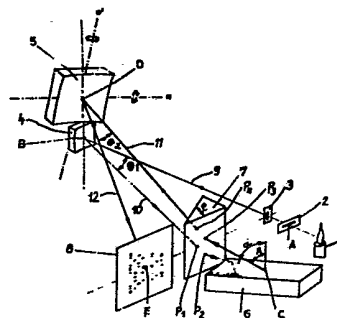
⑦2 Inventeur(s) : Stefan Florek, Helmut Becker-Ross, Hans-
Jürgen Dobschal et Joachim Mohr.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Madeuf.

⑤4 **Système optique pour spectroscopie.**

⑤7 Système optique pour spectromètres dans lequel les dispositifs optiques 4, 5 du collimateur et de la caméra sont des miroirs concaves sphériques et comportent des sommets qui sont également éloignés de l'organe de dispersion et se trouvent dans le plan de dispersion de l'organe de dispersion et que des rayons moyens réfléchis sur ces miroirs 4, 5 se propagent dans des plans de réflexion orientés perpendiculairement au plan de dispersion de l'organe de dispersion, que l'ouverture d'entrée de la lumière est constituée par des fentes 2, 3 qui sont disposées perpendiculairement l'une à l'autre et à la suite l'une de l'autre sur le trajet du faisceau lumineux de manière à limiter l'ouverture d'entrée dans le sens sagittal et dans le sens tangentiel, les images sagittale et tangentielle de la fente coïncidant dans le plan focal 8.



La présente invention est relative à un système optique pour spectroscope que l'on peut utiliser en particulier en spectroscopie d'émission atomique aussi bien avec un polychromateur pour l'enregistrement simultané de plusieurs raies spectrales qu'avec un "monochromateur" pour l'enregistrement séquentiel continu du spectre total d'un échantillon à analyser.

Compte tenu des analyses qui doivent être effectuées, les spectromètres doivent permettre d'obtenir le pouvoir résolvant minimal nécessaire et la conductibilité lumineuse minimale nécessaire dans un vaste domaine du spectre tout en donnant au spectromètre des dimensions aussi réduites que possible et en diminuant les frais. La surface de réseau nécessaire est déterminée par la conductibilité lumineuse minimale exigée. Pour une dimension fixe du réseau et lorsque la distance focale du miroir collimateur et/ou miroir de caméra diminue, il y a augmentation des angles marginaux minimum possibles et, par conséquent, des défauts d'image. Pour réduire le plus possible les dimensions de l'installation, il faut réaliser un spectromètre présentant le moins possible de défauts d'images. Les dispositifs optiques connus ne permettent pas de réaliser dans des conditions satisfaisantes la correction des défauts d'images, notamment du coma et de l'astigmatisme.

Dans le procédé décrit par le brevet US-PS 4 183 668, par exemple, la correction de l'astigmatisme s'effectue d'après le principe de l'éclairage du réseau avec dispersion par déplacement de la fente d'entrée. Dans ce cas, les conditions de compensation du défaut de coma dans les dispositifs de Czerny-Turner d'après Reader (JOSA 9 (1969) 1189) ne sont pas respectées. L'astigmatisme et le coma ne peuvent pas être corrigés indépendamment l'un de l'autre. La correction des défauts d'image conduit à adopter des distances et des angles de construction qui

entraînent une augmentation considérable des dimensions et du prix des appareils correspondants.

Pour résoudre certains problèmes de spectrométrie qui se présentent fréquemment, il faut des spectromètres qui permettent aussi bien une analyse simultanée qu'un enregistrement continu.

L'analyse simultanée permet, notamment dans les opérations d'analyse de routine, de réduire sensiblement la durée des mesures et le nombre des échantillons nécessaires. L'enregistrement séquentiel continu permet, indépendamment des canaux simultanés choisis, d'étudier n'importe quels éléments du spectre individuellement ou d'avoir une vue d'ensemble sur l'ensemble ou sur certaines parties du spectre de rayonnement. Les systèmes optiques qui ont donné en ce sens les meilleurs résultats sont les spectromètres à échelle car la totalité de la lumière mesurée d'un domaine étendu du spectre est incurvée, dans le réseau à échelle, avec un grand rendement et un grand pouvoir résolvant, dans une zone angulaire restreinte. Les dispositifs à monochromateur ne sont en général suffisamment corrigés, en ce qui concerne leur défaut d'image, que pour un trajet de faisceau, de sorte qu'il n'est pas possible d'effectuer une mesure simultanée de plusieurs raies spectrales à l'intérieur d'un domaine de spectre étendu.

Par contre, les polychromateurs, par exemple les dispositifs à réseau concave de Paschen-Runge, ne conviennent pas pour une opération supplémentaire avec monochromateur, à cause de l'extérieur du spectre.

Lorsqu'on est obligé d'appliquer les deux procédés de mesure, il faut soit utiliser deux spectromètres indépendants, soit apporter à un spectromètre des modifications essentielles. C'est ce qui se produit dans le cas d'un spectromètre à échelle (Prospectus de la Société Beckman, Spectrospan V), dans lequel un réseau à échelle et un prisme sont utilisés dans un montage où ils sont

croisés l'un par rapport à l'autre. A la sortie du spectromètre, la totalité du spectre d'une substance soumise à l'analyse se présente suivant une surface. Un système de cassettes interchangeable, qui se trouve entre le spectromètre et l'enveloppe du photomultiplicateur, permet l'analyse simultanée ou séquentielle d'un échantillon. Un changement de cassette est également nécessaire lors de la modification du programme d'analyse dans le polychromateur. Dans l'opération d'analyse simultanée avec polychromateur, le spectre de rayonnement de la substance analysée se forme sur la surface focale et la cassette qui se trouve derrière contient, sur son côté avant, la fente de sortie aux lieux géométriques des raies d'émission correspondantes. A l'intérieur de la cassette, il y a, derrière chaque fente, un système optique de déviation, qui envoie la lumière sur les photomultiplicateurs correspondants qui sont montés à poste fixe. Pour l'opération d'analyse avec monochromateur, il y a, au milieu, une cassette spéciale à fente de sortie variable. Par pivotement de l'ensemble réseau-prismes, on peut, à l'aide d'un dispositif d'entraînement, régler n'importe quelle raie spectrale voulue sur la fente de sortie. Derrière la fente de sortie, il y a un photomultiplicateur.

La modification essentielle et désavantageuse que l'on trouve dans ce spectromètre consiste en ce qu'en plus du déplacement de deux éléments optiques il faut remplacer la cassette lorsqu'on passe du polychromateur au monochromateur. Toutes ces opérations rendent le spectromètre compliqué et cher.

Le but de l'invention est de faire en sorte que les défauts d'image, notamment l'astigmatisme et le coma, les dimensions du système et les frais de construction soient beaucoup plus réduits que dans les dispositifs techniques connus. Il faut donc réaliser un système optique dans lequel les défauts d'image que constituent l'astigma-

tisme et le coma puissent être corrigés indépendamment l'un de l'autre, dans lequel l'état de correction optimale soit obtenu avec un dispositif d'encombrement minimal, sans modifications essentielles, et qui permette aussi bien un enregistrement simultané qu'un enregistrement séquentiel continu.

Ce but est atteint, suivant l'invention, par l'utilisation d'un système optique pour spectromètre qui comporte une ouverture d'entrée de la lumière, un collimateur, un organe de dispersion, un dispositif optique de caméra et des éléments placés dans la surface focale du système et assurant le tri et la transmission, suivant l'invention, d'éléments du spectre jusqu'à un dispositif récepteur, du fait que le dispositif de collimateur et de caméra est constitué par des miroirs sphériques concaves dont les sommets sont à la même distance de l'organe de dispersion dans le plan de dispersion de l'organe de dispersion et que les faisceaux médians qui se réfléchissent sur eux se propagent dans des plans de réflexion perpendiculaires au plan de dispersion de l'organe de dispersion, que l'ouverture d'entrée de la lumière est constituée par des fentes qui sont disposées perpendiculairement l'une à l'autre et à la suite l'une de l'autre sur le trajet du faisceau de manière à limiter dans le sens sagittal et dans le sens tangentiel l'ouverture d'entrée, les images sagittale et tangentielle de la fente coïncidant dans le plan focal, et que l'ouverture d'entrée de la lumière est placée, par rapport au milieu de la surface focale, du côté opposé et à la même distance du plan de dispersion de l'organe de dispersion.

Alors que la fente déterminant la limite tangentielle est à une distance du miroir du collimateur égale à :

$$r_t = \frac{1}{2} R \cos \theta$$

5 cette distance est, pour la fente déterminant la limite sagittale, égale à :

$$r_s = \frac{1}{2} R \cos \theta \left[\frac{(\cos \alpha / \cos \beta)^2}{(\cos \alpha / \cos \beta)^2 \cdot \cos^2 \theta - \sin^2 \theta} \right]$$

10 expression dans laquelle R est le rayon du miroir du collimateur et de caméra, θ , l'angle compris entre les faisceaux médians réfléchis, α l'angle d'incidence et β l'angle de réflexion sur l'organe de dispersion. En raison de la disposition spéciale des éléments optiques, l'augmentation
15 par anamorphose de l'élément de dispersion s'effectue perpendiculairement aux plans dans lesquels s'effectue la déviation des faisceaux médians sur les miroirs.

Lorsque la fente d'entrée se trouve au foyer tangentiel du miroir collimateur, c'est-à-dire à la distance
20 $r_t = \frac{1}{2} R \cos \theta$, il se produit une compensation de coma. Lorsqu'on emploie comme élément de dispersion un réseau de diffraction, le défaut de coma ne dépend plus de l'angle d'incidence α ni de l'angle de réflexion β .

L'astigmatisme est éliminé lorsque l'image
25 tangentielle et l'image sagittale de la fente d'entrée coïncident dans la surface focale. Pour obtenir ce résultat, on subdivise, suivant l'invention, la fente d'entrée en deux fentes partielles. La composante de fente, qui limite le faisceau lumineux incident perpendiculairement à la direction
30 de dispersion, se trouve, en raison de la compensation de coma, au foyer tangentiel du miroir collimateur. L'image nette se forme alors au foyer tangentiel du miroir de caméra ($r_t = \frac{1}{2} R \cos \theta$). Pour que l'image sagittale se forme au même endroit, la composante de fente d'entrée, qui
35 limite le faisceau incident dans la direction de dispersion,

est déplacée le long de l'axe optique. La distance correspondante est donnée par r_s .

Dans ces conditions, on obtient, sur la surface focale, une image sans coma et sans astigmatisme. Il est
5 alors possible de maintenir l'angle marginal des miroirs et la différence entre l'angle d'incidence α et l'angle de réflexion β au niveau du réseau aux faibles valeurs que permettent les dimensions des éléments de l'appareil. On obtient de cette manière une installation compacte dans un
10 espace réduit dans laquelle les défauts d'image constitués par le coma et l'astigmatisme peuvent être amenés à disparaître indépendamment l'un de l'autre en un point de la surface focale.

Le dispositif suivant l'invention convient
15 aussi bien aux réseaux à échelle, aux réseaux plans ou aux prismes de dispersion qu'aux réseaux à échelle et aux prismes de dispersion dans un montage croisé. Dans ce dernier cas, le prisme de dispersion est placé à proximité du réseau à échelle, de préférence en double passage sur le
20 trajet du faisceau. Pour permettre l'opération avec polychromateur et monochromateur lorsque le prisme et le réseau d'échelle sont en montage croisé, le miroir de caméra est monté sur paliers de manière à pouvoir tourner autour de deux axes qui sont perpendiculaires à un axe optique et
25 certains des éléments destinés au tri et à la transmission des éléments du spectre qui sont essentiellement répartis d'une manière géométriquement uniforme sur la surface focale et destinés à l'opération avec polychromateur sont utilisés pour l'opération avec monochromateur. Les propriétés
30 de reproduction du système optique décrit permettent un déplacement du spectre sur la surface focale, au prix d'une diminution négligeable de la qualité de l'image au moyen d'une faible rotation du miroir de caméra. En effectuant une rotation déterminée autour des deux axes,
35 on peut donc reproduire chacun des éléments du spectre total

sur la surface frontale d'un élément conducteur de lumière, par exemple d'une fibre conductrice de la lumière. La surface frontale se trouve à une distance très limitée de la surface focale.

5 En choisissant un nombre minimal d'éléments photoconducteurs provenant d'un ensemble destiné à l'opération avec polychromateur et répartis d'une manière à peu près uniforme sur le spectre, on peut enregistrer le spectre total d'une manière continue, avec le dispositif
10 récepteur dont on dispose, en faisant tourner le miroir de caméra d'une manière déterminée à l'intérieur du domaine angulaire pour lequel le pouvoir de résolution voulu est assuré.

Il est avantageux que le nombre des canaux
15 séquentiels dans l'opération avec monochromateur soit égal au nombre des canaux simultanés pour l'opération avec polychromateur qui se trouvent dans le spectromètre.

Pour qu'il ne soit nécessaire d'effectuer que de très faibles déplacements du miroir de caméra, tous les
20 canaux simultanés peuvent, dans certains cas, être utilisés pour l'opération avec monochromateur. L'affectation des éléments photoconducteurs aux différents récepteurs peut être librement choisie et commandée par calculatrice.

A côté de l'opération avec monochromateur,
25 la rotation du miroir de caméra dans l'opération avec polychromateur permet d'enregistrer les intervalles de spectre immédiatement voisins pour tous les éléments de spectre mesurés simultanément et, suivant les influences de l'environnement, de ramener le spectre sur la surface
30 focale.

L'opération avec monochromateur est réalisable du fait que des parties au moins de l'organe de dispersion peuvent être déplacées et que la surface focale comporte une fente de sortie placée sensiblement en son milieu.

35 Lorsqu'on utilise un réseau à échelle, celui-ci est monté sur palier de manière à pouvoir tourner

autour d'un axe parallèlement aux sillons du réseau. Il en est de même lorsque l'organe de dispersion est un réseau plan. Lorsqu'en plus du réseau à échelle, on utilise un prisme de dispersion pour la séparation d'ordre, il faut qu'à la rotation s'ajoute un pivotement autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de rotation et situé dans le plan de dispersion du réseau à échelle. Pour un prisme de dispersion, l'axe de rotation est perpendiculaire à son plan de dispersion.

10 L'invention est décrite ci-dessous d'une manière plus détaillée en se référant au dessin.

La fig. 1 représente un système optique suivant l'invention.

15 La fig. 2 représente la répartition des surfaces frontales d'éléments photoconducteurs dans un bloc de fibres.

Comme le montre la fig. 1, une source lumineuse 1 est suivie, sur le trajet du faisceau, par une ouverture d'entrée de la lumière qui est constituée par des fentes d'entrée 2,3 disposées orthogonalement l'une par rapport à l'autre et qui assure la limitation sagittale et tangentielle de l'ouverture d'entrée. Un miroir collimateur 4 de rayon R_1 et un miroir de caméra 5 de rayon R_2 , tous deux sphériques et concaves, sont montés très près l'un de l'autre de manière que leurs sommets B et D soient à la même distance du centre C d'un réseau à échelle 6. Dans le cas de la solution suivant l'invention, $R_1 = R_2 = R$. Le miroir de caméra 5 est monté sur palier de manière à pouvoir tourner autour de deux axes a, a' perpendiculaires à son axe optique. Ce déplacement peut s'effectuer d'une manière déterminée au moyen de moteurs pas à pas, commandés par calculatrices, et de broches, par l'intermédiaire de bras de levier. La séparation d'ordre est assurée par un prisme de dispersion 7 situé en amont du réseau à échelle 6 en double trajet de faisceau. Les segments $\overline{P_1B}$ et $\overline{P_4D}$ déterminent le plan de dispersion principal du système optique

qui subit un changement de direction au niveau du prisme de dispersion 7 et est défini, entre le réseau à échelle 6 et le prisme de dispersion 7, par les segments $\overline{P_2C}$ et $\overline{P_3C}$.

5 La fente d'entrée 2 et une surface focale 8 sont placées de manière que leurs milieux A et E sont à la même distance et de part et d'autre du plan de dispersion principal.

Un faisceau lumineux partant de la source lumineuse 1 et représenté par son faisceau moyen 9 traverse
 10 au centre A la fente d'entrée sagittale 2, puis la fente d'entrée tangentielle 3 et arrive au sommet B du miroir collimateur 4. Le rayon moyen réfléchi 10 passe par les points P_1 et P_2 en traversant le prisme de dispersion 7 et arrive, suivant un angle d'incidence α , au point C du
 15 réseau à échelle 6. Après réflexion suivant l'angle β , le rayon moyen 11 traverse de nouveau le prisme de dispersion 7, mais cette fois aux points P_3 et P_4 . Le rayon médian 11 arrive au sommet D du miroir de caméra 5 qui renvoie le rayon réfléchi moyen 12 sur la surface focale 8.
 20 Dans cette surface focale 8, on obtient un spectre subdivisé en deux dimensions. Les rayons moyens 9 et 10, 11 et 12 forment des angles marginaux θ_1 et θ_2 , reliés, dans la solution suivant l'invention, par la relation $\theta_1 = \theta_2 = \theta$. Le changement de direction s'effectue dans des plans de ré-
 25 flexion perpendiculaires au plan de dispersion principal.

Un dispositif suivant l'invention est réalisé dans les conditions suivantes :

$$\begin{array}{ll}
 R_1 = R_2 = 1002 \text{ mm} & \overline{CP_2} = \overline{CP_3} = 67 \text{ mm} \\
 \overline{AB} = 506,25 \text{ mm} & \theta_1 = \theta_2 = 7,46^\circ \\
 30 \quad \overline{BP_1} = \overline{DP_4} = 473 \text{ mm} & \alpha = 68,23^\circ \quad \beta = 60,33^\circ
 \end{array}$$

Le prisme de dispersion 7 est disposé de telle manière que, pour le rayon qui arrive au milieu géométrique de la surface focale 8 au point E, le trajet des rayons est symétrique au niveau du prisme de dispersion 7, dans le
 35 plan de dispersion principal et dans le plan de dispersion

du prisme de dispersion 7 qui est sensiblement perpendiculaire au précédent.

En aval du plan focal 8, le dispositif comporte derrière un masque de fente, des éléments photoconducteurs qui sont placés dans un bloc de fibres (non représenté) et qui transmettent les éléments de spectre reproduits aux récepteurs photographiques. A partir d'un nombre limité de récepteurs, on choisit des combinaisons d'éléments.

La répartition des surfaces frontales des éléments photoconducteurs dans le bloc de fibres, qui correspond aux lieux géométriques des raies d'analyse principales de différents éléments dans le spectre à échelle, est représentée par la fig. 2.

Pour l'opération avec monochromateur, on choisit, suivant le nombre de récepteurs, dans la totalité des canaux de polychromateur, des éléments photoconducteurs répartis géométriquement d'une manière aussi uniforme que possible sur tout le spectre et on les affecte aux récepteurs. L'enregistrement de tous les éléments du spectre total peut donc s'effectuer, suivant l'invention, par le canal de monochromateur le plus proche, en faisant tourner le miroir de caméra autour des axes a, a' . Par exemple, la raie du mercure Hg 194,227 nm, est enregistrée comme le montre la fig. 2, par le canal Zn 202, 551 nm. Il n'en résulte aucune diminution de la qualité d'image. Par contre, un enregistrement de cette raie Hg par l'intermédiaire du canal de monochromateur Magnesium Mg 279,553 nm entraînerait une nette augmentation, due à l'aberration de la largeur de demi-valeur de la raie. L'affectation des éléments photoconducteurs aux récepteurs photographiques s'effectue par des dispositifs commandés par calculatrices.

REVENDEICATIONS

1. Système optique pour spectromètres comprenant une ouverture d'entrée de la lumière, un collimateur, un organe de dispersion, un dispositif à caméra et des éléments placés dans la surface focale du système pour la séparation et la transmission des éléments du spectre à un dispositif récepteur, caractérisé en ce que les dispositifs optiques (4,5) du collimateur et de la caméra sont des miroirs concaves sphériques et comportent des sommets qui sont également éloignés de l'organe de dispersion et se trouvent dans le plan de dispersion de l'organe de dispersion et que des rayons moyens réfléchis sur ces miroirs (4,5) se propagent dans des plans de réflexion orientés perpendiculairement au plan de dispersion de l'organe de dispersion, que l'ouverture d'entrée de la lumière est constituée par des fentes (2,3) qui sont disposées perpendiculairement l'une à l'autre et à la suite l'une de l'autre sur le trajet du faisceau lumineux de manière à limiter l'ouverture d'entrée dans le sens sagittal et dans le sens tangentiel, les images sagittale et tangentielle de la fente coïncidant dans le plan focal (8), et en ce que l'ouverture d'entrée de la lumière est placée par rapport au milieu de la surface focale (8), du côté opposé et à la même distance du plan de dispersion de l'organe de dispersion (7).

2. Système optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fente déterminant la limite tangentielle et la fente déterminant la limite sagittale sont respectivement à une distance de

$$r_t = 1/2R \cos \theta \text{ et } r_s = 1/2 R \cos \theta \left[\frac{(\cos \alpha / \cos \beta)^2}{(\cos \alpha / \cos \beta)^2 \cdot \cos^2 \theta - \sin^2 \theta} \right]$$

du collimateur,

R désignant les rayons du miroir collimateur et du miroir de caméra,

θ , l'angle inclus entre les rayons moyens réfléchis, α l'angle d'incidence et β l'angle de réflexion au niveau de

l'organe de dispersion.

3. Système optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on utilise comme organe de dispersion un réseau à échelle.

5 4. Système optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que, pour la séparation par ordre, il comprend, en amont du réseau à échelle, un prisme de dispersion (7) qui est situé en double passage sur le trajet des rayons et dont le plan de dispersion est essen-
10 tiellement perpendiculaire au plan de dispersion du réseau à échelle.

5. Système optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'organe de dispersion est un réseau plan.

15 6. Système optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'organe de dispersion est un prisme de dispersion (7).

7. Système optique selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que le miroir de caméra 5 est monté sur
20 paliers de manière à pouvoir tourner autour de deux axes (a,a') perpendiculaires à son axe optique et en ce que certains des éléments destinés à la séparation et à la transmission des éléments du spectre qui sont essentiellement répartis d'une manière géométriquement uniforme sur la surface
25 focale et destinés à l'opération avec polychromateur sont utilisés pour l'opération avec monochromateur.

8. Système optique selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins certaines parties de l'organe de dispersion (7) peuvent être déplacées pour l'opé-
30 ration en monochromateur et en ce que la surface focale (8) comprend une fente de sortie située essentiellement au milieu de cette surface.

9. Système optique selon l'une des revendications 3 ou 8, caractérisé en ce que le réseau à échelle
35 peut pivoter autour d'un axe parallèle aux sillons du réseau.

10. Système optique selon l'une des revendications 4 ou 8, caractérisé en ce que le réseau à échelle est monté de manière à pouvoir tourner autour d'un premier axe parallèle aux sillons du réseau et à pouvoir pivoter
5 autour d'un deuxième axe qui est parallèle au premier et se trouve dans le plan de dispersion du réseau à échelle.

11. Système optique selon l'une des revendications 5 ou 8, caractérisé en ce que le réseau plan peut tourner autour d'un axe parallèle aux sillons du réseau.

10 12. Système optique selon l'une des revendications 6 ou 8, caractérisé en ce que le prisme de dispersion (7) peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son plan de dispersion.

Fig.1

