

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
1 décembre 2011 (01.12.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2011/148072 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
**H01J 37/02** (2006.01) **H01J 37/256** (2006.01)  
**H01J 37/244** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2011/050986

(22) Date de dépôt international :  
29 avril 2011 (29.04.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1054109 27 mai 2010 (27.05.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange, F-75016  
Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **KOCIAC,  
Mathieu** [FR/FR]; 13, résidence du Parc d'Ardenay,

F-91120 Palaiseau (FR). **ZAGONEL, Luiz, Fernando**  
[IT/BR]; Bloco A, Apartamento 11, Rua Doutor Tomeu  
Tortima, 867, CEP-13084-791 Campinas, SP (BR).  
**TENCE, Marcel** [FR/FR]; 144, avenue du Général de  
Gaulle, F-92130 Issy les Moulineaux (FR).  
**MAZZUCCO, Stefano** [IT/US]; Apt. 1211, 5101 River  
Road, Bethesda, Maryland 20816 (US).

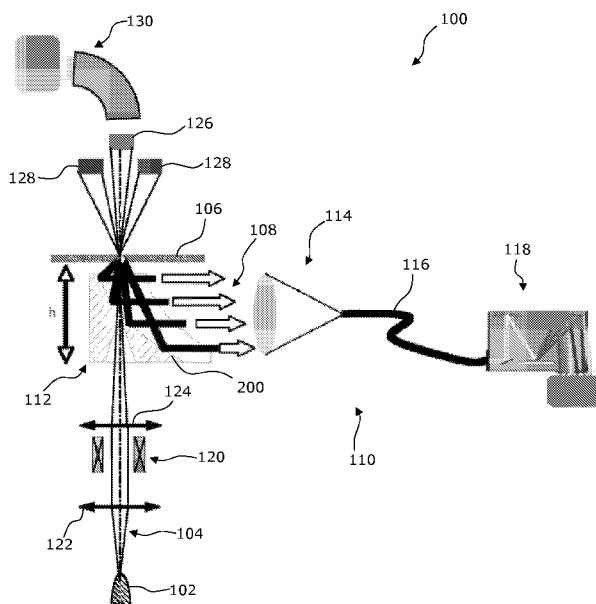
(74) Mandataire : **PONTET ALLANO & ASSOCIES  
SELARL**; 6, avenue du Général de Gaulle, F-78000  
Versailles (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : FLEXIBLE CATHODOLUMINESCENCE DETECTION SYSTEM AND MICROSCOPE EMPLOYING SUCH A SYSTEM

(54) Titre : SYSTEME DE DETECTION DE CATHODOLUMINESCENCE SOUPLE ET MICROSCOPE METTANT EN OEUVRE UN TEL SYSTEME



**FIG. 1**

(57) Abstract : The invention relates to a cathodoluminescence detection system comprising: a collecting optic (112) collecting light radiation (108) from a sample illuminated by a beam of charged particles and reflecting said radiation (108) onto analysis means, said collecting optic (112) being placed in a chamber, called a vacuum chamber, wherein the pressure is below atmospheric pressure; and means (316) for adapting the light radiation, placed downstream of the collecting optic (112) and designed to adapt said light radiation (108) at the inlet of the analysis means. Said system is characterized in that all or part of the adapting means (316) is placed in an environment where the pressure is higher than the pressure in said vacuum chamber.

(57) Abrégé : L'invention concerne un système de détection de cathodoluminescence comprenant : une optique de collection (112) collectant un rayonnement lumineux (108) provenant d'un échantillon éclairé par

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/148072 A1



SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

un faisceau de particules chargées et renvoyant ledit rayonnement (108) vers des moyens d'analyse, ladite optique de collection (112) étant disposée dans une chambre, dite chambre à vide, où règne une pression inférieure à la pression atmosphérique; et des moyens d'adaptation (316) du rayonnement lumineux disposés en aval de l'optique collection (112) et prévus pour adapter ledit rayonnement lumineux (108) à l'entrée des moyens d'analyse; ledit système étant caractérisé en ce que tout ou partie des moyens d'adaptation (316) sont disposés dans un environnement où règne une pression supérieure à la pression dans ladite chambre à vide.

« Système de détection de cathodoluminescence souple  
et microscope mettant en œuvre un tel système »

La présente invention concerne un système de détection de cathodoluminescence. Elle concerne également un microscope mettant en œuvre un tel système.

Le domaine de l'invention est le domaine de la cathodoluminescence et plus particulièrement le domaine des systèmes utilisant des particules chargées tels que des microscopes à particules chargées, par exemple les microscopes utilisant le principe de la cathodoluminescence.

On connaît actuellement de nombreux systèmes de détection de cathodoluminescence couplés à des microscopes à particules chargées, tels que des microscopes électroniques à transmission (MET) ou à balayage (METB).

L'effet physique utilisé dans ces microscopes, appelé cathodoluminescence, est basé sur la détection de signaux optiques, émis du fait d'une excitation par un faisceau de particules chargées. Les microscopes utilisés sont dotés d'un canon de particules chargées produisant un faisceau de particules chargées qui est envoyé sur un échantillon étudié. L'échantillon frappé par ce faisceau de particules est excité et émet à son tour un rayonnement lumineux. Le rayonnement lumineux est collecté par une optique de collection dont le rôle est de diriger ce rayonnement lumineux vers des moyens d'analyse de ce rayonnement lumineux. Des moyens dits d'adaptation peuvent être disposés entre l'optique de collection et les moyens d'analyse pour adapter et transporter le rayonnement lumineux à l'entrée des moyens d'analyse. Un tel microscope est décrit dans le brevet US 7,589,322.

Cependant, les systèmes de détection de cathodoluminescence actuellement connus ne sont pas souples. En effet, l'optique de collection et les moyens d'adaptation se trouvent dans une chambre où règne une pression réduite, chambre de vide. Il n'est pas possible de réaliser une opération de maintenance sur ces éléments sans ouvrir la colonne du microscope. Par exemple, lorsqu'une opération de maintenance est nécessaire sur les moyens d'adaptation, la mise à l'air du microscope et la remise sous vide sont longues, et l'accès aux moyens d'adaptation est

délicat. Par ailleurs, ces microscopes sont des machines qui sont très sensibles et nécessitent des réglages très précis, ce qui complique encore plus les opérations de maintenance.

Par ailleurs, il n'est pas non plus possible de réaliser un changement d'un composant sur ces systèmes de cathodoluminescence pour adapter leur utilisation à une application bien particulière. Toute modification nécessite une fois encore l'intervention du fabricant ou d'un technicien.

Un but de la présente invention est de remédier aux inconvénients précités.

Un autre but de la présente invention est de proposer un système de détection de cathodoluminescence dont la maintenance est plus facile à réaliser et moins coûteuse.

En outre, un autre but de l'invention est de proposer un système de détection de cathodoluminescence plus souple et pouvant être modifié facilement en fonction des applications.

Selon un aspect de l'invention, au moins l'un de ces buts est atteint par un système de détection de cathodoluminescence comprenant :

- une optique de collection collectant un rayonnement lumineux provenant d'un échantillon éclairé par un faisceau de particules chargées et renvoyant ledit rayonnement vers des moyens d'analyse, ladite optique de collection étant disposée dans une chambre, dite chambre à vide, où règne une pression inférieure à la pression atmosphérique, et
- des moyens d'adaptation du rayonnement lumineux disposés en aval de l'optique de collection et prévus pour adapter ledit rayonnement lumineux à l'entrée des moyens d'analyse ;

ledit système étant caractérisé en ce que tout ou partie des moyens d'adaptation sont disposés dans un environnement où règne une pression supérieure à la pression dans ladite chambre à vide.

Dans la présente demande, les termes « amont » et « aval » sont définis par rapport et dans le sens du trajet du rayonnement lumineux, c'est-à-dire le sens allant de la source d'émission de particules chargées vers

l'échantillon, puis vers l'optique de collection et enfin vers les moyens d'analyse du rayonnement lumineux.

L'optique de collection est définie comme étant l'ensemble des éléments réalisant la collecte du rayonnement lumineux émanant de l'échantillon et renvoyant ce rayonnement lumineux vers les moyens d'analyse.

Ainsi, le système de détection de cathodoluminescence est plus souple et peut être modifié facilement en fonction des applications. En effet, les moyens d'adaptation, ne se trouvant pas dans la chambre à vide, peuvent être échangés ou remplacés plus facilement en fonction des applications. Il est par ailleurs possible d'ajouter des éléments permettant de traiter le rayonnement lumineux, tel que par exemple un polariseur, avant que le rayonnement lumineux n'entre dans les moyens d'analyse.

Par ailleurs, la maintenance du système de détection de cathodoluminescence selon l'invention est plus facile et moins coûteuse à réaliser que pour les systèmes de l'état de la technique. En effet, les moyens d'adaptation étant plus facilement accessibles, ils peuvent être changés plus facilement en cas de mauvais fonctionnement.

Le système selon l'invention comprend avantageusement des moyens d'étanchéité disposés entre l'optique de collection et les moyens d'adaptation et qui sont prévus pour assurer l'étanchéité de ladite chambre tout en autorisant le passage du rayonnement lumineux. De tels moyens d'étanchéité peuvent par exemple comprendre une fenêtre réalisée en une matière transparente n'influant pas sur le rayonnement lumineux et résistante à la différence de pression existante entre la chambre à vide et l'environnement dans lequel se trouvent les moyens d'adaptation, par exemple l'environnement atmosphérique.

Les moyens d'adaptation peuvent comprendre au moins une lentille disposée en amont d'une fibre optique et prévue pour adapter la taille du rayonnement lumineux à l'entrée de la fibre optique, et plus particulièrement la taille du faisceau lumineux au diamètre de la fibre optique et l'angle d'incidence à l'ouverture numérique de la fibre optique. La fibre optique a pour rôle de transporter le rayonnement lumineux jusqu'aux moyens d'analyse.

Dans un mode de réalisation particulier, l'optique de collection peut comprendre un miroir parabolique renvoyant le rayonnement lumineux, par exemple de manière collimatée. Dans ce cas, le miroir parabolique peut comprendre une ouverture traversante disposée en regard de la source d'émission de particules chargées et laissant passer le faisceau de particules chargées vers l'échantillon.

Dans un deuxième mode de réalisation particulier, l'optique de collection peut comprendre un miroir plan. Ce miroir plan peut être associé à une lentille collectrice disposée en aval dudit miroir plan et renvoyant le rayonnement lumineux, par exemple de manière collimatée. Dans ce cas, le miroir plan peut comprendre une ouverture traversante disposée en regard de la source d'émission de particules chargées et laissant passer le faisceau de particules chargées vers l'échantillon.

Dans un troisième mode de réalisation particulier, l'optique de collection peut comprendre un miroir elliptique, éventuellement associé à une lentille collectrice disposée en aval du miroir elliptique.

Plus généralement, l'optique de collection peut comprendre un miroir concave.

Dans une version avantageuse, le système selon l'invention peut comprendre un tube en forme de cylindre, dit cylindre extérieur, dont l'axe est aligné par rapport à l'axe de l'optique de collection et rigidement fixé à ladite optique de collection, ledit cylindre extérieur comprenant une fenêtre d'étanchéité assurant le maintien de la pression de la chambre dans laquelle est disposée ladite optique de collection. La fenêtre d'étanchéité est réalisée en un matériau :

- autorisant le passage du rayonnement lumineux provenant de l'optique de collection, et
- assurant l'étanchéité de la chambre à vide.

Ainsi, à l'intérieur du cylindre extérieur et en aval de la fenêtre d'étanchéité règne une pression supérieure à la pression de la chambre à vide, par exemple une pression atmosphérique. Cette partie du cylindre extérieur est plus facilement accessible par un opérateur que l'intérieur de la chambre à vide.

Toujours dans cette version avantageuse, le système selon l'invention peut optionnellement comprendre en outre un tube en forme de cylindre, dit

cylindre intérieur, disposé centré dans le cylindre extérieur et prévu pour recevoir les moyens d'adaptation du rayonnement lumineux en vue d'injecter ledit rayonnement lumineux dans une fibre optique ou dans un moyen d'analyse tel qu'un photomultiplicateur, une caméra, un spectromètre muni d'une caméra ou d'un photomultiplicateur.

Les moyens optiques d'adaptation peuvent comprendre un ensemble de lentilles et ou de miroirs permettant d'adapter la taille du rayonnement optique aux contraintes spatiales imposées par les parois du tube afin de conserver l'intensité jusqu'au détecteur final. Les différents éléments de l'optique d'adaptation posséderont des ouvertures numériques adaptées les unes par rapport aux autres et par rapport aux systèmes de détection ou de la fibre optique, afin là encore de préserver l'intensité le long du parcours du rayonnement optique. Dans le cas où une fibre optique est utilisée avant le détecteur, son ouverture numérique sera adaptée audit système de détecteur.

Le cylindre intérieur peut en outre comporter tout élément optique utilisé pour les besoins de l'expérimentation, par exemple un polariseur ou un filtre.

Avantageusement, le cylindre intérieur peut être monté démontable dans le cylindre extérieur. Ainsi, il est possible de l'extraire du cylindre extérieur pour intervenir sur les éléments se trouvant à l'intérieur.

Le cylindre intérieur peut être également monté libre en rotation par rapport audit cylindre extérieur. Ainsi, il est possible de modifier facilement et rapidement l'orientation des éléments se trouvant dans le cylindre intérieur sans avoir à démonter le cylindre intérieur ou l'élément optique se trouvant à l'intérieur du cylindre intérieur. Une telle configuration est particulièrement avantageuse dans le cas où le cylindre intérieur comprend au moins un élément optique dont l'orientation est importante sur le traitement du rayonnement lumineux, par exemple un polariseur.

De plus, le tube intérieur est automatiquement centré sur le tube extérieur et donc sur l'axe optique. Ceci permet de changer de tube sans se désaligner, rendant le changement de tubes intérieurs rapide, robuste et reproductible.

Le système selon l'invention peut en outre comprendre des moyens d'analyse de rayonnement lumineux disposés en aval des moyens d'adaptation.

Avantageusement, les éléments se trouvant dans le cylindre intérieur sont placés au plus près de l'optique de collection pour réduire les effets d'un possible désalignement léger entre l'axe optique de l'optique de collection et le centre du cylindre intérieur.

Par ailleurs, ledit cylindre extérieur a un diamètre interne suffisamment grand pour permettre l'utilisation des éléments optiques, tels que des lentilles, ou des détecteurs tels que des photomultiplicateurs et des caméras CCD, à l'intérieur du cylindre extérieur.

Avantageusement, l'optique de collection peut avoir une surface conductrice isolée électriquement par rapport au reste du dispositif et du microscope. L'optique de collection peut ainsi être mise à un potentiel électrique faible par rapport à la masse du microscope, éventuellement via un fil électrique accessible de l'extérieur du microscope via un passage électrique étanche, pour pouvoir ainsi détecter, par l'apparition d'un courant électrique, un contact quelconque avec le microscope. En effet, l'optique de collection se trouve dans un espace encombré et ne doit pas s'écraser contre les éléments standard du microscope, tels que l'échantillon ou la pièce polaire. Ces mouvements doivent être surveillés avec attention. En mesurant le courant électrique entre l'optique de collection et le microscope, il est possible de déterminer l'occurrence d'un contact léger entre l'optique de collection et le microscope.

Les moyens d'analyse peuvent comprendre de manière non exhaustive une caméra CCD et/ou un photomultiplicateur précédés ou non d'un spectromètre.

Dans un mode de réalisation particulier, la fibre optique est reliée directement aux moyens d'analyse.

Dans un mode de réalisation particulier, la fibre optique peut être remplacée par un ensemble de fibres accolées et reliées directement aux moyens d'analyse.

Dans un mode de réalisation particulier, les fibres accolées sont disposées selon un disque en amont, et suivant une ligne en aval. La disposition en disque permet de recueillir le signal même en cas de

décentrage léger, la disposition en ligne permet d'optimiser l'intensité et la résolution spectrale lorsque l'ensemble de fibres est placé en entrée d'un spectromètre optique par exemple.

Avantageusement, les moyens d'adaptation peuvent comprendre un diaphragme arrangé pour laisser passer le rayonnement lumineux provenant de l'optique de collection vers les moyens d'analyse et bloquer au moins un signal optique indésirable. En effet, dans un mode de réalisation particulier, un diaphragme peut être placé centré le long de l'axe optique permettant de laisser passer les rayonnements lumineux émis à l'entourage du point focal de l'optique de collection (sur l'échantillon) et permettant de filtrer les rayonnements lumineux émis à partir d'autres régions de l'échantillon.

En effet, le faisceau de particules chargées en frappant l'échantillon peut éjecter différentes particules comme des électrons et des ions dit secondaires et de particules chargées dites rétrodiffusées. Ces particules secondaires et rétrodiffusées peuvent à leur tour frapper différents objets à l'intérieur du microscope (et loin du point focal de l'optique de collection) et causer l'émission de rayonnement lumineux non pertinent, que l'on filtrera donc avec un diaphragme.

Avantageusement, les fibres accolées, disposées selon un disque en amont, ont un diamètre réduit déterminé pour faire office de diaphragme.

Avantageusement, l'optique collection peut être montée déplaçable sur au moins une dimension, le système selon l'invention comprenant en outre des moyens de positionnement prévus pour déplacer ladite optique de collection selon au moins une dimension. Ainsi, le système selon l'invention est encore plus souple et est positionnable, permettant ainsi d'améliorer la brillance et la résolution spatiale du signal obtenu.

Avantageusement, les moyens de positionnement de l'optique collection peuvent comprendre des moyens de translation de ladite optique de collection sur au moins une dimension.

Les moyens de positionnement de l'optique collection peuvent en outre comprendre des moyens de rotation de ladite optique de collection autour d'au moins un axe de rotation.

Les moyens de positionnement peuvent comprendre une platine montée déplaçable sur au moins une dimension, l'optique de collection étant

montée solidaire de ladite platine, ledit système comprenant en outre au moins un élément de positionnement, par exemple une vis micrométrique, un actuateur piézoélectrique ou capacitif, chaque élément de positionnement étant prévu pour déplacer ladite platine selon au moins une dimension.

5

Dans un mode de réalisation particulier du système de détection de cathodoluminescence selon l'invention, l'optique de collection est montée solidaire à l'extrémité proximale du cylindre extérieur de manière bien centrée et coaxiale à l'axe optique de l'optique de collection. Le cylindre extérieur comporte du côté de son extrémité proximale une fenêtre d'étanchéité transparente et agencée pour préserver l'étanchéité de la chambre à vide. Le cylindre intérieur est inséré dans le cylindre extérieur de manière démontable et libre en rotation. Ce dernier est monté coaxial avec le cylindre extérieur et est donc forcément centré par rapport à l'axe optique de l'optique collection à tout moment. Les moyens d'adaptation, ainsi que l'entrée de la fibre optique sont disposés dans le cylindre intérieur et se trouvent donc à une pression atmosphérique. Ces éléments sont facilement accessibles par un opérateur puisque le cylindre intérieur est démontable. Le cylindre intérieur peut en outre comprendre tout élément optique tel que par exemple un polariseur.

20

Le cylindre extérieur est entouré d'au moins un moyen d'étanchéité autorisant le déplacement du cylindre extérieur dans les trois directions de l'espace tout en préservant l'étanchéité de la chambre à vide dans laquelle se trouve l'optique de collection. Un tel moyen d'étanchéité peut par exemple comprendre un soufflet étanche autorisant le déplacement du cylindre dans les trois directions et monté sur une paroi de la chambre à vide autour ou au niveau d'une ouverture réalisée dans cette paroi dans la direction suivie par le rayonnement lumineux renvoyé par l'optique de collection vers les moyens d'analyse.

25

Le cylindre extérieur est monté solidairement sur une platine. Cette platine est déplaçable dans les trois directions de l'espace grâce à des vis micrométriques. Ainsi en déplaçant la platine l'opérateur peut déplacer le cylindre extérieur et l'optique de collection.

30

Lors du déplacement de l'ensemble platine, cylindre extérieur et optique de collection, l'étanchéité de la chambre à vide est conservée grâce

35

au soufflet entourant le cylindre extérieur et fixé à la paroi de la chambre à vide, et à la fenêtre d'étanchéité disposée dans le cylindre extérieur.

L'optique de collection est solidaire du cylindre extérieur. Ce dernier est centré par rapport à l'axe optique de l'optique de collection. Le cylindre intérieur est centré par rapport au cylindre extérieur. Ainsi tous les éléments se trouvant dans le cylindre intérieur sont centrés par rapport à l'axe optique de l'optique de collection. L'ensemble optique de collection+cylindre extérieur+cylindre intérieur étant solidaire, ces derniers restent toujours bien centrés à tout moment.

Avantageusement, le système selon l'invention peut comprendre une source d'émission d'un faisceau lumineux se propageant dans le sens inverse du sens de propagation du rayonnement lumineux détecté en provenance de l'échantillon et reçu par l'optique de collection, ledit faisceau lumineux étant dirigé vers l'échantillon par l'optique de collection.

En effet, le système de cathodoluminescence peut en outre être utilisé pour injecter de la lumière sur l'échantillon. Dans ce cas, le système de cathodoluminescence comprend une source d'émission d'un faisceau lumineux à la place ou en plus du système de détection. Cette source est alors arrangée pour émettre un faisceau lumineux dans le sens inverse du sens de propagation du rayonnement lumineux détecté, c'est-à-dire de l'aval vers l'amont. La source de lumière est focalisée sur l'échantillon, les zones d'exposition aux particules chargées et au faisceau lumineux étant superposées. La source de lumière peut être une source de lumière spatialement cohérente, par exemple un laser, de sorte que la taille du faisceau lumineux frappant l'échantillon n'est limitée que par les lois de l'optique géométrique et de la diffraction pour ainsi optimiser la densité de puissance reçue par l'échantillon.

Avantageusement, le système selon l'invention peut en outre être utilisé avec un séparateur de rayonnement lumineux et être utilisé pour injecter de la lumière sur l'échantillon et en même temps collecter la lumière émise par l'échantillon.

En effet, le système de cathodoluminescence peut en outre être utilisé pour détecter le rayonnement lumineux émis par l'échantillon par l'effet de photoluminescence, c'est-à-dire quand un faisceau lumineux frappe un objet, ce qui le pousse à émettre à son tour un rayonnement lumineux. Ce

séparateur est alors arrangé pour permettre l'injection d'un faisceau lumineux de l'aval vers l'amont et la détection simultanée de rayonnement lumineux de l'amont vers l'aval. La petite taille du faisceau injecté peut permettre l'excitation d'une petite partie de l'échantillon qui peut être en même temps imagée avec le faisceau de particules chargées du microscope. Le rayonnement lumineux émis par l'échantillon lors de l'injection de lumière peut être analysé de la même façon que le rayonnement lumineux émis suite à l'interaction de particules chargées.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un système de cathodoluminescence permettant de collecter le rayonnement lumineux issu de l'échantillon éclairé par un faisceau de particules chargées de taille nanométrique ou sub-nanométrique éventuellement balayé à la surface de l'échantillon et de le transporter jusqu'aux moyens d'analyse tout en conservant plus d'intensité lumineuse et de résolution spectrale comparé aux systèmes de cathodoluminescence de l'état de la technique.

Selon l'invention un tel système de cathodoluminescence comprend :

- une source de particules chargées agencée pour éclairer un échantillon avec un faisceau de particules chargées, et
- un chemin optique comprenant au moins deux éléments optiques prévus pour collecter et transporter un rayonnement lumineux provenant dudit échantillon éclairé vers des moyens d'analyse ;

ledit système étant caractérisé en ce que chaque élément optique dudit chemin optique est choisi de sorte que :

- l'angle maximal de sortie dudit élément optique soit inférieur ou égal à 120% de l'angle maximal d'acceptance de l'élément optique suivant ; et
- le diamètre du rayonnement provenant dudit élément optique dans le plan d'entrée de l'élément optique suivant soit inférieur ou égal à 120% du diamètre utile d'entrée de l'élément optique suivant.

Ainsi, selon l'invention chaque élément transmet au moins 60% du signal lumineux. Seule une perte de 20% du signal lumineux a lieu au niveau de chaque élément optique du chemin optique.

Un tel système de cathodoluminescence permet de collecter le rayonnement lumineux issu de l'échantillon éclairé et de le transporter jusqu'aux moyens d'analyse tout en conservant plus d'intensité lumineuse comparé aux systèmes de cathodoluminescence de l'état de la technique.

5

Selon une version préférée du système de l'invention, chaque élément optique du chemin optique est choisi de sorte que l'angle maximal de sortie d'un élément optique soit inférieur ou égal à l'angle maximal d'acceptance de l'élément optique suivant. Ainsi, l'angle de sortie d'un élément optique est adapté et le rayonnement lumineux sortant d'un élément optique arrive à l'élément optique suivant avec un angle tel que la totalité du rayonnement lumineux entre dans l'élément optique suivant.

10

Toujours selon une version préférée du système selon l'invention, chaque élément optique du chemin optique est choisi de sorte que le diamètre du rayonnement provenant d'un élément optique dans le plan d'entrée de l'élément optique suivant soit inférieur ou égal au diamètre utile d'entrée de l'élément optique suivant. Ainsi, le rayonnement lumineux arrivant à l'élément optique suivant entre totalement dans l'élément optique suivant.

15

20

Dans la combinaison de ces deux versions préférées du système selon l'invention, cette version préférée de l'invention, le signal lumineux est transmis d'un élément optique à l'autre sans aucune perte d'intensité autre que celle due à l'absorption ou la diffusion des systèmes optiques et la totalité de cette intensité du signal lumineux est conservée sur l'ensemble du chemin optique.

25

Avantageusement, lorsque le chemin optique comprend N éléments optiques, chaque élément optique du chemin optique peut être positionné de sorte que le décalage d'un élément optique par rapport au centre de l'élément optique précédent vérifie la relation suivante :

30

$$Ds_i/2 \leq 1.2De_{i+1}/2 - \Delta_{i+1} \text{ pour } i=1 \dots N-1$$

avec :

- $\Delta_{i+1}$  le décalage de l'élément optique  $i+1$  par rapport au centre de l'élément optique  $i$ ,
- $De_{i+1}$  le diamètre utile d'entrée de l'élément  $i+1$ ,
- $Ds_i$  le diamètre du rayonnement provenant de l'élément  $i$  mesuré à l'entrée de l'élément  $i+1$ .

Un tel système permet de s'assurer un positionnement amélioré par rapport aux systèmes de l'état de la technique et ainsi de véhiculer le rayonnement lumineux sur l'ensemble du chemin optique avec peu de perte.

Dans une version préférée du système selon l'invention, chaque élément optique du chemin optique peut être positionné de sorte que le décalage d'un élément optique par rapport au centre de l'élément optique précédent vérifie la relation suivante :

$$Ds_i/2 \leq De_{i+1}/2 - \Delta_{i+1} \quad \text{pour } i=1 \dots N-1$$

avec :

- $\Delta_{i+1}$  le décalage de l'élément optique  $i+1$  par rapport au centre de l'élément optique  $i$ ,
- $De_{i+1}$  le diamètre utile d'entrée,
- $Ds_i$  le diamètre de du faisceau provenant de l'élément  $i$  mesuré à l'entrée de l'élément  $i+1$ .

Un tel système permet d'obtenir un positionnement des éléments optiques tel que tout le rayonnement sortant d'un élément optique entre dans l'élément optique suivant sans perte autre que celles induites par absorption ou diffusion car aucun élément optique ne présente un décalage par rapport à l'élément optique précédent tel qu'une partie du rayonnement soit perdue.

Selon l'invention, un des éléments optiques du chemin optique peut être un spectromètre, et plus particulièrement un spectromètre comprenant un élément focalisant à son entrée.

Dans ce cas, le spectromètre et les autres éléments optiques du chemin optique peuvent être choisis de sorte que la largeur du faisceau à l'entrée du spectromètre suivant la direction dispersive soit inférieure ou égale à 10 fois le diamètre limite à l'entrée du spectromètre en dessous duquel la résolution du spectromètre ne dépend plus du diamètre de la taille

du rayonnement lumineux à l'entrée du spectromètre. La valeur d'un tel diamètre limite est une donnée fournie par le constructeur du spectromètre et dépend en grande partie de son grandissement suivant la direction dispersive.

5           Ainsi, le système selon l'invention permet de véhiculer le rayonnement lumineux jusqu'au spectromètre sans perte d'intensité, car les diamètres et les angles sont adaptés, tout en assurant la résolution spectrale optimale pour un spectromètre donné.

10           Toujours dans le cas où un des éléments du chemin optique est un spectromètre, le spectromètre et les autres éléments optiques du chemin optique peuvent préférentiellement être choisis de sorte que la largeur du faisceau à l'entrée du spectromètre dans la direction dispersive soit inférieure ou égale au diamètre limite à l'entrée du spectromètre en dessous  
15 duquel la résolution du spectromètre ne dépend plus du diamètre de la taille du rayonnement lumineux à l'entrée du spectromètre.

          Ainsi, le système selon l'invention permet de véhiculer le rayonnement lumineux jusqu'au spectromètre sans perte d'intensité, car les diamètres et les angles sont adaptés, tout en assurant une résolution spectrale optimale  
20 pour un spectromètre donné.

          Dans un mode de réalisation particulier, l'élément optique précédant le spectromètre peut comprendre une fibre optique dont la sortie est positionnée ou imagée à l'entrée du spectromètre.

25           Dans ce cas, la fibre optique et l'élément optique précédant la fibre optique peuvent être choisis de sorte que :

- le diamètre du faisceau provenant de l'élément optique précédant mesuré à l'entrée de la fibre soit inférieur ou égal à 120 %, préférentiellement inférieur ou égal à 100%, du  
30 diamètre utile de la fibre optique, et
- l'angle d'entrée maximum du faisceau provenant de l'élément optique précédant soit inférieur ou égal à 120 %, préférentiellement inférieur ou égal à 100%, de l'angle limite d'incidence de ladite fibre optique.

Ainsi, le chemin optique est parfaitement adapté pour que l'ensemble du rayonnement lumineux entre dans la fibre optique dans des conditions telles que l'ensemble du rayonnement optique est transporté jusqu'au spectromètre sans perte ou avec des pertes négligeables.

5

Dans une version particulièrement avantageuse et préférée de l'invention, l'élément optique précédant le spectromètre peut comprendre une pluralité de fibres optiques composant un faisceau de fibres optiques, les fibres dudit faisceau étant alignées, du côté dudit spectromètre, perpendiculairement à l'axe de dispersion dans le plan d'entrée dudit spectromètre, la somme des diamètres de l'ensemble des fibres est préférentiellement inférieure ou égale à la taille du détecteur suivant la direction non dispersive divisée par le grandissement du spectromètre suivant la direction non dispersive. Chaque fibre optique composant le

10

15

- le diamètre du faisceau provenant de l'élément optique précédent à l'entrée de la fibre soit inférieur ou égal à 120 %, préférentiellement à 100%, du diamètre utile de la fibre optique, et

20

- l'angle d'entrée maximum du faisceau provenant de l'élément optique précédent soit inférieur ou égal à 120 %, préférentiellement à 100%, de l'angle limite d'incidence de ladite fibre optique.

Ainsi, cette construction permet de s'assurer que quel que soit le décalage du dernier élément optique selon n'importe quel axe de l'espace, au moins une fibre optique est positionnée pour recevoir la totalité du rayonnement, ou presque la totalité du rayonnement. De plus, le faisceau de fibres étant orienté perpendiculairement à la direction non dispersive du spectromètre, la résolution spectrale sera dépendante de la largeur des fibres et non du diamètre du faisceau, bien que l'intensité collectée dépende de la somme des aires des fibres illuminées. Un tel système est particulièrement efficace pour corriger les erreurs, dites dynamiques, dues à des désalignements causés par exemple par un balayage du faisceau de particules chargées sur l'échantillon ou des erreurs d'alignements

25

30

35

Dans un exemple de réalisation particulier, le faisceau de fibres peut être compact et préférentiellement hexagonal en entrée.

Le diamètre de chacune des fibres du faisceau de fibres peut être  
5 identique.

Par ailleurs, dans une version préférée mais non limitative, le rapport entre le diamètre total du faisceau de fibres et le diamètre d'une fibre peut être compris entre 3 et 30.

10 Avantageusement, le premier élément optique peut comprendre un élément de collection qui peut être soit un miroir courbe soit un miroir plan associé à une lentille pour collecter le rayonnement lumineux provenant de l'échantillon. Pour s'insérer dans la pièce polaire du microscope dans le lequel  
15 est inséré le système de cathodoluminescence et permettant de former le faisceau de particules chargées, et sachant que l'espace dans ces pièces polaires est d'autant plus faible que la résolution spatiale désirée est meilleure, cet élément de collection présente avantageusement une épaisseur totale comprise entre 0.5 et 10 mm, et préférentiellement comprise entre 1 et 8 mm, pour permettre une collection du rayonnement  
20 lumineux provenant de l'échantillon selon un angle solide le plus grand possible.

Pour améliorer la collection du rayonnement lumineux provenant de l'échantillon, le premier élément optique réalisant la collection du  
25 rayonnement lumineux peut avantageusement présenter :

- un paramètre « p » compris entre 0.5 et 20 mm, plus préférentiellement entre 1 et 7 mm, et encore plus préférentiellement entre 1.5 et 5 mm, encore plus préférentiellement entre 1 et 3 mm, ou encore un paramètre « p » de l'ordre de 2 mm à  $\pm 1.5$  mm ; ou
- 30 - une focale « f » comprise entre 0.25 et 10 mm, plus préférentiellement entre 0.5 et 3.5 mm, et encore plus préférentiellement entre 0.75 et 2.5 mm.

Selon un mode de réalisation avantageux, les éléments optiques du  
35 chemin optique peuvent être positionnés de sorte que la précision du

déplacement dans au moins une des deux directions de l'espace perpendiculaires à l'axe optique soit meilleure ou égale :

- à la taille à l'entrée du spectromètre, c'est-à-dire la dimension du pixel du détecteur divisé par le grandissement du spectromètre, divisé par le grandissement total réalisé sur le chemin optique entre la source et l'entrée du spectromètre, ou
- lorsque l'élément optique précédant le spectromètre est une fibre ou un faisceau de fibres optiques, au diamètre de la fibre optique, ou de la plus grande des fibres dans le faisceau, divisé par le grandissement total réalisé sur le chemin optique jusqu'à l'entrée de la fibre optique ou du faisceau de fibres optiques.

Dans un tel système, la précision de l'alignement dans le plan perpendiculaire à l'axe optique est telle que les désalignements résiduels ne diminuent essentiellement pas les performances décrites (conservation de l'intensité collectée jusqu'au détecteur, résolution spectrale optimale).

Avantageusement, les éléments optiques du chemin optique peuvent en outre être positionnés de sorte que la précision dans la direction de l'axe optique est supérieure ou égale :

- à la taille de l'entrée du spectromètre, c'est-à-dire la dimension du pixel du détecteur divisé par le grandissement du spectromètre, divisée par le grandissement réalisé sur le chemin optique entre la source et le plan d'entrée du spectromètre et par l'angle maximal d'acceptance du premier élément optique, ou
- lorsque le dernier élément optique est une fibre ou un faisceau de fibres optiques, au diamètre de la fibre optique, ou le diamètre de la plus grande fibre dans le faisceau, divisé par le grandissement réalisé sur le chemin optique entre la source et le plan d'entrée de la fibre optique ou du faisceau de fibres et par l'angle maximal d'acceptance du premier élément optique.

Dans un tel système, la précision de l'alignement le long de l'axe optique est telle que les désalignements résiduels ne diminuent essentiellement pas les performances décrites : conservation de l'intensité collectée jusqu'au détecteur, résolution spectrale optimale, etc.

Dans le système selon l'invention, le chemin optique comprend au moins deux éléments optiques, au moins un premier élément optique, dit optique de collection, pour collecter un rayonnement lumineux provenant de l'échantillon éclairé et au moins un deuxième élément optique, dit optique d'adaptation, pour transporter le rayonnement collecté vers des moyens d'analyse.

Ce système peut en outre comprendre des moyens de translation, pour translater l'optique de collection linéairement et indépendamment selon trois axes différents de l'espace. Ainsi, le déplacement de l'optique de collection est réalisé selon chaque axe indépendamment des autres axes. Par ailleurs, le déplacement sur chaque axe est une translation.

Dans une version particulière du système selon l'invention, tout ou partie de l'optique d'adaptation peut être disposée dans un environnement où règne une pression supérieure à la pression dans une chambre à vide dans laquelle est disposée l'optique de collection.

Bien entendu les deux aspects de la présente invention présentés ci-dessus sont indépendants l'un de l'autre mais peuvent être combinés sur un unique système de cathodoluminescence. L'invention concerne également un tel système de cathodoluminescence combinant les deux aspects décrits dans la présente demande.

L'invention propose en outre un microscope comprenant :

- une source d'émission d'un faisceau de particules chargées, et
- un système de détection de cathodoluminescence selon l'invention.

Avantageusement, le microscope selon l'invention peut en outre comprendre en outre au moins :

- un détecteur fond clair,
- un détecteur fond noir,
- un détecteur EELS,
- une caméra pour l'imagerie ou la diffraction, ou
- un détecteur EDX.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique du principe d'un microscope selon l'invention mettant en œuvre un système de détection de cathodoluminescence selon l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un exemple d'optique de collection mis en œuvre dans le système de cathodoluminescence selon l'invention ;
- les figures 3 à 5 sont des représentations schématiques d'un premier aspect du système de détection de cathodoluminescence mis en œuvre par le microscope de la figure 1 ;
- les figures 6 et 7 sont des représentations schématiques d'un deuxième aspect du système de détection de cathodoluminescence mis en œuvre par le microscope de la figure 1 ;
- la figure 8 est une représentation schématique d'un premier exemple du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon un troisième aspect de l'invention ;
- la figure 9 est une représentation schématique d'un deuxième exemple du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon le troisième aspect de l'invention comprenant une fibre optique ;
- les figures 10 et 11 sont des représentations schématiques selon différentes vues d'un troisième exemple du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon le troisième aspect de l'invention comprenant un faisceau de fibres optiques ; et
- les figures 12 et 13 sont des représentations schématiques de deux configurations dans lesquelles le rayonnement lumineux arrive à l'entrée du faisceau de fibres optiques en deux positions différentes dans le système des figures 10 et 11.

La figure 1 est une représentation schématique du principe du système de détection de cathodoluminescence mis en œuvre par un microscope 100.

Le microscope 100 comprend une source 102 d'émission d'un faisceau 104 d'électrons sur un échantillon 106. En réponse à ce faisceau d'électrons

104 l'échantillon 106 émet un rayonnement lumineux 108 pouvant comprendre des longueurs d'onde allant de l'infrarouge aux ultraviolets.

Le rayonnement lumineux 108 est ensuite collecté et analysé par un système 110 de détection de cathodoluminescence.

5 Le système 110 de détection de cathodoluminescence comprend une optique de collection 112, des moyens 114 d'adaptation du diamètre (respectivement de l'angle) du faisceau lumineux 108 au diamètre (respectivement à l'ouverture numérique) d'une fibre optique 116 et des moyens d'analyse 118. L'optique de collection 112 a pour rôle de collecter le  
10 rayonnement lumineux 108 émis par l'échantillon 106, la fibre optique 116 a pour rôle de transporter le rayonnement lumineux 108 collecté par l'optique collection 112 jusqu'aux moyens d'analyse 118. Cependant, il est nécessaire d'utiliser des moyens d'adaptation 114 pour adapter le rayonnement lumineux 108 à la sortie de l'optique collection 112 à l'entrée de la fibre  
15 optique 116 tout en préservant l'intensité du signal ainsi que sa résolution spectrale.

Les moyens d'analyse 118 peuvent comprendre un spectromètre, une caméra CCD ou un photomultiplicateur prévu pour analyser le rayonnement lumineux 108 transporté par la fibre optique 116.

20 Le microscope 100 comprend en outre une bobine de balayage 120 disposée entre une lentille condenseur 122 positionnée du côté de la source d'électrons 102 et une lentille objectif 124 positionnée du côté opposé. La bobine de balayage 120 permet de balayer la surface de l'échantillon 106 avec le faisceau d'électrons 104 pour réaliser une étude spectroscopique de  
25 l'échantillon 106.

Le microscope peut en outre comprendre un ou plusieurs détecteurs fond clair 126, un ou plusieurs détecteurs fond noir 128 ainsi qu'un détecteur EELS 130.

30 Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'optique de collection 112 comprend un miroir parabolique 200 tel que représenté en figure 2. Le miroir parabolique comprend une surface parabolique 202 réfléchissante taillée dans un bloc 204. Le miroir parabolique 200 comporte une ouverture traversant 206. Cette ouverture 206 est disposée en regard de la source  
35 d'émission 102 du faisceau d'électrons 104. Le faisceau d'électrons 104

traverse cette ouverture 206 pour atteindre l'échantillon 106. Le rayonnement lumineux émis par l'échantillon est ensuite collecté par la surface parabolique 202. Le positionnement précis de l'ouverture 206 en face de la source d'émission est très important pour optimiser la brillance et la résolution du rayonnement lumineux collectée par la surface parabolique 204.

Dans un autre exemple de réalisation non représenté, l'optique de collection 112 peut comprendre un miroir plan associé à une lentille collectrice ou un miroir elliptique éventuellement associé à une lentille collectrice à la place du miroir parabolique.

### **Premier aspect de l'invention**

Nous allons maintenant décrire un premier aspect du système de cathodoluminescence objet de la présente invention en référence aux figures 3-5.

La figure 3 est une représentation partielle du système de collection par rapport à la chambre à vide d'un microscope.

La figure 4 est une représentation plus détaillée en coupe d'une région de la figure 3 et la figure 5 est une représentation selon une vue isométrique de la même région.

Selon ce premier aspect l'optique de collection 112 est prévue pour être disposée dans une chambre à vide 302 du microscope et les moyens d'adaptation 114 ainsi que la fibre optique 116 et les moyens d'analyse 118 sont disposés dans un environnement à la pression atmosphérique. En d'autres termes, les moyens d'adaptation 114, la fibre optique et les moyens d'analyse sont déportés hors de la chambre à vide 302 du microscope.

Pour ce faire, dans l'exemple représenté sur les figures 3 à 5, l'optique de collection 112, qui est un miroir parabolique tel que représenté en figure 2, est reliée solidairement à l'aide de deux vis 304, à un premier cylindre 306, dit cylindre extérieur, au niveau de son extrémité proximale 308. L'optique de collection 112 est reliée au cylindre extérieur de sorte que l'axe optique de l'optique de collection 112 se confond avec l'axe de symétrie du cylindre extérieur 306.

Ce cylindre extérieur 306 pénètre dans la chambre à vide grâce à une ouverture 308 formée dans une paroi de la chambre à vide. Cette ouverture 308 est disposée en regard du rayonnement lumineux renvoyé par l'optique de collection 112.

5 Le cylindre extérieur 306 et la paroi de la chambre à vide 302 sont maintenus ensemble par un dispositif 310 étanche préservant le niveau de pression qui règne dans la chambre à vide.

10 Le cylindre extérieur 306 comporte au niveau de son extrémité proximale 308, c'est-à-dire l'extrémité sur laquelle est fixée solidairement l'optique de collection 112, une fenêtre 312 d'étanchéité transparente préservant le niveau de pression qui règne dans la chambre à vide 302 tout en laissant passer le rayonnement lumineux collecté et renvoyé par l'optique de collection 112. Ainsi, en aval de la fenêtre d'étanchéité, l'intérieur du cylindre extérieur 306 est étanchement séparé de la chambre à vide et il y  
15 règne une pression atmosphérique.

Un deuxième cylindre 314, dit cylindre intérieur, est disposé à l'intérieur du cylindre extérieur 306 en aval de la fenêtre d'étanchéité 312, c'est-à-dire dans la partie où règne une pression atmosphérique. Le cylindre intérieur 314 a son axe de symétrie confondu avec l'axe de symétrie du  
20 cylindre extérieur 306 et est donc parfaitement aligné avec l'axe optique de l'optique de collection 112. Le cylindre intérieur 314 est disposé dans le cylindre extérieur 306 de manière démontable et libre en rotation.

Les moyens d'adaptation 114 sont disposés dans ce cylindre intérieur 314. Dans l'exemple présent, représenté en figures 3 et 4, les moyens  
25 d'adaptation 114 comprennent une lentille collectrice 316 convergente disposée au niveau de l'extrémité proximale du cylindre intérieur 314. Cette lentille 316 permet d'adapter la largeur du rayonnement lumineux 108 à l'entrée de la fibre optique 116.

L'entrée de la fibre optique est également disposée à l'intérieur du  
30 cylindre intérieur en aval de la lentille collectrice 316 et centrée très précisément par rapport à l'axe optique de la lentille collectrice 316.

Le cylindre intérieur peut également comprendre tout élément optique nécessaire pour l'étude de l'échantillon par exemple un polariseur.

Le fait que le cylindre intérieur soit libre en rotation permet de modifier l'orientation des différents éléments optiques sans avoir à les retirer.

Ainsi, selon ce premier aspect du système de détection de cathodoluminescence, il est possible d'accéder facilement aux éléments optiques composant les moyens d'adaptation ainsi qu'à l'entrée de la fibre optique pour les changer, les réparer ou les repositionner.

### **Deuxième aspect de l'invention**

Nous allons maintenant décrire un deuxième aspect de système de cathodoluminescence objet de la présente invention en référence aux figures 6 et 7.

La figure 6 est une représentation partielle vue de dessus d'un microscope mettant en œuvre un système de détection de cathodoluminescence selon le deuxième aspect de l'invention. Sur la figure 6, l'optique de collection est complètement rétractée, permettant une utilisation standard du microscope. Elle ne correspond pas à une vue du système de détection de cathodoluminescence en fonctionnement. La figure 7 est une représentation du microscope de la figure 6 selon une vue de côté.

L'optique de collection 112 est liée solidairement à un cylindre 602, grâce à deux vis 304 au niveau de l'extrémité proximale 604 du cylindre 602. L'optique de collection 112 est située dans la chambre à vide 302 du microscope 600. Le cylindre 602 peut également comprendre les moyens optiques d'adaptation 114 et de l'entrée de la fibre optique 116 qui peuvent par exemple être disposés dans un deuxième cylindre inséré dans le cylindre 602 de manière démontable, libre en rotation et monté de sorte que l'axe de symétrie se confonde avec l'axe de symétrie du cylindre 602. Le cylindre 602 peut être le cylindre extérieur 306 et comprendre le cylindre intérieur 314, tels que décrits plus haut.

Le cylindre 602 pénètre dans la chambre à vide 302 grâce à une ouverture 604 formée dans une paroi de la chambre à vide. Cette ouverture 604 est disposée en regard du rayonnement lumineux renvoyé par l'optique de collection 112. Le diamètre de cette ouverture est supérieur au diamètre extérieur du cylindre 602 de manière à permettre le déplacement du cylindre

extérieur selon les trois dimensions de l'espace. Cette ouverture 604 peut être l'ouverture 308 décrite plus haut.

Un soufflet 606 est fixé au cylindre 602 et entoure le cylindre 602 de manière étanche. Ce soufflet est par ailleurs fixé de manière étanche sur la paroi de la chambre à vide 302, autour de l'ouverture 602, grâce à une pièce de liaison 608 épousant la forme extérieure de la paroi de la chambre à vide autour de l'ouverture 602. Ainsi, la liaison du soufflet 606 avec le cylindre 602 est étanche tout comme la liaison du soufflet 606 avec la paroi de la chambre à vide 302. Le soufflet 606 autorise le déplacement du cylindre 606 dans les trois directions de l'espace tout en préservant à tout moment l'étanchéité au niveau de chacune de ses liaisons avec d'une part le cylindre 602 et d'autre part la paroi de la chambre à vide 302.

Le cylindre 602 comporte une fenêtre d'étanchéité (non représentée sur les figures 6-7). Cette fenêtre d'étanchéité permet de préserver l'étanchéité de la chambre à vide 302. Cette fenêtre d'étanchéité peut être disposée en amont ou en aval des moyens optiques d'adaptation 114 et de l'entrée de la fibre optique 116. Cette fenêtre d'étanchéité peut par exemple être la fenêtre d'étanchéité 312 des figures 3-5 lorsque les deux aspects du système de cathodoluminescence décrits dans la présente demande sont combinés.

Le cylindre 602 est monté solidairement sur un dispositif de déplacement tridimensionnel 610 du côté de son extrémité distale 612, c'est-à-dire son extrémité du côté opposé à l'optique de collection 112. Ce dispositif 610 de déplacement tridimensionnel est posé sur une platine 612 fixée solidairement à la paroi de la chambre à vide. Le dispositif 610 comprend trois vis micrométriques 614, 616 et 618 permettant de déplacer le cylindre 602 selon les trois dimensions de l'espace.

L'optique de collection 112 étant solidaire du cylindre 602, le déplacement du cylindre 602 entraîne le déplacement de l'optique de collection 112. Ainsi, grâce à ce deuxième aspect du système de détection de cathodoluminescence il est possible pour l'opérateur de déplacer l'optique de collection de l'extérieur du microscope pour mieux le positionner par rapport à la source d'émission de d'électrons et par rapport à l'échantillon pour améliorer la conservation de l'intensité du rayonnement lumineux collecté en

aval de l'optique de collection ainsi que la résolution spectrale du signal lumineux.

Il est clair pour l'homme du métier, à la lecture de la présente  
5 demande, que les premier et deuxième aspects du système de détection de cathodoluminescence peuvent être combinés. Tel qu'indiqué, plus haut, le cylindre 602 représenté sur la figure 6 et 7 peut être remplacé par le cylindre extérieur 306 des figures 3 à 5 comprenant la fenêtre d'étanchéité 312, le cylindre intérieur 314 dans lequel sont disposés les moyens d'adaptation 114  
10 (en particulier la lentille collectrice 316) et l'entrée de la fibre optique 116. En combinant le premier et le deuxième aspect de l'invention, il est possible d'obtenir un système de détection de cathodoluminescence à la fois souple et réglable et permettant d'optimiser l'intensité lumineuse collectée, son transport vers les moyens d'analyse tout en conservant une résolution  
15 spectrale optimale par des moyens communs et faciles à mettre en œuvre.

### **Troisième aspect de l'invention**

La figure 8 est une représentation schématique d'un premier exemple  
20 du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon le troisième aspect de l'invention.

Le chemin optique 800 de la figure 8 comprend en tant que moyen de collection un miroir parabolique 802 qui peut être identique au miroir parabolique 200 de la figure 2 qui collecte le rayonnement lumineux  
25 provenant d'un échantillon éclairé par un faisceau de particules.

Le chemin optique 800 comprend en tant que moyen de traitement une lentille 804, qui peut être la lentille 316 des figures 3 et 4, recevant le rayonnement lumineux connecté par le miroir parabolique 802 et l'injectant dans un spectromètre 806 dont l'entrée est symbolisée par le plan 808. Le  
30 spectromètre 806 comprend une lentille 810 disposée en amont du réseau 812 du spectromètre 806 et qui renvoie le rayonnement lumineux entrant dans le spectromètre 806 sur le réseau 812 du spectromètre 806. Le spectromètre 806 comprend en outre une lentille 814 disposée en aval du réseau 812 du spectromètre 806 qui symbolise la sortie du spectromètre et  
35 qui renvoie le rayonnement lumineux sortant du spectromètre 806 vers une

caméra CCD 816. Le spectromètre 806 et la caméra 816 constitue les moyens d'analyse du système de cathodoluminescence.

Selon le troisième aspect de l'invention, le miroir parabolique, la lentille 804, le spectromètre 806 sont choisis et positionnés tels que :

- le miroir parabolique 802 présente une valeur  $p$  de 2 mm et une épaisseur de 3 mm;
- l'angle maximal de sortie du miroir parabolique 802 soit de zéro (faisceau parallèle) et l'angle maximal d'entrée de la lentille 804 soit de zéro (faisceau parallèle) ;
- le profil du rayonnement provenant du miroir parabolique 802 dans le plan d'entrée de la lentille 804 soit de 9 mm sur 3 mm et le diamètre utile en entrée de la lentille 802 soit de 8 mm ;
- en considérant le centre du miroir parabolique comme étant le point milieu entre ses surfaces horizontales et verticales (parallèles à l'axe optique de la lentille), le décalage de la lentille 804 par rapport au centre du miroir parabolique, soit inférieur à 100 microns. La position du foyer du miroir est dans ces conditions calculée pour obtenir le maximum d'angle de collection pour le miroir ; et
- l'angle maximal de sortie de la lentille 804 soit de 6.3.

Par ailleurs :

- la largeur du faisceau à l'entrée dudit spectromètre dans la direction dispersive est de typiquement 100 ou 70 microns et le diamètre limite à l'entrée du spectromètre en dessous duquel la résolution du spectromètre ne dépend plus du diamètre de la taille du rayonnement lumineux à l'entrée du spectromètre est de 70  $\mu\text{m}$ .

En outre :

- la précision du déplacement dans au moins une des deux directions de l'espace perpendiculaire à l'axe optique et dans la direction de l'axe optique est meilleure que ou égale à 1  $\mu\text{m}$  assurant une résolution à l'entrée du spectromètre meilleure que

30 microns, c'est-à-dire inférieure à la taille limite à l'entrée du spectromètre en dessous de laquelle la résolution est dégradée.

La figure 9 est une représentation schématique d'un deuxième exemple du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon le troisième aspect de l'invention.

Le chemin optique 900 de la figure 9 comprend tous les éléments du chemin optique 800 représenté en figure 8.

Le chemin optique 900 comprend en outre une fibre optique 902, qui peut être la fibre optique 116 des figures 3 et 4. L'entrée de la fibre optique 902 est positionnée au point focal de la lentille 804 et la sortie de la fibre optique est positionnée dans le plan d'entrée du spectromètre 806 matérialisée par le plan 808.

Les paramètres des éléments optiques dans le chemin optique 900 restent identiques aux paramètres donnés en référence à la figure 1.

Cependant :

- la largeur du rayonnement à l'entrée de la fibre optique 902 est, dans le cas où l'objet étudié est infiniment petit, de l'ordre de 15 microns et le diamètre utile en entrée de la fibre optique est de 70  $\mu\text{m}$  ;
- l'angle maximal du rayonnement provenant de la lentille 804 est de  $6.3^\circ$  et l'angle limite d'incidence en entrée de la fibre optique 902 est de  $6.9^\circ$  ; et
- le décalage de la fibre 902 par rapport au centre de la lentille est inférieur à 100 microns.

Par ailleurs,

- la largeur du faisceau à l'entrée dudit spectromètre dans la direction dispersive est de 70  $\mu\text{m}$  et le diamètre limite à l'entrée du spectromètre en dessous duquel la résolution du spectromètre ne dépend plus du diamètre de la taille du rayonnement lumineux à l'entrée du spectromètre est de 70  $\mu\text{m}$ .

En outre :

- la précision du déplacement dans au moins une des deux directions de l'espace perpendiculaire à l'axe optique et dans la direction de l'axe optique est meilleure que  $1\mu\text{m}$  assurant une résolution à l'entrée de la fibre optique meilleure que 30 microns, c'est-à-dire inférieure à la taille limite à l'entrée du spectromètre en dessous de laquelle la résolution est dégradée ; et
- le diamètre de chaque fibre optique divisé par le grandissement réalisé sur le chemin optique jusqu'au faisceau de fibre optiques 1002 est de  $2\mu\text{m}$ .

Les Figures 10 et 11 sont des représentations schématiques selon différentes vues d'un troisième exemple du chemin optique d'un système de cathodoluminescence selon le troisième aspect de l'invention comprenant un faisceau de fibres optiques.

Le chemin optique 1000 des figures 10 et 11 comprend tous les éléments du chemin optique 800 représenté en figure 8.

Le chemin optique 1000 comprend en outre un faisceau de fibres optiques 1002, composées par exemple de plusieurs fibres optiques telles que la fibre optique 902 de la figure 9. L'entrée du faisceau de fibres optiques 1002 est positionnée au point focal de la lentille 804 et la sortie du faisceau de fibres optiques est positionnée dans le plan d'entrée du spectromètre 806 matérialisée par le plan 808.

Les paramètres des éléments optiques dans le chemin optique 1000 restent identiques aux paramètres donnés en référence à la figure 1.

Cependant :

- la largeur du rayonnement à l'entrée du faisceau de fibre optique 1002 est supérieure ou égale à 200 microns et le diamètre utile en entrée de chaque fibre optique composant le faisceau de fibres optiques 1002 est de  $70\mu\text{m}$  ;
- l'angle d'entrée maximum du rayonnement provenant de la lentille 804 est de  $6.3^\circ$  et l'angle limite d'incidence en entrée dans chaque fibre optique composant le faisceau de fibre optique 1002 est de  $6.9^\circ$  ; et

- le décalage du faisceau de fibres optiques 1002 par rapport au centre de la lentille est de de l'ordre de la centaine de microns.

Par ailleurs,

- 5 - la largeur du faisceau à l'entrée dudit spectromètre dans la direction dispersive est de 70  $\mu\text{m}$ , et le diamètre limite à l'entrée du spectromètre en dessous duquel la résolution du spectromètre ne dépend plus du diamètre de la taille du rayonnement lumineux à l'entrée du spectromètre est de 70  
10  $\mu\text{m}$ .

En outre :

- 15 - la précision du déplacement dans au moins une des deux directions de l'espace perpendiculaire à l'axe optique et dans la direction de l'axe optique est de 1  $\mu\text{m}$  ou meilleure que 1  $\mu\text{m}$  assurant une résolution à l'entrée de la fibre optique meilleure que 30 microns, c'est-à-dire inférieure à la taille limite à l'entrée du spectromètre en dessous de laquelle la résolution est dégradée ; et  
20 - le diamètre de chaque fibre optique divisé par le grandissement réalisé sur le chemin optique jusqu'au faisceau de fibre optiques 1002 est de 2  $\mu\text{m}$ .

25 Selon l'invention chacun de ces trois exemples de réalisation permet de véhiculer le rayonnement lumineux émis par l'échantillon jusqu'à la caméra CCD tout en conservant plus d'intensité de lumineux, une résolution spectrale optimale et la possibilité d'utiliser l'invention dans un microscope à particules chargées capables de former des sondes de tailles nanométriques voire angströmiques.

30 Par ailleurs, le troisième exemple représenté sur les figures 10 et 11 permet également de corriger les erreurs dynamiques, systématiques ou des erreurs dues à un balayage de l'échantillon.

Pour cela, à l'entrée 1202 du faisceau 1002, les fibres optiques composant le faisceau 1002 sont disposées de manière circulaire ou  
35 hexagonale, les unes autour des autres. A la sortie 1204 du faisceau 1002,

les fibres optiques composant le faisceau 1002 sont alignées, les unes sur les autres, dans une direction perpendiculaire à la direction de dispersion du spectromètre. L'entrée 1202 et la sortie 1204 du faisceau de fibres optiques 1002 sont représentées de manière schématique sur les figures 12 et 13.

5 Les figures 12 et 13 qui sont des représentations schématiques de deux configurations dans lesquelles le rayonnement lumineux arrive à l'entrée du faisceau de fibres optiques en deux positions différentes dans le système des figures 10 et 11. Dans la configuration représentée en figure 12, le rayonnement lumineux atteint l'entrée 1202 du faisceau 1002 de  
10 fibres optiques en un point 1206 décalé vers la gauche par rapport à son centre et dans la configuration représentée en figure 13, le rayonnement lumineux atteint l'entrée 1202 du faisceau 1002 de fibres optiques en un point 1302 décalé vers la droite par rapport à son centre. En fonction des fibres concernées, le rayonnement lumineux entrant dans le faisceau 1002  
15 de fibres optiques ne sort pas du faisceau 1002 de fibres optiques aux mêmes positions. Cependant, dans les deux cas et malgré la différence de position du rayonnement lumineux arrivant dans le plan d'entrée du faisceau 1002 de fibres optiques, l'ensemble du rayonnement est capté et véhiculé jusqu'au spectromètre par le faisceau 1002 de fibres optiques et les spectres  
20 1208 et 1304 obtenus au niveau de la caméra CCD pour chacun des deux rayonnements sont identiques. Ceci se fait sans perte de résolution spectrale ni d'intensité.

25 Les trois aspects de la présente invention peuvent être combinés, deux à deux ou les trois sur un unique système de cathodoluminescence.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

## **REVENDICATIONS**

1. Système (110) de détection de cathodoluminescence comprenant :

- une optique de collection (112) collectant un rayonnement lumineux (108) provenant d'un échantillon (106) éclairé par un faisceau de particules chargées (104) et renvoyant ledit rayonnement (108) vers des moyens d'analyse (118), ladite optique de collection (112) étant disposée dans une chambre (302), dite chambre à vide, où règne une pression inférieure à la pression atmosphérique,
- des moyens d'adaptation (114, 316) du rayonnement lumineux disposés en aval de l'optique de collection (112) et prévus pour adapter ledit rayonnement lumineux (108) à l'entrée des moyens d'analyse (118), tout ou partie des moyens d'adaptation (114, 316) étant disposés dans un environnement où règne une pression supérieure à la pression dans ladite chambre à vide (302), et
- un tube (306, 602) en forme de cylindre, dit cylindre extérieur, aligné par rapport à l'axe de l'optique de collection et solidaire de ladite optique de collection (112), ledit cylindre extérieur (306, 602) comprenant une fenêtre d'étanchéité (312) assurant le maintien de la pression de la chambre à vide dans laquelle est disposée ladite optique de collection (112) ;

caractérisé en ce qu'il comprend en outre un tube (314) en forme de cylindre, dit cylindre intérieur, disposé centré dans le cylindre extérieur (306, 602) et prévu pour recevoir les moyens d'adaptation (316) du rayonnement lumineux (108) en vue d'injecter ledit rayonnement lumineux (108) dans une fibre optique (116) ou dans un détecteur.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'étanchéité (310, 312, 606) disposés entre ladite optique de collection (112) et les moyens d'adaptation (114, 316) et prévus pour assurer l'étanchéité de ladite chambre à vide (302) tout en autorisant le passage du rayonnement lumineux (108).

3. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'adaptation comprennent au moins une

lentille (316) disposée en amont d'une fibre optique (116) et prévue pour renvoyer le rayonnement lumineux (108) dans ladite fibre optique (116).

4. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'optique de collection comprend un miroir parabolique (112, 202).

5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'optique de collection comprend un miroir plan ou un miroir elliptique associé à au moins une lentille optique.

6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le cylindre intérieur (314) est monté démontable dans le cylindre extérieur (306, 602) et libre en rotation par rapport audit cylindre extérieur (306, 602).

7. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'adaptation (316) sont agencés pour adapter l'angle et la taille du rayonnement lumineux (108) collecté à la taille et à l'ouverture numérique d'un détecteur ou d'une fibre optique (116).

8. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'adaptation (316) comprennent un diaphragme arrangé pour laisser passer le rayonnement lumineux provenant de l'optique de collection (112) vers les moyens d'analyse et bloquer au moins un signal optique indésirable.

9. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une source d'émission d'un faisceau lumineux se propageant dans le sens inverse du sens de propagation du rayonnement lumineux, ledit faisceau lumineux étant dirigé vers l'échantillon (106) par l'optique de collection (112).

10. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'analyse (118) du

rayonnement lumineux (108), disposés en aval des moyens d'adaptation (114, 316).

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens d'analyse (118) comprennent un spectromètre, une caméra CCD ou un photomultiplicateur.

12. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'optique de collection (112) est montée déplaçable sur au moins une dimension, ledit système comprenant en outre des moyens de positionnement (614-618) prévus pour déplacer ladite optique de collection (112) selon au moins une dimension.

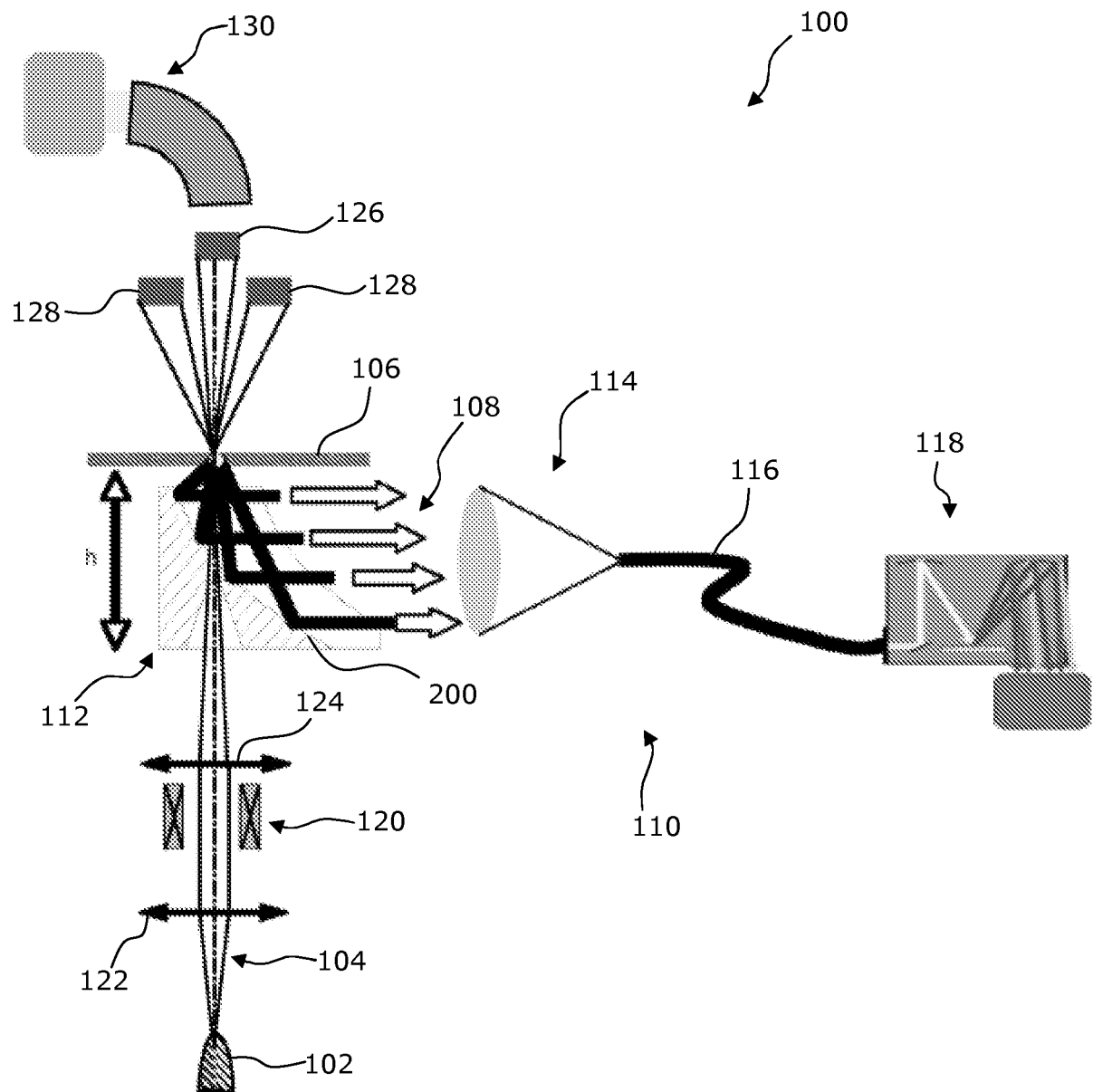
13. Système selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de positionnement comprennent une platine (612) montée déplaçable sur au moins une dimension, l'optique de collection (112) étant montée solidaire de ladite platine, ledit système comprenant en outre au moins un élément de positionnement prévu pour déplacer ladite platine selon au moins une dimension.

14. Microscope (100, 600) comprenant :

- une source d'émission (102) d'un faisceau de particules chargées (104), et
- un système (110) de détection de cathodoluminescence selon l'une quelconque des revendications précédentes.

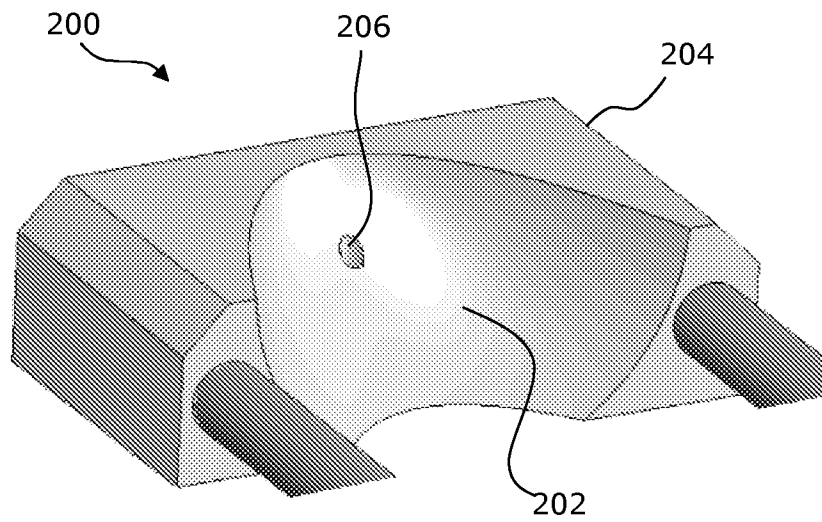
15. Microscope (100, 600) selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins :

- un détecteur fond clair (126),
- un détecteur fond noir (128),
- un détecteur EELS (130),
- une caméra pour l'imagerie ou la diffraction, ou
- un détecteur EDX.

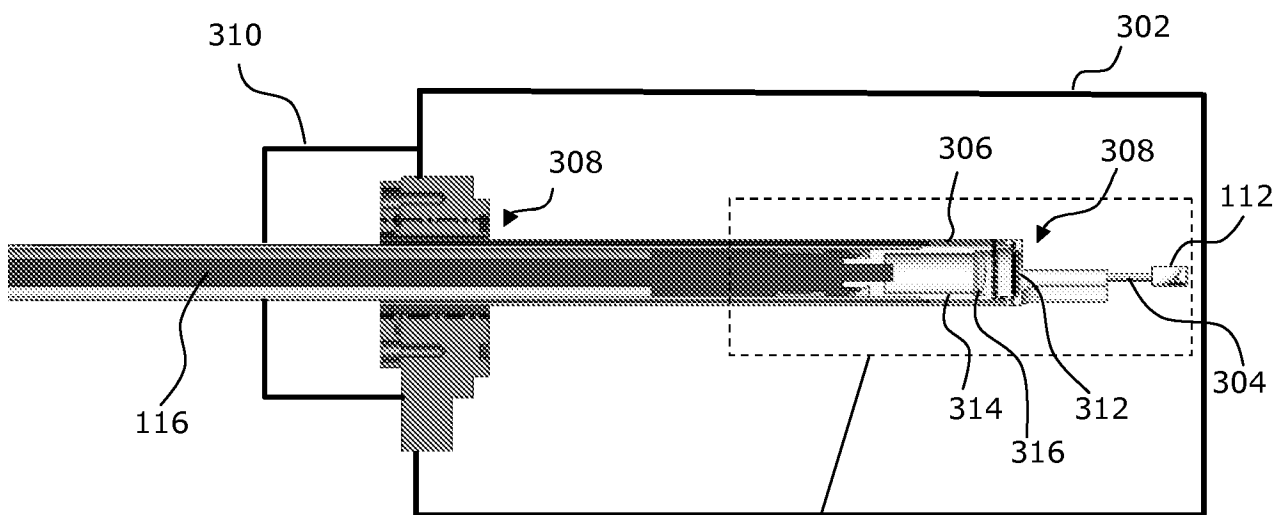
**1/7****FIG. 1**

2/7

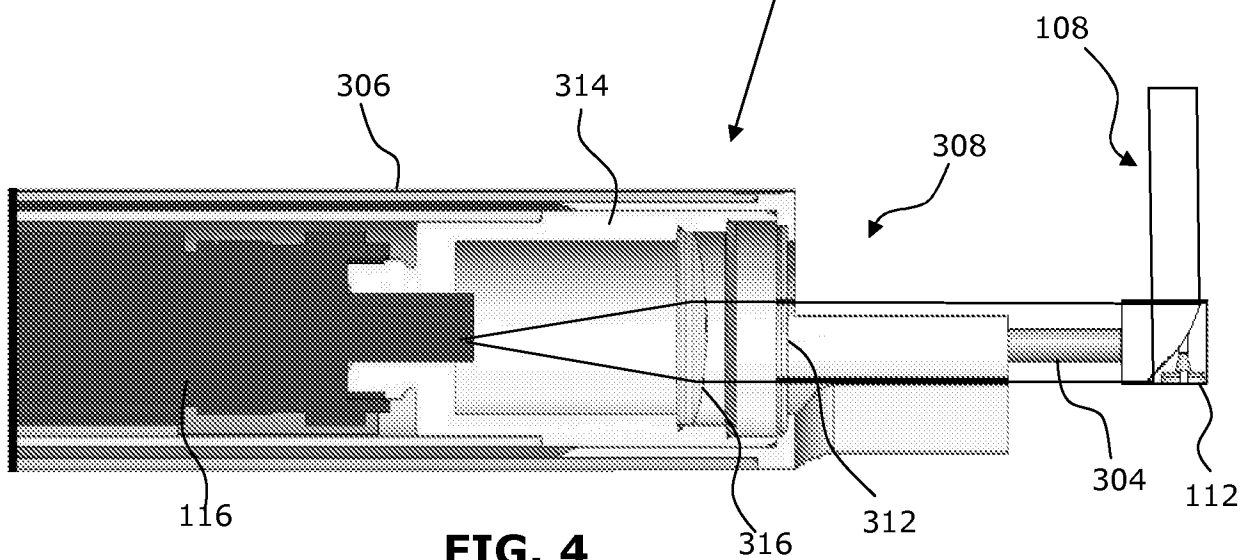
**FIG. 2**



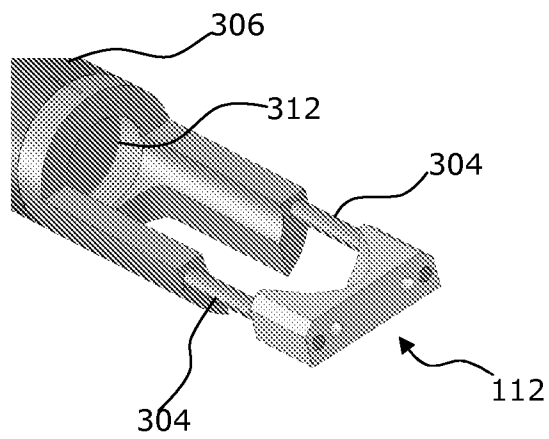
**FIG. 3**



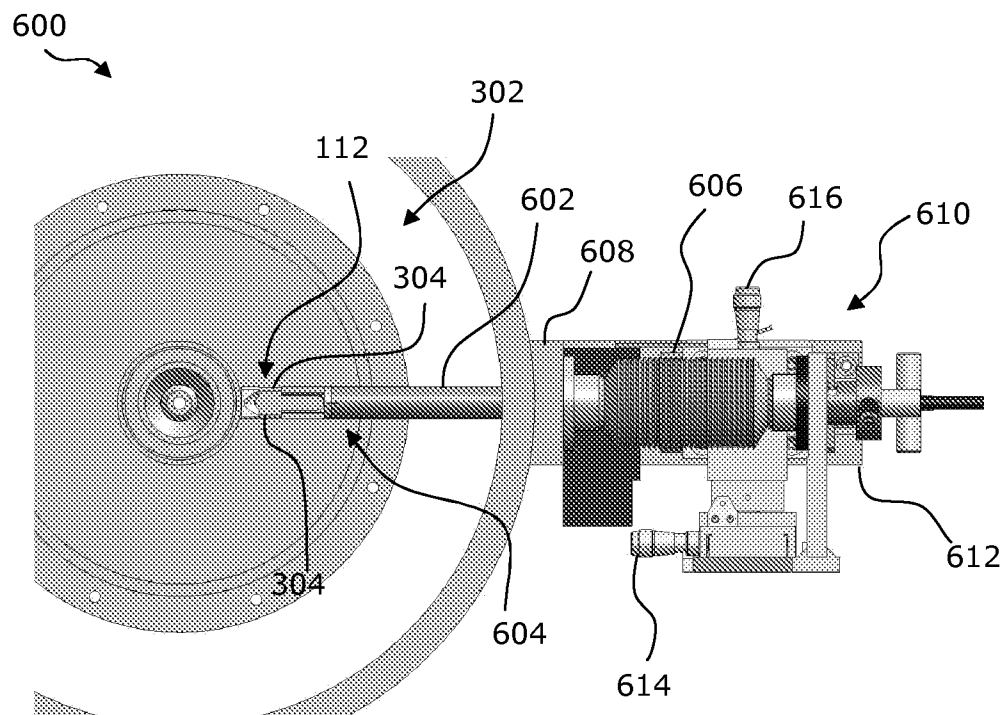
**FIG. 4**



**3/7**

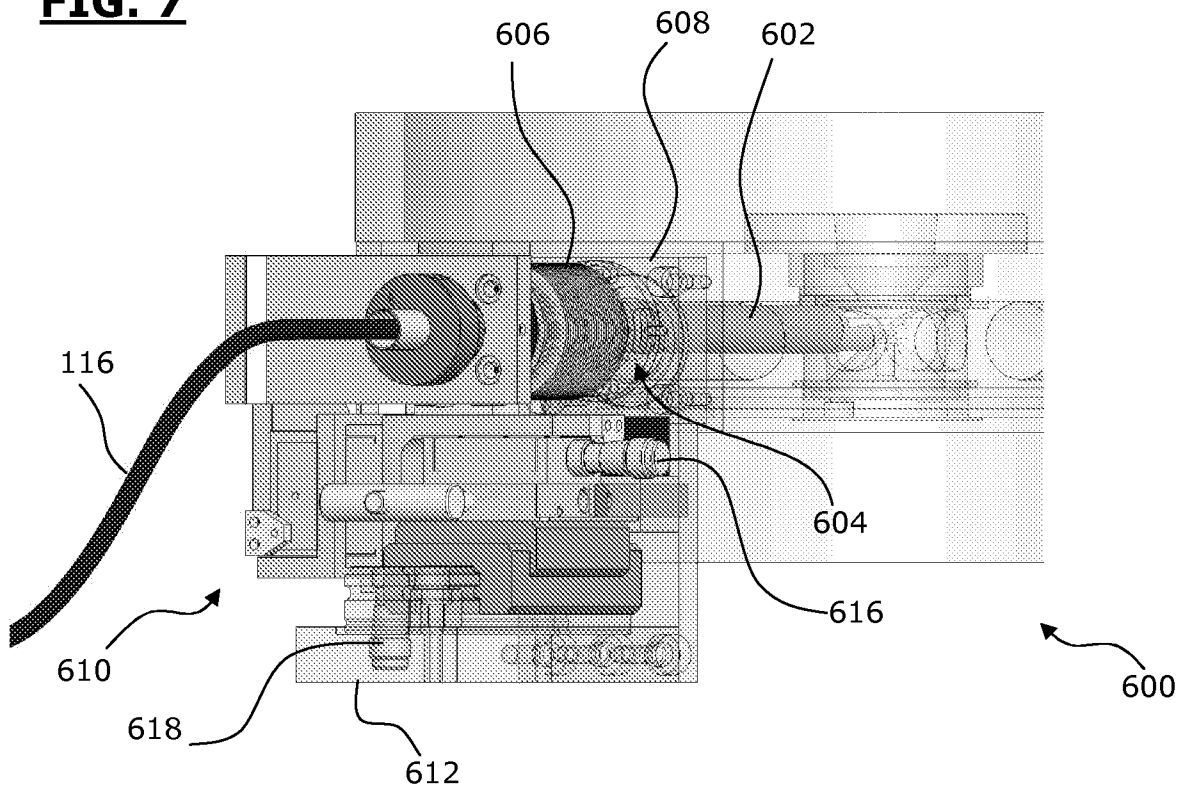


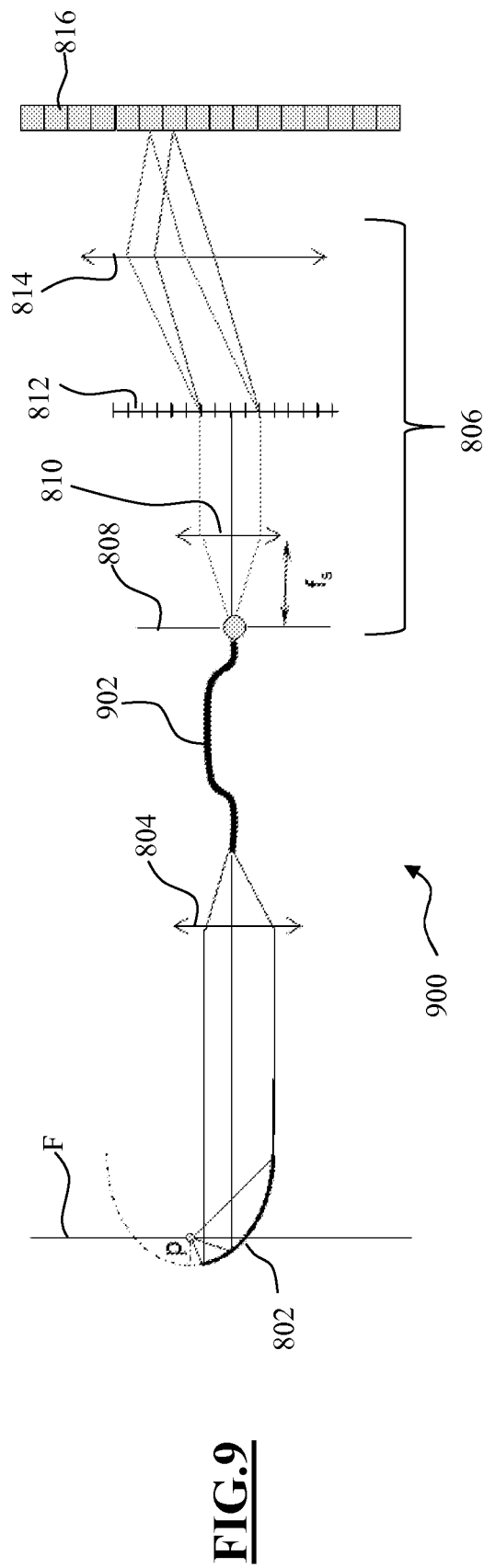
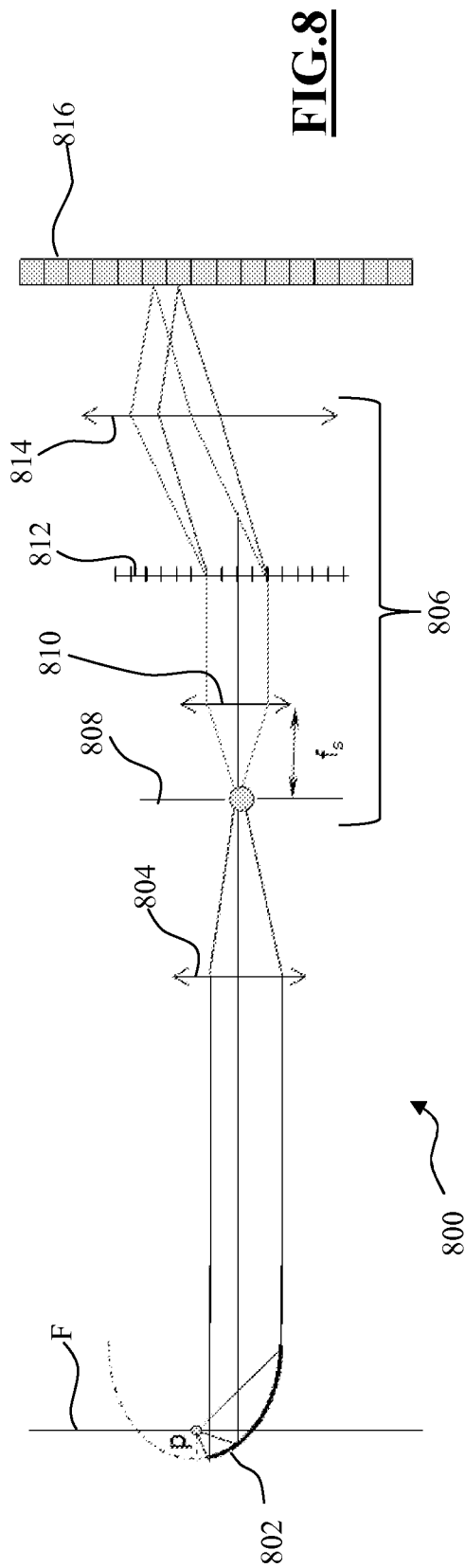
**FIG. 5**

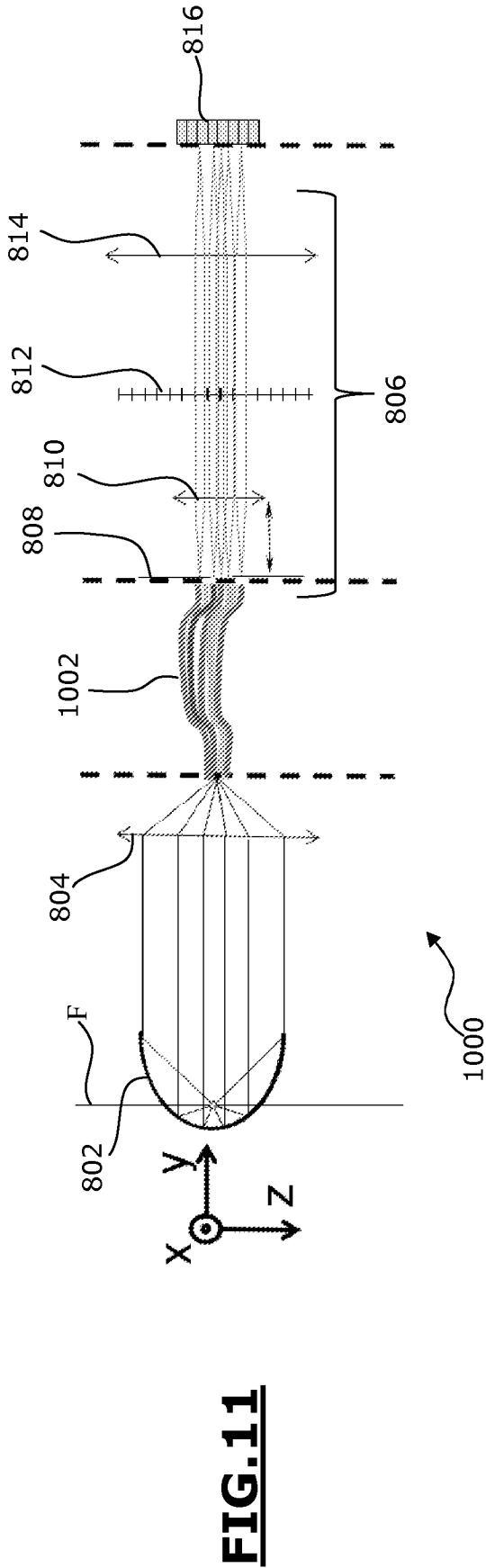
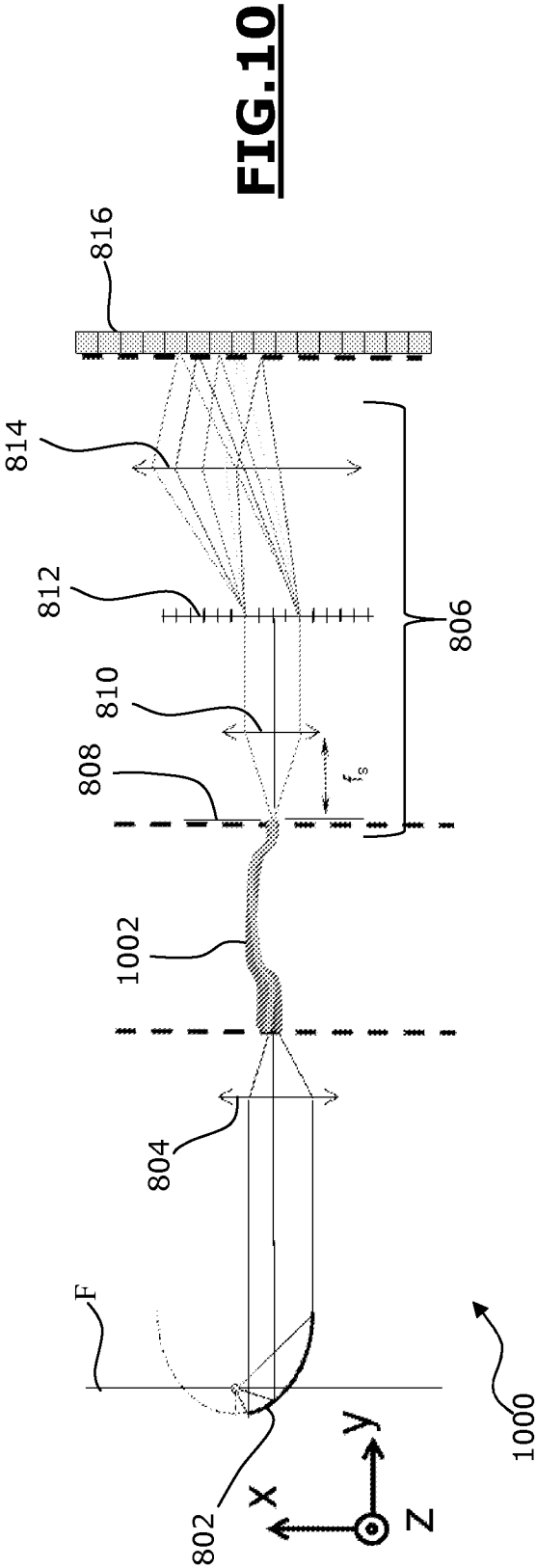


**FIG. 6**

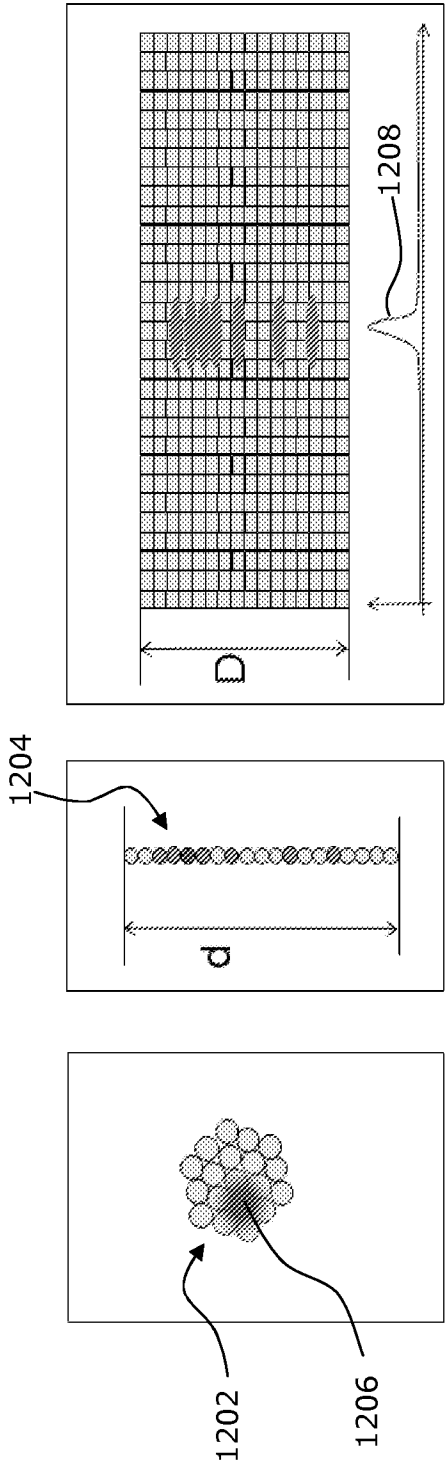
4/7

**FIG. 7**

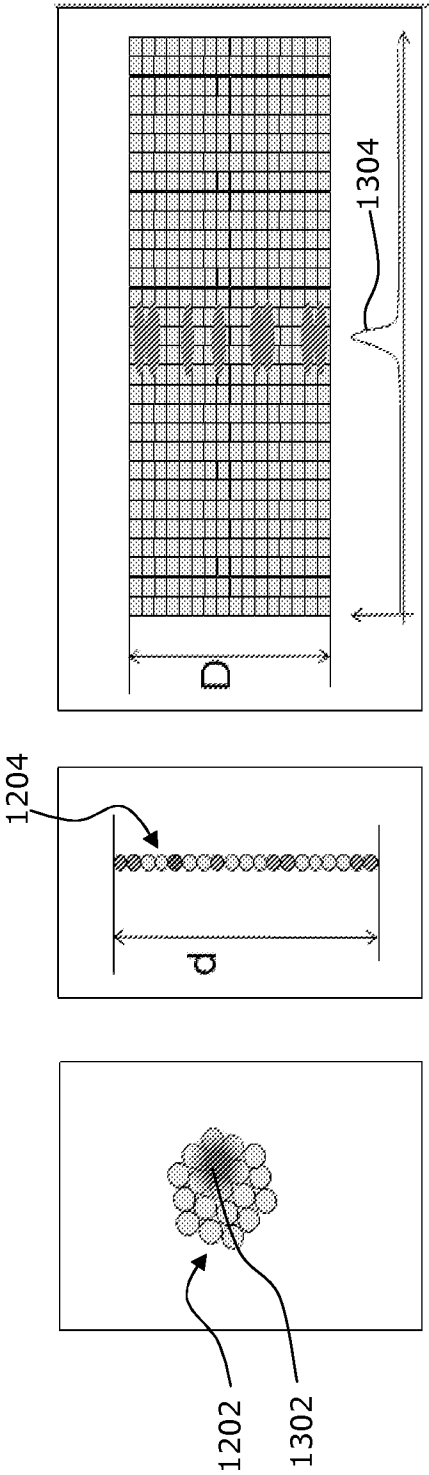




**FIG.12**



**FIG.13**



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2011/050986

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01J37/02 H01J37/244 H01J37/256  
ADD.

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

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01J

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

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

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/053048 A1 (BENNETT ROBERT [GB] ET AL) 20 March 2003 (2003-03-20)	1-4,6,7,9-15
Y	paragraphs [0001], [0002], [0010], [0041], [0047], [0054]; figures 1,2,5	5,8
Y	----- US 2008/315093 A1 (HASEGAWA MASAKI [JP] ET AL) 25 December 2008 (2008-12-25)	5
A	figure 1	1
Y	----- EP 1 956 632 A1 (FEI CO [US]) 13 August 2008 (2008-08-13)	8
	paragraph [0080]	
A	----- JP 2003 157789 A (HITACHI SCI SYST LTD) 30 May 2003 (2003-05-30)	1,3,4,6,7,10,11,14,15
	abstract; figures 1,2	
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 July 2011

Date of mailing of the international search report

02/08/2011

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Rouzier, Brice

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2011/050986

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 739 715 A2 (HORIBA LTD [JP]) 3 January 2007 (2007-01-03)  paragraphs [0002], [0004], [0007], [0032], [0042], [0043]; figures 1,2,4,10 -----	1,3,4, 10,11, 14,15
A	US 5 013 915 A (ISAKOZAWA SHIGETO [JP] ET AL) 7 May 1991 (1991-05-07) figure 3a -----	1,10,11, 14,15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/050986

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003053048	A1	20-03-2003	NONE
US 2008315093	A1	25-12-2008	JP 2009004114 A 08-01-2009 US 2011068267 A1 24-03-2011
EP 1956632	A1	13-08-2008	NONE
JP 2003157789	A	30-05-2003	NONE
EP 1739715	A2	03-01-2007	US 2007023655 A1 01-02-2007
US 5013915	A	07-05-1991	NONE

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050986

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. H01J37/02      H01J37/244      H01J37/256 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01J		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2003/053048 A1 (BENNETT ROBERT [GB] ET AL) 20 mars 2003 (2003-03-20)	1-4,6,7,9-15
Y	alinéas [0001], [0002], [0010], [0041], [0047], [0054]; figures 1,2,5	5,8
-----		
Y	US 2008/315093 A1 (HASEGAWA MASAKI [JP] ET AL) 25 décembre 2008 (2008-12-25)	5
A	figure 1	1
-----		
Y	EP 1 956 632 A1 (FEI CO [US]) 13 août 2008 (2008-08-13) alinéa [0080]	8
-----		
A	JP 2003 157789 A (HITACHI SCI SYST LTD) 30 mai 2003 (2003-05-30)  abrégé; figures 1,2	1,3,4,6,7,10,11,14,15
-----		
-/-		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span> </div>		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">21 juillet 2011</div>	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">02/08/2011</div>	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé  <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Rouzier, Brice</div>	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050986

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 1 739 715 A2 (HORIBA LTD [JP]) 3 janvier 2007 (2007-01-03)</p> <p>alinéas [0002], [0004], [0007], [0032], [0042], [0043]; figures 1,2,4,10 -----</p>	<p>1,3,4, 10,11, 14,15</p>
A	<p>US 5 013 915 A (ISAKOZAWA SHIGETO [JP] ET AL) 7 mai 1991 (1991-05-07) figure 3a -----</p>	<p>1,10,11, 14,15</p>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050986

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003053048	A1	20-03-2003	AUCUN	
US 2008315093	A1	25-12-2008	JP 2009004114 A US 2011068267 A1	08-01-2009 24-03-2011
EP 1956632	A1	13-08-2008	AUCUN	
JP 2003157789	A	30-05-2003	AUCUN	
EP 1739715	A2	03-01-2007	US 2007023655 A1	01-02-2007
US 5013915	A	07-05-1991	AUCUN	